


**Energie und Klima in Kirchen – Die Evaluation der
Vorgehensweise des Pilotprojekts in der Erzdiözese
Freiburg mit Schwerpunkt auf Wärmeverteilsystemen**

„Sperrvermerk“

Bachelorarbeit für die Prüfung zum Bachelor of Arts (BA)
Fakultät für Wirtschaft
Duale Hochschule Baden-Württemberg

Vorname, Name:	Elena Schill
Semesteranschrift:	
Studiengang:	BWL - Immobilienwirtschaft
Kurs:	WIW 17 B
Betreuende Dozentin:	Frau Evelyn Strunck
Ausbildungsbetrieb:	Erzbischöfliches Ordinariat Schoferstraße 2 79098 Freiburg
Abgabetermin:	23. März 2020

Sperrvermerk

Die vorliegende Bachelorarbeit mit dem Titel „Energie und Klima in Kirchen – Die Evaluation der Vorgehensweise des Pilotprojekts in der Erzdiözese Freiburg mit Schwerpunkt auf Wärmeverteilsystemen“ ist mit einem Sperrvermerk versehen und wird ausschließlich zu Prüfungszwecken am Studiengang BWL - Immobilienwirtschaft der Dualen Hochschule Baden-Württemberg Mannheim vorgelegt.

Jede Einsichtnahme und Veröffentlichung – auch von Teilen der Arbeit - bedarf der vorherigen Zustimmung durch folgende Institution.

Erzdiözese Freiburg
Erzbischöfliches Ordinariat Freiburg
79098 Freiburg, Schoferstraße 2
Tel: +49 761 21880
E-Mail: info@ordinariat-freiburg.de

Abstract

Das Ziel dieser Arbeit ist die Evaluierung der Vorgehensweise des Pilotprojekts „Energie und Klima in Kirchen“ in der Erzdiözese Freiburg mit vier Pilotkirchen in Kooperation mit der Pfälzer Katholischen Kirchenschaffnei.

Für das allgemeine Verständnis muss zuerst auf das Raumklima in Kirchen eingegangen werden. Hierbei werden die allgemeinen physikalischen Vorgänge und die Anforderungen der Kirchengestaltung und der Orgel nicht außen vorgelassen. In diesem Zuge werden auch Schäden, die durch falsches Raumklima entstehen können, untersucht und erklärt. Anschließend wird noch die Frage, was Behaglichkeit für einen Menschen bedeutet und welche Komfortansprüche die Nutzer und Besucher haben, beantwortet. Dabei wird die optimale Raumlufttemperatur nach der DIN-Norm DIN EN ISO 7730 ermittelt.

Der Schwerpunkt der Arbeit liegt auf den Wärmeverteilsystemen, da es in der Erzdiözese Freiburg viele verschiedene Arten und Kombinationsmöglichkeiten und somit verschiedene Temperierungsmodelle gibt, die man in diesem Zusammenhang betrachten muss. Außerdem werden noch Möglichkeiten zum Lüften und zur Wärmerückgewinnung behandelt, da diese ebenfalls verantwortlich für das Raumklima in Kirchen sind.

Bei der Evaluation der Vorgehensweise müssen zusätzlich zu den allgemeinen Behandlungspunkten auch die Auswahl der Dienstleister und der hierfür verwendete Bewertungsbogen, sowie die Bewertungsmatrix kritisch betrachtet und die Reaktionen der Kirchengemeinden auf das Pilotprojekt untersucht werden. Hierfür hat die Verfasserin dieser Arbeit ein Interview mit mehreren Beteiligten durchgeführt. Das Ergebnis ist, dass die Vorgehensweise des Projekts sinnvoll und erfolgreich ist. Dennoch kann der Prozess optimiert werden. Daher erfolgen am Ende der Arbeit neben der Schlussfolgerung noch Handlungsempfehlungen und Richtlinien für das kommende Projekt der Erzdiözese Freiburg „Energie und Klima in Kirchen“ an dem 40 Kirchen beteiligt sind.

Inhaltsverzeichnis	Seite
Sperrvermerk	2
Abstract	3
Abkürzungsverzeichnis	6
Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	7
1 Einleitung	9
2 Das Raumklima in Kirchen	11
2.1 Anforderungen der Kirchengestaltung und Orgel an das Raumklima	11
2.2 Mögliche Schäden aufgrund falschen Raumklimas	14
2.3 Was bedeutet thermische Behaglichkeit? - Komfortansprüche von Nutzern und Besuchern	15
2.3.1 Energieumsätze verschiedener körperlichen Tätigkeiten	16
2.3.2 Isolationswert der Bekleidung	17
2.3.3 Ermittlung der optimalen Raumtemperatur für Kirchenbesucher im Winter nach der DIN EN ISO 7730	17
3 Wärmeverteilungssysteme	19
3.1 Konvektions- versus Strahlungsheizung	19
3.1.1 Begriffsdefinition von Konvektion und Strahlung	19
3.1.2 Temperaturprofile der Konvektions- und Strahlungsheizungen	20
3.2 Arten und Kombinationsmöglichkeiten der Wärmeverteilungssysteme und deren Temperierungsmodelle	21
3.2.1 Warmluftheizung	21
3.2.2 Warmluftheizung mit Sitzbankheizung	24
3.2.3 Fußbodenheizung mit durchgängigem Wärmebezug	26
3.2.4 Fußbodenheizung mit Nachtstrombezug	29
3.2.5 Fußbodenheizung mit Warmluftheizung	30
3.2.6 Fußbodenheizung mit Sitzbankheizung	31
3.3 Vor- und Nachteile sowie Herstellungs- und Heizkosten der Wärmeverteilungssysteme	32

4	Lüftungsmöglichkeiten und Wärmerückgewinnung	35
5	Die Evaluierung der Vorgehensweise des Pilotprojekts „Energie und Klima“ der Erzdiözese Freiburg	38
5.1	Zweck der Evaluation und Evaluationsfragestellung	39
5.2	Die Reichweite der Evaluation und deren Adressaten	39
5.3	Beschreibung und Aufbau des Pilotprojekts	40
5.3.1	Ausgangssituation	40
5.3.2	Die Vision und strategischen Ziele	41
5.3.3	Zeitliche Struktur und Rahmenbedingungen	42
5.3.4	Vorstellung der Pilotkirchen	42
5.4	Methoden und Instrumente der Datenerhebung	47
5.5	Datenauswertung und Ergebnisse	48
5.5.1	Pfarrkirche St. Laurentius in Nußloch	48
5.5.2	Pfarrkirche St. Johannes Nepomuk in Eberbach	51
5.5.3	Pfarrkirche St. Jakobus in Weinheim-Hohensachsen	55
5.5.4	Pfarrkirche St. Jakobus in Karlsdorf	59
6	Die Auswahl der Dienstleister mithilfe von Bewertungsbögen und einer Bewertungsmatrix	63
7	Die Reaktionen der Kirchengemeinden auf das Pilotprojekt	67
8	Messgrößen zur Evaluation des Projekterfolgs	70
9	Handlungsempfehlungen und Richtlinien für das kommende Projekt „Energie und Klima in Kirchen“ der Erzdiözese Freiburg mit 40 Modellkirchen	72
10	Schlussfolgerung und Ausblick	73
	Anhang (elektronisch)	76
	Literaturverzeichnis	77
	Ehrenwörtliche Erklärung	82

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
bspw.	beispielsweise
DL	Dienstleister
engl.	englisch
Erzb.	Erzbischöflichen
ggf.	gegebenenfalls
i.d.R.	in der Regel
mechan.	mechanisch
natürl.	natürlich
o.ä.	oder ähnlichem
rel.	relative
RLTA	Raumlufttechnische Anlagen
sh.	siehe
sog.	sogenannte
vgl.	vergleiche
z.B.	zum Beispiel
z.T.	zum Teil

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	Seite
Abbildung 1: Spannungsfeld Kirche: Nutzung, Erhaltung und Gestaltung	11
Abbildung 2: Praxisbeispiel der Taupunktkurve	12
Abbildung 3: Optimale Raumtemperatur in Abhängigkeit von Bekleidung und Tätigkeit	18
Abbildung 4: Konvektions- und Strahlungsanteil verschiedener Wärmeverteilungssysteme	19
Abbildung 5: Beispiele für vertikale Temperaturprofile bei unterschiedlichen Wärmeverteilungssystemen	21
Abbildung 6: Luftzirkulation bei Warmluftheizungen	22
Abbildung 7: Luftzirkulation bei Sitzbankheizungen (links) Luftzirkulation bei Sitzbankheizung mit Sitzkissen o.ä. (rechts)	24
Abbildung 8: Luftzirkulation bei Fußbodenheizungen im Allgemeinen ohne Kaltluftabfall	27
Abbildung 9: Übersicht der Lüftungsmöglichkeiten	35
Abbildung 10: Bedeutung der Signalfarben einer Lüftungsampel	37
Abbildung 11: Prinzip der rekuperativen Wärmerückgewinnung	38
Abbildung 12: Temperatur- und Feuchtigkeitsverlauf im Bereich des Altars	50
Abbildung 13: Temperatur- und Feuchtigkeitsverlauf im Bereich der Orgel in der Pfarrkirche St. Johannes Nepomuk in Eberbach	53
Abbildung 14: Temperatur- und Feuchtigkeitsverlauf im Bereich der Orgel in der Pfarrkirche St. Jakobus in Weinheim-Hohensachsen	56
Abbildung 15: Vergrauung der Wände in der Pfarrkirche St. Jakobus in Weinheim-Hohensachsen	57
Abbildung 16: Temperatur- und Feuchtigkeitsverlauf im Bereich des Altars in der Pfarrkirche St. Jakobus in Karlsdorf	60
Abbildung 17: Möglicher Konzipierungsfehler des Luftauslasses (links) und Luftabzugs (rechts) in der Pfarrkirche St. Jakobus in Karlsdorf	61
Abbildung 18: Bewertungsmatrix als Entscheidungshilfe zur Empfehlung eines Dienstleisters durch die Projektleitung	66

Abbildung 19: Bewertungsmatrix des Fachexperten Christian Dahm als Entscheidungshilfe zur Empfehlung eines Dienstleisters	67
Tabelle 1: Klimabedingte Schäden an Orgel, Holzstatuen und dem Mauerwerk	14
Tabelle 2: Energieumsatz bei verschiedenen Tätigkeiten	16
Tabelle 3: Isolationswerte der Bekleidung	17
Tabelle 4: Raumklimavorgaben für Warmluftheizungen	23
Tabelle 5: Raumklimavorgaben für Warmluft- und Sitzbankheizung	25
Tabelle 6: Raumklimavorgaben für Fußbodenheizung mit durchgängigem Wärmebezug	28
Tabelle 7: Raumklimavorgaben für Fußbodenheizung mit Nachtstrombezug	30
Tabelle 8: Raumklimavorgaben für Fußbodenheizung mit Warmluftheizung	31
Tabelle 9: Raumklimavorgaben für Fußbodenheizung mit Sitzbankheizung	32
Tabelle 10: Vor- und Nachteile sowie Herstellungs- und Heizkosten der einzelnen Wärmeverteilsysteme und deren Kombinationen	33

1 Einleitung

„Wir sind nicht die letzte Generation, die den Klimawandel erleben wird, aber wir sind die letzte Generation, die etwas gegen den Klimawandel tun kann“.¹ Mit diesen Worten zeigt der ehemalige US-Präsident Barack Obama ein entscheidendes Problem unserer heutigen Generation auf. Denn Folgen des Klimawandels sind extreme Wetterereignisse und daraus resultierende Katastrophen: Überschwemmungen, Ernteauffälle, Artensterben und Waldbrände wie der Amazonasbrand im Jahre 2019 oder die großen Buschfeuer in Australien zu Beginn des Jahres 2020, die vielen Menschen und hunderten Millionen Tieren das Leben kosteten, sind längst keine Seltenheit mehr. Unsere Gesellschaft muss gemeinsam nach Lösungen suchen und Ziele festlegen um weitere Katastrophen noch größeren Ausmaßes zu verhindern.

Im ersten Kapitel des Buchs Genesis sprach Gott, dass die Menschen über die ganze Erde herrschen sollen (Gen 1-1,26). Somit hat der Mensch im christlichen Sinne die Verantwortung für Gottes Schöpfung zu tragen. Doch die Menschen haben bereits einen großen Anteil an der –zu schnellen– Klimaerwärmung beigetragen. Seit Beginn der Industrialisierung ist die Konzentration der Treibhausgase durch das Verbrennen fossiler Energieträger, durch die großflächige Entwaldung und durch die Land- und Viehwirtschaft in der Atmosphäre deutlich angestiegen. Um den weiteren Ausstoß der schädlichen Treibhausgase zu verringern, muss der Energieverbrauch stark reduziert werden. Da das Heizen im Haushalt mit am meisten Energie verbraucht und auch viel Geld kostet, ist sinnvolles Temperieren sowohl wirtschaftlich, als auch ökologisch von Vorteil.

Januar 2017 bedeutete für die Erzdiözese Freiburg ein großer Schritt in die Zukunft, was Nachhaltigkeit anbelangt, denn hier hat der Erzbischof Stephan Burger als neues ökologisches Ziel die „Klimaneutrale Erzdiözese 2030“ ausgerufen. Daraufhin wurden strukturelle Änderungen vorgenommen und viele Projekte gestartet um das Ziel zu erreichen.² Eines dieser Projekte ist „Energie und Klima in Kirchen“. Die erste Projektskizze hierzu gab es bereits im Jahre 2015. Es geht

¹ Obama, B. (2015)

² Vgl. Diözesanstelle Schöpfung und Umwelt der Erzdiözese Freiburg (Hrsg.), (o.J.)

hierbei vor allem um das richtige Heizen und Lüften in Kirchen. Kirchen sind ein wichtiger Ort der Begegnung und des Glaubens. Sie haben hohe künstlerische und kulturelle Wertigkeiten, da sie Kunstschätze aus lang vergangenen Zeiten beherbergen, die besondere Anforderungen an das Raumklima stellen und geschützt werden müssen. Jede Kirche ist einzigartig und so hat jede Kirche unterschiedliche Bedürfnisse. Sie unterscheiden sich in der Nutzung, in ihrem Alter, in der Bauweise, den verwendeten Baumaterialien und in ihrem Denkmalwert.³ Die Kirchen in Deutschland sind i.d.R. sehr alt und dementsprechend wurden andere Baustoffe genutzt, die z.T. anders auf das Raumklima reagieren, als die Baustoffe der Moderne. Auch der Energiestandard der meisten Kirchen entspricht nicht den aktuellen Richtlinien. Wärmedämmung gab es zum Zeitpunkt des Baus noch nicht in dem Sinne wie heute und auch auf die Luftdichtheit hat man nicht geachtet. Somit heizt man in den meisten Kirchen im wahrsten Sinne des Wortes auf dem direkten Weg nach draußen.

Auch die Zahl der Katholiken in Deutschland hat in den letzten Jahren, unter anderem aufgrund des demografischen Wandels, kontinuierlich abgenommen. Die Folgen haben großen Einfluss auf die Nutzung der Gebäude. So gibt es z.B. immer mehr leerstehende Pfarrhäuser, nicht benötigte Gemeinderäume und immer seltener stattfindende Gottesdienste. Da in vielen Kirchen keine tägliche Nutzung mehr vorhanden ist, muss das Heizen im Winter angepasst werden. Auch aus finanziellen Gründen ist das Projekt von hoher Wichtigkeit. Denn durch den Rückgang der Katholiken werden die Einnahmen durch die Kirchensteuer immer geringer.

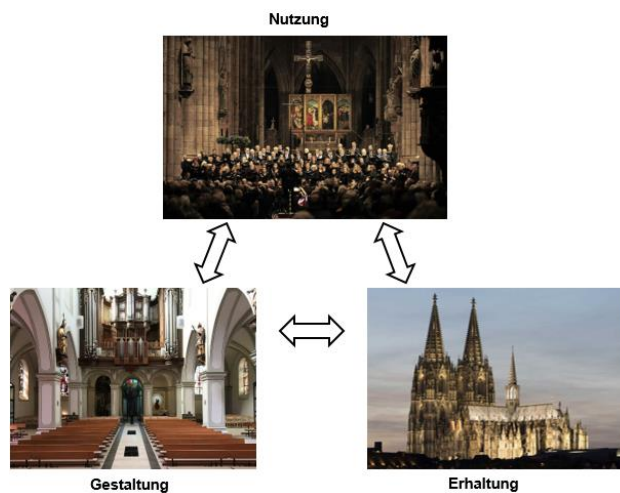
In der Erzdiözese Freiburg gibt es viele verschiedene Arten und Nutzungsmöglichkeiten von Heizungs- und Wärmeverteilsystemen in Kirchen. In dieser Arbeit liegt das Augenmerk auf den Wärmeverteilsystemen und deren Temperierungsmodellen. Das Ziel der Arbeit ist es, das Pilotprojekt der Erzdiözese Freiburg „Energie und Klima in Kirchen“ mit vier Pilotkirchen in Kooperation mit der Pfälzer Katholischen Kirchenschaffnei zu evaluieren und anschließende Handlungsempfehlungen für das kommende Projekt mit 40 Kirchen zu geben.

³ Vgl. Dahm, C. (2017), S. 4

2 Das Raumklima in Kirchen

Beim Heizen und Temperieren von Kirchen herrscht ein großes Spannungsfeld zwischen der Nutzung durch die Besucher und den Gottesdienstveranstaltern, der Erhaltung des Gebäudes und der Kunstgegenstände sowie der Gestaltung des Kirchenraums.⁴ In den folgenden Abschnitten wird nun näher auf die Ansprüche der Seiten Nutzung und Erhaltung eingegangen.

Abbildung 1: Spannungsfeld Kirche: Nutzung, Erhaltung und Gestaltung



Quelle: vgl. Dahm, C. (2017), S. 4, modifiziert

2.1 Anforderungen der Kirchengestaltung und Orgel an das Raumklima

Die Orgeln und Kunstgegenstände in Kirchen sind überwiegend aus Holz und erfordern daher ein besonderes Raumklima, damit keine Schäden entstehen. Hauptsächlich die Lufttemperatur und die Luftfeuchte sind verantwortlich für das Raumklima. Diese beiden physikalischen Größen hängen auch stark miteinander zusammen.⁵

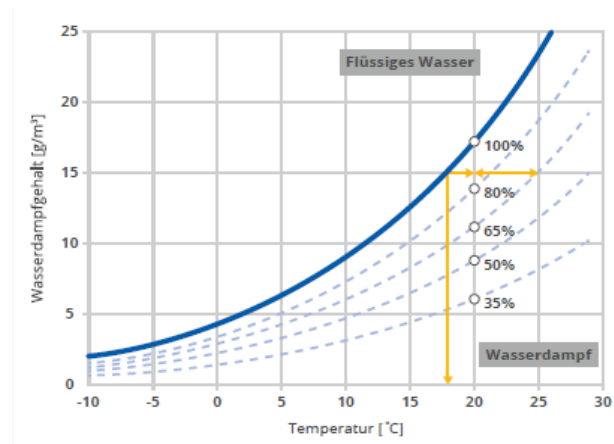
In Luft ist immer eine bestimmte Menge an Sauerstoff, Stickstoff und Wasser in Form von Wasserdampf enthalten. Die kalte Luft kann nur wenig Wasserdampf aufnehmen, die warme Luft hingegen deutlich mehr. Die rel. Luftfeuchtigkeit ist eine physikalische Einheit, die angibt, wie viel Wasserdampf des maximal Möglichen in der Luft vorhanden ist.

⁴ Vgl. Dahm, C. (2017), S. 4

⁵ Vgl. Schulz, E. (2018), S. 3

Die folgende Abbildung 2 und ihr Verlauf zeigt den Zusammenhang zwischen Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit: wenn warme Außenluft mit einer Temperatur von 25 Grad Celsius, einer rel. Luftfeuchtigkeit von 65 % und einem Wasserdampfgehalt von 15 g/m^3 durch die geöffneten Fenster in die kalte Kirche strömen, so wird diese Luft abgekühlt. Wenn 18 Grad Celsius erreicht wurden, ist auch der Taupunkt mit 100 % rel. Luftfeuchtigkeit erreicht. Da die kalte Luft weniger Wasserdampf aufnehmen kann, ist die maximale Menge an Wasserdampf in der Luft erreicht. Es bildet sich Kondenswasser, das sich an den Wänden, Fenstern und z.T. auch am Mobiliar absetzt.⁶

Abbildung 2: Praxisbeispiel der Taupunktkurve



Quelle: Dahm, C. (2017), S. 5

Wenn das Raumklima zu trocken ist und die angegebene Untergrenze der Erzdiözese Freiburg von 45 % unterschreitet, besteht das Risiko, der Kirchengestaltung zu schaden. Trockene Luft entsteht durch das dauerhafte Heizen auf hoher Temperaturstufe. Dadurch, dass die Raumtemperatur nicht die Möglichkeit hat abzusinken und sich die Luftfeuchte auch nicht mehr erholen kann, kommt es zu starken Trocknungserscheinungen.⁷

Weitere Vorsicht ist bei Kirchen geboten, in denen nicht optimale, aber dauerhaft stabile klimatische Raumzustände vorhanden sind. Denn die Gegenstände passen sich mit der Zeit an diese Umstände an und befinden sich in einem so-

⁶ Vgl. Dahm, C. (2017), S. 5

⁷ Vgl. Schulz, E. (2018), S. 3

nannten Beharrungszustand. Durch die raumklimatische Anpassung an die Vorgaben können irreparable Schäden auftreten.⁸ Um dies zu verhindern gibt die Norm DIN EN 15757 eine Strategie an, die sich speziell auf dieses Problem fokussiert. Wichtig ist, dass ein professioneller Konservator am Projekt beteiligt ist und einen Zustandsbericht über die Objekte erstellt. Er gibt den maximalen und minimalen Luftfeuchtigkeitsgehalt an, die die Objekte vertragen können. Anhand dieser Daten wird dann ein Heiz- und Lüftungskonzept erstellt.⁹

Es gibt unterschiedliche Vorgaben zur optimalen rel. Luftfeuchtigkeit in Kirchen. So gibt der bischöfliche Orgelrevisor Eberhard Schulz der Diözese Rottenburg Stuttgart eine optimale rel. Luftfeuchtigkeit für Kirchengestaltung und Orgel mit 50 % bis 60 % an.¹⁰ Der Berater Christian Dahm des Projekts Energie und Kirche hingegen ist der Überzeugung, dass eine rel. Luftfeuchtigkeit mit 50 % bis 70 % ein gutes Raumklima darstellt.¹¹ Die Erzdiözese Freiburg gibt ebenfalls an, welche rel. Luftfeuchtigkeit ein gutes Raumklima für Kirchen darstellt. Laut dem Temperierungsmodell sollte die Obergrenze von 70 % und die Untergrenze von 45 % eingehalten werden.¹²

Es ist zu sehen, dass es unterschiedliche Vorgaben zur rel. Luftfeuchtigkeit des optimalen Raumklimas gibt. Da jedoch geringe Schwankungen der rel. Luftfeuchtigkeit positiv für die Schadensvermeidung sind¹³, ist die Vorgabe des Orgelrevisors der Diözese Rottenburg, die für die Ausstattung am schonendsten. Jedoch lässt sich durch die Auswertung der Daten in einem späteren Kapitel erkennen, dass die Einhaltung nicht so einfach ist. Die Erzdiözese Freiburg achtet in ihren Temperierungsmodellen ebenfalls darauf, dass eine maximale Schwankung der rel. Luftfeuchtigkeit von 10 % pro Tag nicht überschritten wird.¹⁴

⁸ Vgl. Dahm, C. (2017), S. 6

⁹ Vgl. DIN EN 15757 Erhaltung des kulturellen Erbes (2010), S. 8; vgl. auch Dahm, C. (2017), S.6

¹⁰ Vgl. Schulz, E. (2018), S. 3

¹¹ Vgl. Dahm, C. (2017), S. 7

¹² Vgl. Temperierungsmodell für die Warmluftheizung - Diözesanstelle Schöpfung und Umwelt der Erzdiözese Freiburg (Hrsg.), (2019), S. 2

¹³ Vgl. Dahm, C. (2017), S. 6

¹⁴ Vgl. Temperierungsmodell für die Warmluftheizung - Diözesanstelle Schöpfung und Umwelt der Erzdiözese Freiburg (Hrsg.), (2019), S. 2

2.2 Mögliche Schäden aufgrund falschen Raumklimas

Durch falsches Raumklima können Schäden an der Bausubstanz und der Kircheneinrichtung entstehen. Die folgende Tabelle zeigt eine Übersicht einiger Schäden, die durch unterschiedliche raumklimatische Situationen entstehen können.

Tabelle 1: Klimabedingte Schäden an Orgel, Holzstatuen und dem Mauerwerk

Raumklima	Auswirkungen auf die Orgel	Auswirkungen auf die Holzstatuen	Auswirkungen auf das Mauerwerk
Rel. Luftfeuchte < 45 %	Risse in Windladen und Holzpfeifen	Trocknungsrisse in den Statuen	Spannungsrisse im Mauerwerk möglich
	Verhärtung von Lederteilen in Windanlagen	Farbverblassungen und Abblättern der Farbfassungen	-
	Deregulierung der Ton- und Registertraktur	-	-
Rel. Luftfeuchte > 75 %	Holzwurmbefall	Holzwurmbefall	Sichtbare Salzscha-
	Aufquellen von Materialien	Aufquellen von Materialien und Farb-abplatzungen	den Putzabplatzungen
	Schimmelbefall und Fäulnis durch holzzerstörende Pilze	Schimmelbefall und Fäulnis durch holzzerstörende Pilze	Schimmelbefall und Feuchtigkeitsschäden

Quelle: vgl. DIN EN 15759-1 (2012), S 11; vgl. auch Dahm, C. (2017), S. 10, vgl. auch Schulz, E. (2018), S. 8, vgl. hierzu auch Weyer, A. (2019), S. 14-16

Je nach Material sind die hygroskopischen Eigenschaften sehr unterschiedlich. Während Beton nur sehr wenig Feuchtigkeit aufnimmt, ist die Feuchtigkeitsaufnahme durch Holz sehr hoch. Hierbei sind auch die Holzart und die Wuchsrichtung beeinflussende Faktoren.¹⁵ Die Schäden an der Orgel machen sich durch

¹⁵ Vgl. Weyer, A. (2019), S. 16

Verstimmung und Tonausfälle bemerkbar. Die Schäden an dem Holzmobiliar und den Statuen fallen einem jedoch optisch ins Auge. Z.B. Risse in den Figuren oder Farbabplatzungen.

Neben einer Geruchsbelästigung kann der Schimmelbefall, der bei hoher rel. Luftfeuchtigkeit entsteht, auch eine gesundheitliche Gefährdung für den Menschen darstellen. Denn er kann Erkrankungen der Atemwege, Allergien, Asthma sowie Immunreaktionen verschlimmern und sogar verursachen.¹⁶

Salzschäden sind ebenfalls bekannte Schäden, die meistens im Gemäuer und am Sockelbereich auftreten. Wenn die rel. Luftfeuchtigkeit zu hoch ist, besteht das Risiko, dass Wasser in das Mauerwerk eindringt. Bestandteile von solchem Wasser sind Mineralien, wie Salz, die durch das Verdunsten des Wassers im Gemäuer bleiben.¹⁷

2.3 Was bedeutet thermische Behaglichkeit? - Komfortansprüche von Nutzern und Besuchern

So wie die Kirchengestaltung, Kunstwerke und Orgeln besondere Ansprüche an das Raumklima stellen, so haben auch die Nutzer und Besucher Komfortansprüche. Denn sowohl das Leistungsvermögen, als auch der Gesundheitszustand eines Menschen ist dann am besten, wenn er sich psychisch, physisch und sozial wohlfühlt. Die zugehörige Einflussgröße ist die sog. thermische Behaglichkeit.¹⁸ Die thermische Behaglichkeit ist abhängig von vielen verschiedenen Faktoren, wie der Tätigkeit, der Bekleidung, der Luftqualität, Licht und Lärm. Auch die Temperatur der umgebenden Oberflächen, die Luftgeschwindigkeit und die Luftfeuchtigkeit beeinflussen das Behaglichkeitsempfinden eines Menschen stark.¹⁹

Die thermische Behaglichkeit ist keine Kenngröße, die man rechnerisch exakt ermitteln kann, da jeder Mensch anders empfindet und es somit sehr subjektiv

¹⁶ Vgl. Weltgesundheitsorganisation Europa (Hrsg.), Leitlinien zur Innenraumluftqualität (2009), S. 1

¹⁷ Vgl. Maier, J. (2009), Wasser und Salz – typische Bauschäden an Außenwänden aus Mauerwerk

¹⁸ Vgl. Schild, K; Willems, W. (2013), S. 292

¹⁹ Vgl. Schmid, C. (2013), S. 63

betrachtet wird.²⁰ Aus diesem Grund ist es nicht immer der Fall, dass alle Personen in einem Raum das Klima als behaglich empfinden. Wenn jedoch 80 % der in einem Raum befindlichen Personen das Klima als thermisch angenehm empfinden, spricht man von einem akzeptablen Raumklima.²¹ Es gibt eine Berechnungsformel, die von dem dänischen Ingenieur P. O. Fanger entwickelt wurde und mittlerweile in der DIN EN ISO 7730 verwendet wird, um die Wärmebilanz des Menschen in das thermische Befinden umzulegen.

Mithilfe diesen Ansatzes wird die Frage beantwortet, wann in einer Kirche das Klima als thermisch behaglich empfunden werden kann. Folgend werden zwei primäre Einflussfaktoren untersucht, indem die optimale Raumtemperatur in Abhängigkeit mit der körperlichen Tätigkeit und der Bekleidung betrachtet wird.

2.3.1 Energieumsätze verschiedener körperlichen Tätigkeiten

Die Wärmeabgabe eines Menschen hängt stark von der körperlichen Tätigkeit ab. Je aktiver eine Person ist, desto höher ist ihr Stoffwechsel. Der Energieumsatz wird in der Einheit met angegeben, das vom englischen herrührt und metabolic rate bedeutet.²²

Ein met gilt für eine 1,70 Meter große, 69 Kilogramm schwere Person mit einer Körperoberfläche von 1,8 m². Die abgegebene Energie entspricht bei einem met etwa 100 Watt.²³

Folgende Tabelle gibt Anhaltswerte für den Energieumsatz des Körpers bei verschiedener Tätigkeit an.

Tabelle 2: Energieumsatz bei verschiedenen Tätigkeiten

Körperliche Tätigkeit	Energieumsatz in met
Sitzend, entspannt	1,0
Sitzende Tätigkeit (Büro, Schule)	1,2
Stehende leichte Tätigkeit (Einkaufen)	1,6
Stehende, mittelschwere Tätigkeit (Verkaufstätigkeit)	2,0

²⁰ Vgl. Schmid, C. (2013), S. 63

²¹ Vgl. Schild, K; Willems, W. (2013), S. 292

²² Vgl. Schild, K; Willems, W. (2013), S. 294

²³ Vgl. Schmid, C. (2013), S. 63

Gehen auf der Ebene:	
2 km/h	1,9
5 km/h	3,4

Quelle: vgl. DIN EN ISO 7730, Ergonomie der thermischen Umgebung (2006), S. 22, modifiziert

2.3.2 Isolationswert der Bekleidung

Die Wärmeabgabe des Körpers kann durch Bekleidung eingedämmt und somit reduziert werden. Dieser Isolationswert wird in der Einheit clo (engl. clothing) angegeben. Die DIN EN ISO 7730 gibt die thermischen Isolationswerte von einzelnen Bekleidungsstücken an. Dadurch lassen sich die clo - Werte addieren und man erhält folgende Angaben:

Tabelle 3: Isolationswerte der Bekleidung

Bekleidung	Isolationswert in clo
Keine Bekleidung	0
Sommerbekleidung	0,5
Bürokleidung	1,0
Winterbekleidung in gemäßigttem Klima	2,0
Polarbekleidung	> 3,0

Quelle: vgl. DIN EN ISO 7730, Ergonomie der thermischen Umgebung (2006), S. 24 - 25, modifiziert

2.3.3 Ermittlung der optimalen Raumtemperatur für Kirchenbesucher im Winter nach der DIN EN ISO 7730

Im Winter 2018/2019 lag die Durchschnittstemperatur in Deutschland bei 2,8 Grad Celsius.²⁴ Bei diesen Temperaturen trägt man in der Regel Winterbekleidung, die laut Tabelle 3 einen Isolationswert von 2,0 clo hat.

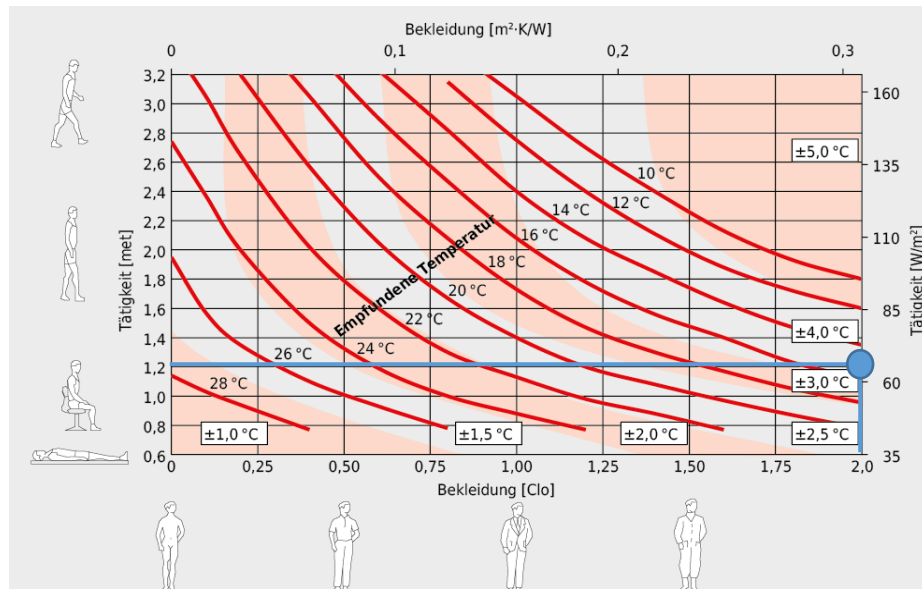
Diese Angaben gelten auch für die Kirchenräume, da man während den Gottesdiensten die Jacke anbehält, weil es in den meisten Kirchen keine Garderoben oder ähnliches gibt. Es wird davon ausgegangen, dass die Besucher während des Gottesdienstes ihre Jacken anbehalten und entspannt in den Bänken sitzen.

²⁴ Vgl. Deutscher Wetterdienst (Hrsg.), Deutschlandwetter im Winter 2018/19 (2019), S. 1

Da die Besucher während der Gottesdienste nicht nur sitzen, sondern auch stehen und zum Beten knien, erreicht man einen Energieumsatz von ungefähr 1,2 met. Anhand der Abbildung 3 kann man nun die optimale Raumtemperatur unter den gegebenen Umständen bestimmen. Laut der DIN EN ISO 7730 beträgt somit die optimale Raumtemperatur 16 Grad Celsius (blaue Markierung) mit bis zu 3 Grad Celsius Abweichung, aufgrund subjektiven Empfindens. Wenn man hierzu noch zusätzlich die rel. Luftfeuchtigkeit mit Blick auf die thermische Behaglichkeit betrachtet, so wird im Bereich zwischen 30 % und 80 % die rel. Luftfeuchtigkeit als angenehm empfunden.²⁵

Da jedoch die Kriterien der Behaglichkeit allgemein in einem Konflikt mit den Kriterien der Erhaltung der Gebäudesubstanz und der Gegenstände stehen können, ist es nicht möglich, einen Wert als allgemeine Empfehlung auszusprechen. Man muss jede Kirche als eigenen Fall im Hinblick auf die rel. Luftfeuchtigkeit, der Temperatur und die Luftbewegung untersuchen und anhand der Ergebnisse beurteilen.²⁶

Abbildung 3: Optimale Raumtemperatur in Abhängigkeit von Bekleidung und Tätigkeit



Quelle: vgl. DIN EN ISO 7730, Ergonomie der thermischen Umgebung (2006), S. 19, modifiziert

²⁵ Vgl. DIN EN 15759-1 Erhaltung des kulturellen Erbes–Raumklima Teil 1 (2011), S. 12

²⁶ Vgl. DIN EN 15759-1 Erhaltung des kulturellen Erbes–Raumklima Teil 1 (2011), S. 11

3 Wärmeverteilsysteme

Bevor auf die einzelnen Wärmeverteilsysteme und deren Kombinationen, wie sie in Kirchen vorkommen, eingegangen wird, werden die Heizungsarten Konvektions- und Strahlungsheizung definiert, erläutert und verglichen.

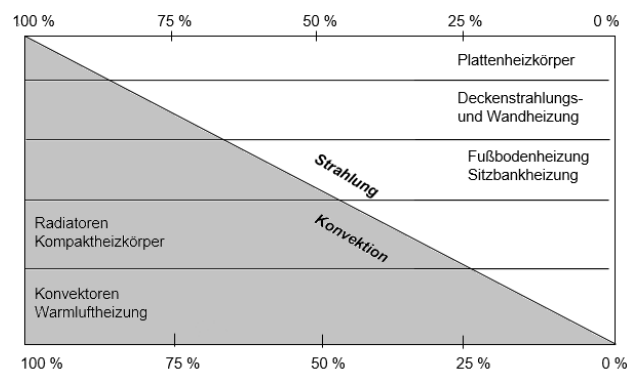
3.1 Konvektions- versus Strahlungsheizung

3.1.1 Begriffsdefinition von Konvektion und Strahlung

Konvektion ist eine Art der Wärmeübertragung, bei der ein Stofftransport zustande kommt. Warme und feuchte Luft steigt nach oben. Wenn die Luft in einem Raum erwärmt wird, nimmt ihre Dichte ab. Dadurch entsteht eine Auftriebskraft und die warme Luft wird von der kalten Luft an die Raumdecke verdrängt.²⁷ Deshalb werden Konvektionsheizungen auch Schichtheizungen genannt, da es am Boden kälter als an der Decke ist.

Die Wärmeübertragung bei Strahlungsheizung erfolgt durch elektromagnetische Wellen, die sich mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten.²⁸ Die Strahlungsheizung erwärmt im Vergleich zur Konvektionsheizung nicht die Luft, sondern die Oberflächen, wie z.B. einen Körper, Wände und Fenster. Das bekannteste Beispiel für Strahlungsheizungen sind die sog. Infrartheizungen.²⁹

Abbildung 4: Konvektions- und Strahlungsanteil verschiedener Wärmeverteilsysteme



Quelle: vgl. Gondring, H. (2012), S. 375, modifiziert

²⁷ Vgl. Tipler, P.; Mosaca, G. (2014), S. 632

²⁸ Vgl. Tipler, P.; Mosaca, G. (2014), S. 632

²⁹ Vgl. Dahm, C. (2017), S. 24

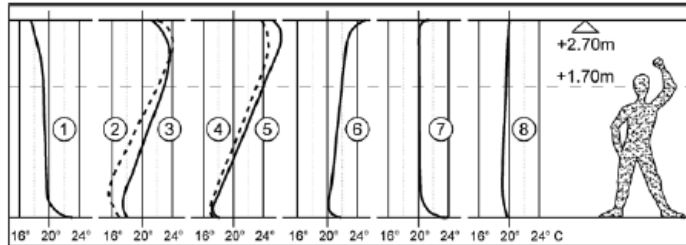
Die Abbildung 4 zeigt, wie das Verhältnis der Wärmeverteilsysteme zum Strahlungs- bzw. Konvektionsanteil ist. Die Fußbodenheizung hat bspw. den gleichen Anteil an Strahlung, wie an Konvektion. Während ein Plattenheizkörper ausschließlich eine Strahlungsheizung ist, so ist die Warmluftheizung eine Konvektionsheizung ohne Strahlungsanteil.

3.1.2 Temperaturprofile der Konvektions- und Strahlungsheizungen

Die Temperaturverläufe, die sich durch die oben genannten Wärmeübertragungsarten unterscheiden, sind in Abbildung 5 dargestellt und werden im kommenden Abschnitt erklärt.

Nummer eins zeigt die theoretisch optimale Temperaturverteilung in Wohnräumen. Dennoch ist es möglich die Profile auch auf Kirchen zu übertragen. Die Nummer zwei zeigt den Verlauf der Wärme bei Radiatoren an der Innenwand und die Nummer 3 bei Radiatoren an der Außenwand. Hieran kann man erkennen, dass diese Wärmeverteilsysteme nicht optimal sind, da es am Boden zu kalt und an der Decke zu warm ist. Die Nummer vier stellt den Verlauf von Einzelöfen dar, die aber für das Beheizen von Kirchen keine Rolle mehr spielen. Die Nummer fünf ist dafür umso wichtiger, denn sie zeigt das Temperaturprofil von Luftheizungen, wie es sie in Kirchen oft gibt. Zu erkennen ist ein typisches Problem der Warmluftheizung. Die warme Luft wird von der kalten Luft an die Decke gedrängt. Der Temperaturunterschied zwischen dem unteren und oberen Raumbeereich ist der stärkste von allen abgebildeten Temperaturprofilen. Nummer sechs zeigt den Temperaturverlauf einer Decken-Strahlungsheizung. Das nächste Wärmeverteilsystem kommt der optimalen Temperaturverteilung am nächsten, es beschreibt die Fußbodenheizung. Hierauf wird in den folgenden Temperierungsmodellen noch näher eingegangen. Die letzte Art ist eine Wandheizung. Diese kann man in Kirchen nur schwer einsetzen, da sie einen Mindestabstand zu den Besuchern haben muss. Der Wohlfühleffekt ist bei Strahlungsheizungen jedoch höher, da hier der Körper durch die elektromagnetischen Wellen direkt gewärmt wird.

Abbildung 5: Beispiele für vertikale Temperaturprofile bei unterschiedlichen Wärmeverteilsystemen



Quelle: Schild, K; Willems, W. (2013), S. 297

Heutzutage gibt es viele verschiedene Möglichkeiten eine Kirche zu beheizen. So kann man auf unterschiedliche Weise Wärme erzeugen, bspw. mit einer Wärmepumpe, Pelletheizung oder mit einem Blockheizkraftwerk. Diese produzieren die Wärme, die dann anschließend mit unterschiedlichen Systemen im Raum verteilt werden. Welche Arten von Wärmeverteilsystemen es in den Kirchen der Erzdiözese Freiburg gibt, wird im kommenden Abschnitt behandelt.

3.2 Arten und Kombinationsmöglichkeiten der Wärmeverteilsysteme und deren Temperierungsmodelle

In der Erzdiözese Freiburg werden 80 % der Heizsysteme in den Kirchen durch sieben Wärmeverteilsysteme und Kombinationen abgedeckt. Für jedes System und deren Kombination wird in dieser Arbeit ein Temperierungsmodell vorgestellt, das vor allem von den Kirchengemeinden sinnvoll eingesetzt werden kann. Die Temperierungsmodelle setzen sich aus verschiedenen Punkten zusammen. Sie berücksichtigen sowohl die Besonderheiten, als auch die Möglichkeiten und die Grenzen der jeweiligen Systeme. Zudem präzisieren sie die allgemeinen Temperaturvorgaben der Erzdiözese Freiburg für die verschiedenen Wärmeverteilsysteme. ³⁰

3.2.1 Warmluftheizung

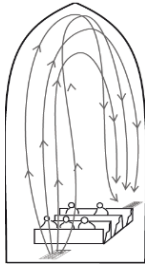
Beschreibung des Wärmeverteilsystems:

Bei der Warmluftheizung wird die Luft zentral, dezentral oder indirekt, wenn bspw. noch ein weiteres Gebäude mit derselben Kesselanlage beheizt wird, auf eine

³⁰ Vgl. Temperierungsmodell für die Warmluftheizung-Diözesanstelle Schöpfung und Umwelt der Erzdiözese Freiburg (Hrsg.), (2019), S. 2

bestimmte Temperatur aufgeheizt. Anschließend wird die erwärmte Luft und an über große Luftschächte und Ausströmungsgitter im Fußboden oder der Wand in Umlauf gebracht.³¹

Abbildung 6: Luftzirkulation bei Warmluftheizungen



Quelle: Sandler, M. (2008), S. 6

In Kirchen werden sie meist Schwerkraft-Luftheizungen oder Auftriebs-Luftheizungen genannt. Wie der Name schon verrät, erfolgt die Luftbewegung nur durch die unterschiedliche Dichte der warmen und kalten Luft.³² Die abgekühlte Luft wird anschließend über Bodenöffnungen aus dem Kirchenraum gesaugt. Dadurch entsteht eine Luftzirkulation, die Abbildung 6 darstellt. Durch diese Zirkulation sollte idealerweise der gesamte Kirchenraum temperiert werden.³³ Hierbei besteht jedoch auch die Gefahr einer Luftwalze. Diese kann als kalte Zugluft empfunden werden, da die warme Luft nach oben an die Decke steigt.³⁴

Raumklimavorgaben und Besonderheiten der Heizstrategie:

Die Grundtemperatur dient der Sicherstellung einer Grundbeheizung des Gebäudes. Sie sollte 8 Grad Celsius betragen, da der Energieverbrauch maßgeblich durch diese Temperatur gesenkt werden kann. Hierbei darf die rel. Luftfeuchtigkeit nicht mehr als 70 % betragen, da sonst Schäden entstehen können, die in Kapitel 2.2 dieser Arbeit aufgeführt sind. Während einer Nutzphase darf die Tem-

³¹ Vgl. Sandler, M. (2008), S. 6; vgl. auch Temperierungsmodell für die Warmluftheizung-Diözesanstelle Schöpfung und Umwelt der Erzdiözese Freiburg (Hrsg.), (2019), S. 3; vgl. auch DIN EN 15759-1 Erhaltung des kulturellen Erbes–Raumklima Teil 1 (2011), S. 15, vgl. hierzu auch Dahm, C. (2017), S. 5

³² Vgl. Laasch, T., Laasch E. (2005), S. 694

³³ Vgl. Temperierungsmodell für die Warmluftheizung-Diözesanstelle Schöpfung und Umwelt der Erzdiözese Freiburg (Hrsg.), (2019), S. 3

³⁴ Vgl. Laasch, T., Laasch E. (2005), S. 694; vgl. auch DIN EN 15759-1 Erhaltung des kulturellen Erbes–Raumklima Teil 1 (2011), S. 15

peratur nicht mehr als 13 Grad Celsius betragen, da die Temperaturdifferenz zwischen Grund- und Nutztemperatur nicht mehr als 5 Grad Celsius betragen sollte. Die rel. Luftfeuchtigkeit darf nicht unter 45 % fallen.

Es gilt: Je schützenswerter die Ausstattung der Kirche, desto niedriger sollte die Temperaturdifferenz zwischen Grund- und Nutztemperatur sein. Dabei ist zu beachten, dass die Aufheiz- und Abkühlgeschwindigkeit nicht mehr als 1 Grad Celsius pro Stunde betragen darf.³⁵

Tabelle 4: Raumklimavorgaben für Warmluftheizungen

Warmluftheizung	Grundphase	Nutzphase
Temperatur	8 °C	13 °C
Rel. Luftfeuchtigkeit	< 70 %	> 45 %

Quelle: vgl. Temperierungsmodell für die Warmluftheizung, Diözesanstelle Schöpfung und Umwelt der Erzdiözese Freiburg (Hrsg.), (2019), Anlage 14

Ergänzende Hinweise für die Nutzung und den Betrieb:

Es gibt viele Warmluftheizungen, die mithilfe einer modernen Regelung ihre Raumtemperatur in einer bestimmten Geschwindigkeit aufheizen, die sog. Rampenfunktion bzw. Aufheizautomatik. Bei Heizungen, die manuell betrieben werden, müssen die maximale Aufheiz- und Abkühlgeschwindigkeit beachtet werden. Durch die entstehende Luftzirkulation dürfen die Bodenauslässe für die Warmluft nicht in Bereichen angeordnet werden, die häufig begangen werden. Hierfür gibt es unterschiedliche Gründe. Zum einen kann Staub und Schmutz von den Schuhen der Besucher leicht in die zirkulierende Luft gelangen³⁶ und zum anderen können die hohen Zulufttemperaturen störend sein.³⁷ Es sollte auch sichergestellt sein, dass die Warmluftströmung nicht direkt auf Wände oder Kirchenausstattung gerichtet ist und dass die Systeme mit Filtern ausgestattet sind, um vor allem das Verschmutzen der Wände und der Ausstattung zu vermeiden.³⁸

³⁵ Vgl. Temperierungsmodell für die Warmluftheizung-Diözesanstelle Schöpfung und Umwelt der Erzdiözese Freiburg (Hrsg.), (2019), S. 2-3

³⁶ Vgl. DIN EN 15759-1 Erhaltung des kulturellen Erbes–Raumklima Teil 1 (2011), S. 16

³⁷ Vgl. Laasch, T., Laasch E. (2005), S. 696

³⁸ Vgl. DIN EN 15759-1 Erhaltung des kulturellen Erbes–Raumklima Teil 1 (2011), S. 16

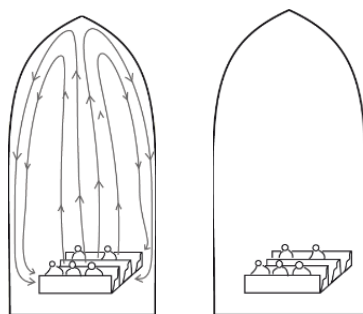
Hier ist es sinnvoll eine Firma für regelmäßige Wartungsarbeiten zu beauftragen, sodass saubere Luft fortlaufend gewährt wird.

3.2.2 Warmluftheizung mit Sitzbankheizung

Beschreibung des Wärmeverteilsystems:

Die eben erläuterte Warmluftheizung kann in Kirchen auch mit einer kirchenspezifischen Heizungsart, der Sitzbankheizung, kombiniert werden. Ziel dieser Beheizungsart ist es, eine akzeptable thermische Behaglichkeit für die Besucher zu bieten und gleichzeitig das Raumklima zu schonen. Durch die Kombination aus der Warmluft- und Sitzbankheizung ist es möglich, das Gebäude sehr schonend zu temperieren. Eine Art der Sitzbankheizung ist es, die Bänke durch einen bodennahen Warmluftstrahl zu beheizen. Mithilfe eines Gebläsekonvektors wird warme Luft aus einem Schlitz mit hoher Geschwindigkeit dicht am Boden transportiert. Wenn dieser Luftstrom auf Hindernisse wie Bänke oder Füße trifft, zerstreut er sich. Es entstehen Aufwärtsluftströme, die den Besucher auf der Sitzbank erwärmt. Dieser Luftstrom kann aber auch als unangenehmer Luftzug empfunden werden. Die folgende Abbildung 7 zeigt den Luft- und Wärmeverlauf.

Abbildung 7: Luftzirkulation bei Sitzbankheizungen (links) Luftzirkulation bei Sitzbankheizung mit Sitzkissen o.ä. (rechts)



Quelle: Sandler, M. (2008), S. 6

Eine weitere Art der Sitzbankheizung ist die integrierte lokale Beheizung, die durch Heizelemente in Sitzkissen und Heizteppichen integriert sind, durchgeführt wird.³⁹ Ältere Sitzbankheizungen, die als Unterbankstrahler ausgeführt sind, sind

³⁹ Vgl. DIN EN 15759-1 Erhaltung des kulturellen Erbes–Raumklima Teil 1 (2011), S. 20

jedoch oft überdimensioniert, weshalb es sowohl zur Schädigung der Bänke, als auch zu unangenehmem Empfinden der Kirchenbesucher kommen kann.⁴⁰ Die letzte hier vorgestellte Art der Sitzbankheizung, erfolgt durch eine ergonomisch verteilte Niedertemperaturstrahlungsheizung. Wie der Name schon sagt, werden die Strahlungsquellen ergonomisch an die Bänke angebracht um bestimmte Körperteile zu erwärmen, wie z.B. die Knieleisten, Füße oder durch die Beheizung der Lehne den Rücken. Weitere Arten sind die Beheizung der Bänke durch einzelne Hochtemperatur-Elektrogeräte, einzelne Niedertemperaturheizer oder durch Warmluft.⁴¹

Raumklimavorgaben und Besonderheiten der Heizstrategie:

Die Grundtemperatur wird durch die Warmluftheizung auf 8°C gehalten. Bei einer Nutzung des Gebäudes wird die Lufttemperatur auf 10°C bis maximal 12°C erhitzt. Es wird keine so hohe Lufttemperatur benötigt, da noch die Möglichkeit der Beheizung durch die Sitzbankheizung besteht. Dadurch wird das allgemeine Raumklima nicht stark beeinflusst und das Behaglichkeitsempfinden der Besucher gesteigert. Die rel. Luftfeuchtigkeit sollte weiterhin den Vorgaben entsprechen.

Tabelle 5: Raumklimavorgaben für Warmluft- und Sitzbankheizung

Warmluftheizung mit Sitzbankheizung	Grundphase	Nutzphase
Temperatur	8 °C durch Warmluftheizung.	Zeitliche und örtliche Temperierung der Sitzbankheizung.
Rel. Luftfeuchtigkeit	< 70 %	> 45 %

Quelle: vgl. Temperierungsmodell für die Warmluftheizung mit Sitzbankheizung, Diözesanstelle Schöpfung und Umwelt der Erzdiözese Freiburg (Hrsg.), (2019), Anlage 15

⁴⁰ Vgl. Dahm, C. (2017), S. 23

⁴¹ Vgl. DIN EN 15759-1 Erhaltung des kulturellen Erbes–Raumklima Teil 1 (2011), S. 20

Ergänzende Hinweise für die Nutzung und den Betrieb:

Für die Warmluftheizung gelten die gleichen Hinweise wie im vorherigen Kapitel 3.1.1. Zudem gibt es bei jeder Art der Sitzbankheizung Hinweise, die bei der Nutzung und sogar schon bei der Planung beachtet werden müssen. Bei allen Sitzbankheizungen ist eine feste Bestuhlung Voraussetzung. Dies muss bei der Anschaffung bedacht werden, denn heutzutage wird auch in Kirchen häufiger eine freie Bestuhlung gewünscht, da die Sakralgebäude oft neben Gottesdiensten auch für anderweitige kulturelle Zwecke oder als Pfarrgemeinderäume genutzt werden.⁴² Bei einer Sitzbankheizung mit bodennahem Warmluftstrahl muss beachtet werden, dass die Technik nur angewandt werden kann, wenn die Bänke hinten und unten offen sind, damit der Warmluftstrom nicht direkt zerstreut wird.

Die integrierte lokale Sitzbankbeheizung reicht in kalten Regionen nicht aus. Daher sollte diese immer in Kombination verwendet werden. Bei kalten Außentemperaturen kann es sein, dass durch die ergonomisch verteilten Niedertemperaturstrahlungsheizung nicht die gewünschte Behaglichkeit realisiert werden kann.⁴³ Außerdem muss eine allgemeine und geeignete Regelung installiert werden, die die Temperaturunterschiede zwischen der Sitzbankheizung und der restlichen Umgebung so gering wie möglich halten soll, um das rasche Wechseln der Lufttemperatur zu verhindern.⁴⁴ Die Temperaturen dürfen nicht zu hoch sein, da so das Behaglichkeitsempfinden beeinträchtigt wird und sogar Verbrennungen drohen. Eine Grundtemperierung kann mit diesem Heizsystem alleine nicht erreicht werden.⁴⁵

3.2.3 Fußbodenheizung mit durchgängigem Wärmebezug

Beschreibung des Wärmeverteilsystems:

Eine Fußbodenheizung mit durchgängigem Wärmebezug entspricht in der Regel der Technik aus dem Wohnungsbau. Wasserführende Heizleitungen im Boden

⁴² Vgl. Arendt, C. (o.J.), S. 173

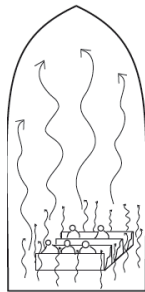
⁴³ Vgl. DIN EN 15759-1 Erhaltung des kulturellen Erbes–Raumklima Teil 1 (2011), S. 20

⁴⁴ Vgl. Sandler, M. (2008), S. 6

⁴⁵ Vgl. Temperierungsmodell für die Warmluftheizung-Diözesanstelle Schöpfung und Umwelt der Erzdiözese Freiburg (Hrsg.), (2019), S. 2

erwärmen die Oberfläche.⁴⁶ Da sie während der Heizperiode im Winter durchgehend genutzt werden, sind hier Brennwertkessel oder eine Erdreich-Wärmepumpe von großem Vorteil. Es benötigt bei beiden Wärmeerezeugungen nur Heizwasser mit niedriger Temperatur und die Brauchwasserbereitung entfällt. Die Fußbodenheizung führt dem Raum auf großer Fläche Wärme zu.⁴⁷ Die thermische Behaglichkeit durch eine Fußbodenheizung ist hoch, solange es keinen Luftzug gibt.⁴⁸ Um das zu verstehen, ist es sinnvoll den sogenannten Kaltluftabfall genauer zu betrachten. An Grenzschichten wie an Fenstern, kalten Wänden oder einer kalten Decke wird die aufsteigende warme Luft abgekühlt und fällt aufgrund der höheren Dichte wieder nach unten. Dadurch entsteht ein Luftzug, der die Behaglichkeit beeinträchtigen kann.⁴⁹ Die Abbildung 8 zeigt die Luftzirkulation einer Fußbodenheizung ohne Kaltluftabfall. Es ist zu sehen, dass die Besucher in den Bänken angenehm gewärmt werden und gleichzeitig der gesamte Raum geheizt wird.

Abbildung 8: Luftzirkulation bei Fußbodenheizungen im Allgemeinen ohne Kaltluftabfall



Quelle: Sandler, M. (2008), S. 7

Raumklimavorgaben und Besonderheiten der Heizstrategie:

Die Grundtemperatur soll auch bei dieser Heizstrategie weiterhin 8°C betragen, die mit Hilfe der Fußbodenheizung garantiert wird. Während der Nutzung sollte die Lufttemperatur auf ca. 13°C aufgeheizt werden. Das ist, wie auch bei der

⁴⁶ Vgl. Herwig, H., Moschallski, A. (2009), S. 38; vgl. auch Sandler, M (2008), S. 7; vgl. hierzu auch Dahm, C. (2017), S. 22

⁴⁷ Vgl. Dahm, C. (2017), S. 22

⁴⁸ Vgl. DIN EN 15759-1 Erhaltung des kulturellen Erbes–Raumklima Teil 1 (2011), S. 18

⁴⁹ Vgl. Hottinger, M. et al. (1940), S. 179; vgl. auch Vgl. DIN EN 15759-1 Erhaltung des kulturellen Erbes–Raumklima Teil 1 (2011), S. 18; vgl. hierzu auch Schmid, C. (2013), S. 65

Sitzbankheizung, eine geringere Temperatur. Der Grund hierfür liegt darin, dass die Sitz- und Fußbodenheizungen sogenannte Strahlheizungen sind und den Körper bzw. die Füße der Besucher direkt wärmen. Die Vorgaben der rel. Luftfeuchtigkeit sollten auch hier weiter eingehalten werden.

Tabelle 6: Raumklimavorgaben für Fußbodenheizung mit durchgängigem Wärmebezug

Fußbodenheizung mit durchgängigem Wärmebezug	Grundphase	Nutzphase
Temperatur	8 °C Oberflächentemperatur des Bodens abhängig von dem Material	13 °C Oberflächentemperatur des Bodens abhängig von dem Material
Rel. Luftfeuchtigkeit	< 70 %	> 45 %

Quelle: vgl. Temperierungsmodell für die Fußbodenheizung mit durchgängigem Wärmebezug, Diözesanstelle Schöpfung und Umwelt der Erzdiözese Freiburg (Hrsg.), (2019), Anlage 16

Ergänzende Hinweise für die Nutzung und den Betrieb:

Die Vorlauftemperatur der Fußbodenheizung hängt von der Art des Bodenbelags ab. Sollte es bisher hierüber keine Vorgaben geben, empfiehlt es sich, einen Experten mit der Bestimmung der richtigen Temperatur zu beauftragen um Schäden im Boden und eine zu warme Bodenoberfläche zu vermeiden. Um Kreislaufprobleme der Besucher oder anderweitige gesundheitliche Folgen zu vermeiden, darf die Oberflächentemperatur nicht mehr als 29 Grad Celsius betragen.⁵⁰ Auch sollte wie schon erwähnt darauf geachtet werden, dass keine Luftwalze und kein Kaltluftabfall entsteht. Denn durch so eine Luftwalze gelangt Staub und Dreck von den Schuhen der Besucher in die Luft, wodurch Allergien gefördert und im schlimmsten Fall Atemwegsinfektionen verursacht werden können. Zudem kann

⁵⁰ Vgl. DIN EN 15759-1 Erhaltung des kulturellen Erbes–Raumklima Teil 1 (2011), S. 18

es auch zu einer Schwärzung der Wände und Decken führen. Um dies zu vermeiden dürfen die Wände und Fenster nicht zu kalt sein. Eine Möglichkeit, diesen physikalischen Vorgang zu vermeiden, sind Heizkörper unter den Fenstern.⁵¹ Die Heizwirkung von Fußbodenheizungen ist sehr träge, was in historischen Gebäuden jedoch von Vorteil ist, da somit die langsame Temperaturveränderung von einem Grad Celsius pro Stunde von selbst erfüllt wird.⁵² Da bei der Anschaffung der Eingriff in den Boden von großem Ausmaß ist, darf das System nicht bei Böden von historischem oder künstlerischem Wert eingesetzt werden.⁵³ Daher muss bei der Planung das Denkmalschutzamt miteinbezogen werden.

3.2.4 Fußbodenheizung mit Nachtstrombezug

Beschreibung des Wärmeverteilsystems:

Die Fußbodenheizung mit Nachtstrombezug wird im Gegensatz zur Fußbodenheizung mit durchgängigem Wärmebezug elektrisch betrieben. Nachtstrom wird auch als Niederstrom-, Schwachlast- oder Niedertarif bezeichnet. In der Nacht verbrauchen Industrie und Privathaushalte weniger Strom als am Tag, weshalb durch die Nutzung von Nachtstrom ein finanzieller Anreiz geschaffen werden sollte. Elektrospeicherheizungen werden nachts bei niedrigen Stromtarifen elektrisch aufgeladen und wandeln tagsüber je nach Bedarf Strom in Wärme um.⁵⁴ Da diese Tarife jedoch zunehmend abgeschafft werden, weil nachts z.B. kein Solarstrom produziert werden kann, steigen die Heizkosten einer Kirche mit so einem Wärmeverteilsystem erheblich.⁵⁵ Die Luftzirkulation ist gleich wie bei einer Fußbodenheizung mit durchgängigem Wärmebezug (Abbildung 8). Die Gefahr eines Kaltluftabfalls besteht auch hier.

Raumklimavorgaben und Besonderheiten der Heizstrategie:

Auch bei einer Fußbodenheizung mit Nachtstrombezug beträgt die Grundtemperatur weiter acht Grad Celsius. Während Gottesdiensten soll die Temperatur

⁵¹ Vgl. Hottinger, M. et al. (1940), S. 179

⁵² Vgl. Dahm, C. (2017), S. 22

⁵³ Vgl. Dahm, C. (2017), S. 22

⁵⁴ Vgl. Aichele, C. (2012), S. 260

⁵⁵ Vgl. Dahm, C. (2017), S. 22

dreizehn Grad Celsius betragen und die rel. Luftfeuchtigkeit darf nicht über 70 % und nicht unter 45 % liegen.

Tabelle 7: Raumklimavorgaben für Fußbodenheizung mit Nachtstrombezug

Fußbodenheizung mit Nachtstrombezug	Grundphase	Nutzphase
Temperatur	8 °C Oberflächentemperatur des Bodens abhängig von dem material	13 °C Oberflächentemperatur des Bodens abhängig von dem Material
Rel. Luftfeuchtigkeit	< 70 %	> 45 %

Quelle: vgl. Handreichung für die Warmluftheizung-Diözesanstelle Schöpfung und Umwelt der Erzdiözese Freiburg (Hrsg.), (2019), S. 2, Anlage 14, modifiziert

Ergänzende Hinweise für die Nutzung und den Betrieb:

Es gelten hier die gleichen Hinweise wie bei einer Fußbodenheizung mit durchgängigem Wärmebezug in Kapitel 3.1.3. In den Fällen, in denen noch mit Nachtstrom geheizt wird, muss das Augenmerk vor allem auf der Heizstrategie liegen. In der Regel heißt diese, dass man nachts so viel Wärme wie möglich erzeugen soll, sodass der Tagstromtarif vermieden werden kann. Leider ist diese Heizstrategie durch die stoßartige Aufheizung sehr schädlich für die Ausstattung. Zudem gibt es bei diesen Heizsystemen auch nur Ein- und Aus- Schalter, eine „Rampenfunktion“ ist nicht möglich.⁵⁶

3.2.5 Fußbodenheizung mit Warmluftheizung

Beschreibung des Wärmeverteilsystems:

Die Wärmeverteilsysteme Fußbodenheizung und Warmluftheizung wurden bereits in den Kapitel 3.2.1. und 3.2.3.-3.2.4. erläutert, weshalb auf die Beschreibung nicht mehr näher eingegangen wird.

⁵⁶ Vgl. Dahm, C. (2017), S. 22

Raumklimavorgaben und Besonderheiten der Heizstrategie:

Die Fußbodenheizung wird mit durchgängigem Wärmebezug betrieben und garantiert die acht Grad Celsius Grundtemperatur, wenn die Kirche nicht genutzt wird. Während einer Nutzphase kann die Warmluftheizung hinzugeschaltet werden, sollten die Außentemperaturen zu niedrig sein um die gewünschte Innentemperatur von dreizehn Grad Celsius mit der Fußbodenheizung zu erreichen. Die Luftfeuchtigkeit darf weiterhin nicht die 70 % überschreiten bzw. die 45 % nicht unterschreiten.

Tabelle 8: Raumklimavorgaben für Fußbodenheizung mit Warmluftheizung

Fußbodenheizung mit Warmluftheizung	Grundphase	Nutzphase
Temperatur	8 °C Durch Fußbodenheizung	13 °C Durch Warmluftheizung
Rel. Luftfeuchtigkeit	< 70 %	> 45 %

Quelle: vgl. Temperierungsmodelle für die Fußbodenheizung mit Warmluftheizung, Diözesanstelle Schöpfung und Umwelt der Erzdiözese Freiburg (Hrsg.), (2019), Anlage 17

Ergänzende Hinweise für die Nutzung und den Betrieb:

Hier sind die bereits genannten Hinweise der Fußbodenheizung mit durchgängigem Wärmebezug und mit Nachtstrombezug, sowie die der Warmluftheizung zu beachten.

3.2.6 Fußbodenheizung mit Sitzbankheizung

Beschreibung des Wärmeverteilsystems:

Wie auch bei der Fußbodenheizung mit Warmluftheizung, wird auch hier auf die Beschreibung der einzelnen Wärmeverteilsysteme verzichtet, da es bereits in Kapitel 3.2.2.-3.2.4. behandelt wurde.

Raumklimavorgaben und Besonderheiten der Heizstrategie:

In der Grundphase müssen weiterhin die 8 °C durch die Fußbodenheizung gehalten werden. Daher ist es sinnvoll, mit durchgängigem Wärmebezug zu heizen. Anschließend wird vor der Nutzung die Sitzbankheizung angeschaltet um an den Stellen, an denen die Besucher sitzen werden, für thermische Behaglichkeit zu sorgen. Die rel. Luftfeuchtigkeit sollte weiterhin in dem bisher genannten Rahmen liegen.

Tabelle 9: Raumklimavorgaben für Fußbodenheizung mit Sitzbankheizung

Fußbodenheizung mit Sitzbankheizung	Grundphase	Nutzphase
Temperatur	8 °C Durch Fußbodenheizung	Zeitlich und örtlich begrenzte Temperierung der Sitzbankheizung
Rel. Luftfeuchtigkeit	< 70 %	> 45 %

Quelle: vgl. Temperierungsmodell für die Fußbodenheizung mit Sitzbankheizung, Diözesanstelle Schöpfung und Umwelt der Erzdiözese Freiburg (Hrsg.), (2019), Anlage 18

Ergänzende Hinweise für die Nutzung und den Betrieb:

Es gelten die gleichen Hinweise wie in den genannten Kapiteln über Fußboden- und Sitzbankheizungen.

3.3 Vor- und Nachteile sowie Herstellungs- und Heizkosten der Wärmeverteilssysteme

Nun werden die Vor- und Nachteile der einzelnen Wärmeverteilssysteme in einer Tabelle zusammengefasst. Es werden folgende Daten für die Herstellungs- und Heizkosten angenommen: eine gotische Kirche mit ca. 200 Sitzplätzen, einer Raumhöhe von 15 m und 360 m².

Tabelle 10: Vor- und Nachteile sowie Herstellungs- und Heizkosten der einzelnen Wärmeverteilsysteme und deren Kombinationen

	Vorteile	Nachteile	Herstellungskosten	Heizkosten €/a
Wärmeluftheizung	<ul style="list-style-type: none"> - gute Regelungsmöglichkeiten (Bsp. Heizrampe) 	<ul style="list-style-type: none"> - verändert Temperatur und rel. Luftfeuchtigkeit im Inneren - Gefahr einer Luftwalze - Entstehung von Kondenswasser leicht möglich 	<ul style="list-style-type: none"> - Starker baulicher Eingriff -> 60.000 - 100.000 € 	<ul style="list-style-type: none"> Mittel Zwei Gottesdienste pro Woche und Grundtemperierung ca. 8.500 €/a
Wärmeluftheizung mit Sitzbankheizung	<ul style="list-style-type: none"> - sh. Wärmeluftheizung - Kombination ist schonend für Bausubstanz und Ausstattung - Zeitliche und örtliche Temperierung möglich 	<ul style="list-style-type: none"> - sh. Wärmeluftheizung - evtl. zu hohe Temperatur, was zu Unbehaglichkeit führt (Sitzbankheizung) - Je nach Sitzbankheizart besteht die Gefahr einer Luftwalze 	<ul style="list-style-type: none"> - starker baulicher Eingriff (Wärmeluftheizung) -> 60.000 - 100.000 € - geringer baulicher Eingriff (Sitzbankheizung) -> 15.000 - 25.000 € 	<ul style="list-style-type: none"> Hoch bis Mittel Zwei Gottesdienste pro Woche und Grundtemperierung durch Wärmeluftheizung ca. 10.000 €/a bzw. mit Sitzkissen ca. 8.550 €/a
Fußbodenheizung mit durchgängigem Wärmebezug	<ul style="list-style-type: none"> - geringer Regelaufwand, aufgrund durchgängigen Wärmebezugs - hohe thermische Behaglichkeit 	<ul style="list-style-type: none"> - verändert Temperatur und rel. Luftfeuchtigkeit im Inneren 	<ul style="list-style-type: none"> - Starker baulicher Eingriff -> 40.000 - 80.000 € -> Bei historisch und künstlerischen wertvollen Böden nicht möglich 	<ul style="list-style-type: none"> Mittel Zwei Gottesdienste pro Woche und Grundtemperierung ca. 8.000 €/a

	Vorteile	Nachteile	Herstellungskosten	Heizkosten €/a
Fußbodenheizung mit Nachtstrombezug (elektrisch)	- hohe thermische Behaglichkeit	- allmähliche Abschaffung des Nachtstroms -> hohe Heizkosten - verändert Temperatur und rel. Luftfeuchtigkeit im Inneren	Wurden vor allem in den 70er-Jahren verbaut. Heutzutage werden sie nicht mehr in Betracht gezogen.	Sehr hoch Nachtstromtarife werden abgeschaft
Fußbodenheizung mit Warmluftheizung	- Kombination ist schonend für Bausubstanz und Ausstattung - hohe thermische Behaglichkeit	- beide Systeme verändern Temperatur und rel. Luftfeuchtigkeit im Inneren	- Starker baulicher Eingriff -> 40.000 - 80.000 € - starker baulicher Eingriff (Warmluftheizung) -> 60.000 - 100.000 €	Hoch Zwei Gottesdienste pro Woche und Grundtemperierung durch Warmluftheizung ca. 10.000 €/a
Fußbodenheizung mit Sitzbankheizung	- Kombination ist schonend für Bausubstanz und Ausstattung - Zeitliche und örtliche Temperierung möglich - hohe thermische Behaglichkeit	- evtl. zu hohe Temperatur, was zu Unbehaglichkeit führt (Sitzbankheizung) - Je nach Sitzbankheizart besteht jedoch die Gefahr einer Luftwalze - verändert Temperatur und rel. Luftfeuchtigkeit im Inneren	- Starker baulicher Eingriff (Fußbodenheizung) -> 40.000 - 80.000 € -> Bei historisch und künstlerischen wertvollen Böden nicht möglich - geringer baulicher Eingriff (Sitzbankheizung) -> 15.000 - 25.000 €	Hoch Zwei Gottesdienste pro Woche und Grundtemperierung durch Fußbodenheizung ca. 9.600 €/a

Quelle: vgl. Sandler, M. (2008), S. 8f., vgl. auch Dahm, C. (2017), S. 19-22; vgl. hierzu auch DIN EN 15759-1 Erhaltung des kulturellen Erbes – Raumklima Teil 1 (2011), S. 15, modifiziert

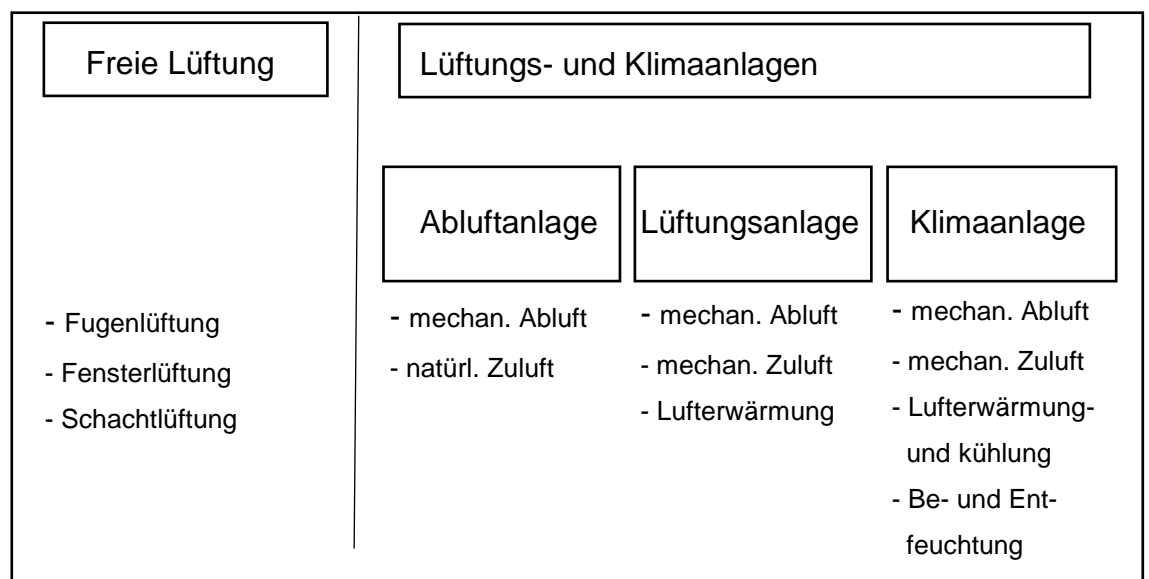
4 Lüftungsmöglichkeiten und Wärmerückgewinnung

Welche Möglichkeiten des Lüftens gibt es und wie lüftet man eine Kirche überhaupt richtig?

Ziel ist es, die Luft von Schadstoffen und Gerüchen zu befreien, sie zu erwärmen, abzukühlen und zu be- oder entfeuchten. Dies wird mit dem Zu- oder Abführen der Raumluft durchgeführt. Somit kann man die Behaglichkeit für den Menschen verbessern und die Gebäudehülle und deren Ausstattung schützen.⁵⁷

In der Abbildung 9 sind die Möglichkeiten des Lüftens aufgelistet. Links das freie Lüften, wie es die meisten Menschen kennen und wie es auch in den meisten Kirchen gemacht wird. Hierzu gehören unter anderem die Fugen- und Fensterlüftung. Auf der rechten Seite sind die sogenannten raumluftechnischen Anlagen, die auf mechanische Weise die Luft ab- und zuführen, aufgeführt.⁵⁸

Abbildung 9: Übersicht der Lüftungsmöglichkeiten



Quelle: vgl. Schmid, C. et al. (2013), S. 69, vgl. auch Gondring, H. (2012), S. 376f., modifiziert

⁵⁷ Vgl. Gondring, H. (2012), S. 376; vgl. hierzu auch DIN EN 15759-2 Erhaltung des kulturellen Erbes-Raumklima Teil 2 (2018), S. 14

⁵⁸ Vgl. Schmid, C. et al. (2013), S. 69; vgl. auch Gondring, H. (2012), S. 376f.

RLTA gibt es wenige in den Kirchen des Erzbistums Freiburg, da sie einen sehr hohen Energiebedarf haben und in über 95 % der Fälle klimaschädliche Kältemittel verwenden.⁵⁹

In Kapitel 2.1. wurde schon die Wichtigkeit der rel. Luftfeuchtigkeit sowie der Beachtung des Taupunkts in kirchlichen Räumen aufgezeigt. Um nun nachvollziehen zu können, wann gelüftet werden sollte, um dem Raumklima in der Kirche etwas Gutes zu tun, werden folgende Richtlinien aufgelistet:

- Es soll **gelüftet** werden, wenn die rel. Luftfeuchtigkeit im Kirchenraum hoch und es draußen kälter ist als drinnen.
- Es darf **nicht gelüftet** werden, wenn die Taupunkttemperatur der Außenluft über der Innentemperatur liegt. Der Taupunkt ist die Temperatur, auf die man die Luft abkühlt, sodass sich Kondenswasser bildet.
- Es darf **nicht gelüftet** werden, wenn die rel. Luftfeuchtigkeit im Kirchenraum hoch und es draußen wärmer ist als drinnen.
- **Vorsichtig** muss man sein, wenn kalte Außenluft und niedrige rel. Luftfeuchtigkeit im Innenraum beim Lüften aufeinandertreffen, da so die Gefahr besteht, dass die rel. Luftfeuchtigkeit im Raum noch weiter sinkt.⁶⁰

Das menschliche Empfinden für Luftfeuchtigkeit ist sehr trügerisch. Daher kann man sich beim Lüften nicht einfach auf sein Bauchgefühl verlassen, sondern benötigt genaue Messdaten, anhand derer man entscheiden kann, ob gelüftet werden soll oder nicht. Eine Lüftungsampel kann einem sogar diese Entscheidung abnehmen. Sie können sowohl in Kirchen, die keine Heiz- oder Lüftungsanlage haben, als auch in Kirchen, in denen eine Außenluftzufuhr über ein Lüftungssystem oder Fenstermotore bestehen, eingesetzt werden. Im ersten Fall werden Hinweise gegeben, ob das Lüften günstig ist oder nicht. Eine andere Möglichkeit ist es, die Lüftungsampel mit den Systemen zu verbinden und automatisch Signale

⁵⁹ Vgl. Umweltbundesamt (Hrsg.), Gebäudeklimatisierung (2019)

⁶⁰ Vgl. Bistum Hildesheim (Hrsg.), Wie lüftet man eine Kirche richtig? (2016)

zum Lüften auszuführen. Die Lüftungsampeln bestehen aus dem Anzeigeterminal mit integrierter Software sowie Sensoren um das Innen- und Außenklima zu messen.⁶¹

Abbildung 10: Bedeutung der Signalfarben einer Lüftungsampel



Quelle: Theod. Mahr Söhne GmbH (Hrsg.), Die MAHR-Lüftungsampel (o.J.)

Auch das Thema der Wärmerückgewinnung darf in dieser Arbeit nicht unberücksichtigt bleiben. Wärmerückgewinnung wird bisher in den Kirchen im Erzbistum Freiburg kaum genutzt, da es die baulichen Gegebenheiten meist nicht zulassen. Dennoch ist es eine Möglichkeit, Energie und somit auch Kosten um bis zu 50 % zu sparen, da ein Großteil der Fortluftwärme wiederverwendet werden kann.⁶² Heutzutage ist es schon fast üblich, dass man im Zusammenhang mit RLTA Wärmerückgewinnung betreibt.⁶³ Die wichtigsten Verfahren der Wärmerückgewinnung sind das rekuperative und das regenerative Verfahren, die nun kurz erläutert werden.

Bei der sogenannten rekuperativen Wärmerückgewinnungsmethode werden die Außen- und die Fortluft komplett voneinander getrennt und an möglichst großen Berührungsflächen vorbeigeführt, wie in der Abbildung 11 dargestellt ist. Durch den Wärmetauscher, der aus zusammengepressten Glasplatten besteht, wird die warme Abluft mit 22 °C einen Teil ihrer Wärme an die kalte Außenluft abgeben,

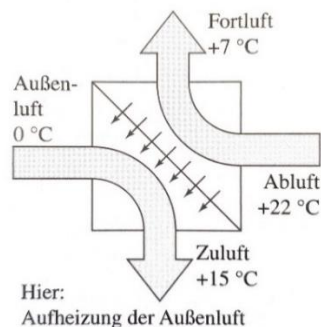
⁶¹ Vgl. Theod. Mahr Söhne GmbH (Hrsg.), Die MAHR-Lüftungsampel (o.J.)

⁶² Vgl. Schmid, C. (2013), S. 78; vgl. hierzu auch Laasch, T., Laasch E. (2005), S. 746

⁶³ Vgl. Gondring, H. (2012), S. 378

sodass diese vorgewärmt wird. Bei der rekuperativen Wärmerückgewinnungsmethode ist der Vorteil, dass nur Wärme- und keine Feuchtigkeitsübertragung stattfindet. Zudem ist der Plattenwerkstoff sehr widerstandsfähig gegenüber Luftverunreinigungen.

Abbildung 11: Prinzip der rekuperativen Wärmerückgewinnung



Quelle: Gondring, H. (2012), S. 378

Eine weitere Methode der Wärmerückgewinnung ist das regenerative Verfahren. Mit einer in den Rotor eingebrachten hygroskopischen Speichermasse wird der Abluft Wärme und Feuchtigkeit entzogen und der kalten Außenluft zugeführt. Auch bei diesem Verfahren werden die Luftströme komplett voneinander getrennt.⁶⁴

Um von der Möglichkeit der Wärmerückgewinnung Gebrauch zu machen, ist jedoch die Nutzung von RLTA, wie zentrale Be- und Entlüftungs- oder Klimaanlage Voraussetzung.⁶⁵

5 Die Evaluierung der Vorgehensweise des Pilotprojekts „Energie und Klima“ der Erzdiözese Freiburg

Eine Evaluation ist „das methodische Erfassen und [...] Bewerten von Prozessen und Ergebnissen zum besseren Verstehen und Gestalten einer Praxismaßnahme [...] durch Steuerung und Reflexion.“⁶⁶ Sie dient also der Verbesserung

⁶⁴ Vgl. Laasch, T., Laasch E. (2005), S. 746

⁶⁵ Vgl. Laasch, T., Laasch E. (2005), S. 745

⁶⁶ Reischmann, J. (2010), S. 3

und ggf. auch der Erfolgsbestätigung eines Projektes um zukünftige Projekte erfolgreich abzuschließen. Die Evaluation ist somit ein wichtiger Bestandteil der Prozessoptimierung.

5.1 Zweck der Evaluation und Evaluationsfragestellung

Der Zweck der Evaluation ist es, das Vorgehen des Pilotprojekts in der Erzdiözese Freiburg zu bewerten. Die daraus resultierenden Ergebnisse werden die Stärken und Schwächen aufzeigen. Mit diesen Erkenntnissen werden dann Verbesserungsvorschläge und Handlungsempfehlungen für das kommende Projekt „Energie und Klima in Kirchen“ (E&KiK) der Erzdiözese Freiburg mit 40 Kirchen gegeben.

Somit lautet die Schlüsselfragestellung dieser Evaluation: welche Handlungsempfehlung können durch das Untersuchen und Bewerten der Vorgehensweise des Pilotprojekts für das kommende Projekt gegeben werden?

5.2 Die Reichweite der Evaluation und deren Adressaten

Die primäre Zielgruppe dieser Evaluation ist die Projektgruppe der Erzdiözese Freiburg, die dieses Projekt begleitet, Zwischenergebnisse prüft und den Projektfortschritt reflektiert. Für sie ist die Evaluation von großer Bedeutung. Pilotprojekte dienen dazu, die entwickelten Instrumente, Methoden und Prozesse in der realen Welt durchzuführen, auf ihre Funktion hin zu prüfen und ggf. anzupassen. In der praktischen Umsetzung werden häufig noch Schwächen und Fehler entdeckt, die in der Theorie nicht bedacht wurden. Die Evaluation wird dabei helfen, die Prozesse anzupassen, zu optimieren und fehlende Punkte zu entdecken. Neben dieser Zielgruppe ist die Evaluation auch für die Kirchengemeinden bestimmt, die an dem Pilotprojekt teilgenommen haben.

Die Bewertung ist aus gesellschaftlicher Sicht sehr wichtig, da das Thema „Energie und Klima“ heutzutage topaktuell ist und die Zeit zum Handeln gekommen ist, um auf den Klimawandel zu reagieren. Auch wegen der wissenschaftlichen Aspekte ist die Evaluation von Bedeutung. Durch die Bewertung hat man für zukünftige Projekte einen Erkenntnisgewinn und kann diesen weitervermitteln, so-

dass auch andere Gruppen, wie z.B. die evangelische Kirche oder andere Bistümer, die sich mit ähnlichen Problemen befassen müssen, ein Beispiel haben, dem sie folgen können.

5.3 Beschreibung und Aufbau des Pilotprojekts

Im folgenden Abschnitt wird das Pilotprojekt, das bereits oft erwähnt aber noch nie näher beleuchtet wurde, genau beschrieben und die einzelnen Pilotkirchen werden vorgestellt. Anschließend folgt die Beschreibung der Methoden und der Instrumente zur Datenerhebung sowie die daraus resultierenden Ergebnisse.

5.3.1 Ausgangssituation

Folgende Projekte wurden in der Vergangenheit bereits durchgeführt:

- Forschungsprojekt „Prima-Klima I und II“ (sh. Anlage 13)
- Durchführung von Klima-Gutachten und Klima-Protokollen
- Seit 2013 stattfindende Jour-fixe-Kirchen der Hauptabteilung 9 – Immobilien des Erzbischöflichen Ordinariats Freiburg
- Projekte „TÜ-Elektrokirchen“ und „TÜ-GÖP-Kirchen“ im Gebiet der Verrechnungsstellen Tauberbischofsheim und Walldürn

Haupterkennnis aus diesen Projekten ist die Komplexität vom richtigen Lüften und Heizen. Zusätzlich sind die Heiz- und Regelungstechniken z.T. nicht sachgerecht ausgeführt, veraltet oder es liegen keine Kenntnisse über den Aufbau und die Bedienung der technischen Anlagen vor. Diese Problematik wird noch verschärft, da die Zuständigkeiten der Akteure nicht klar geregelt sind und die Kirchengemeinden mit den Aufgaben überfordert sind. Die Auswirkungen dieser Probleme sind Unzufriedenheit und Verunsicherung der Verantwortlichen, Bedienern und Kirchenbesuchern, falsches Heizen und Lüften ist die Folge. Hierdurch können schwerwiegende Schäden an Ausstattung und Bausubstanz entstehen, wie in Kapitel 2 beschrieben ist. Die Restaurierung dieser geschädigten Objekte ist wiederum sehr kostenaufwändig. Zusätzlich ist der Energieverbrauch durch falsches Heizen und Lüften sehr hoch, was wiederum der Umwelt und der aktuell z.T. angespannten Finanzlage der Kirchengemeinden schadet.⁶⁷

⁶⁷ Vgl. Dambacher, C. (2019), S. 1

5.3.2 Die Vision und strategischen Ziele

Die Vision ist ein langfristiges Zukunftsbild, das die Identität eines Unternehmens bzw. in diesem Fall des Referates Diözesanstelle für Schöpfung und Umwelt, beschreibt. Sie ist somit die Basis der Strategie.

Die Vision des Hauptprojektes:

Dass das Projekt „Energie und Klima in Kirchen“ mit 40 Kirchen durchgeführt wird steht bereits fest. Die Vision stimmt mit der des Pilotprojekts mit vier Kirchen überein. Sie lautet wie folgt: die Verantwortlichen werden so unterstützt, dass sie ihre Kirche „den örtlichen Erfordernissen und den Kosten- und Klimazielen der Erzdiözese“⁶⁸ Freiburg entsprechend betreiben können. Zudem soll es Regeln für das richtige Lüften und Temperieren von Kirchen sowie Standards für die Ausführung von technischen Anlagen, Wartungen und Pflege geben. Auch gibt es Verantwortliche mit Fachkompetenz und je nach Erfordernis externe Experten. Die Standards sind den Architekten, Planern und Fachfirmen bekannt und werden entsprechend berücksichtigt. Auch die Zuständigkeiten, Strukturen und Abläufe sind diözesanweit geklärt und vereinheitlicht. Ferner wird jede Kirchengemeinde die entsprechenden Instrumente und Werkzeuge zur Analyse und Beratung zur Verfügung stehen haben. Es wird Rücksprache mit den Kirchengemeinden geben, sodass diese begleitet werden und nach Bedarf immer Beratung bekommen können.

Die strategischen Ziele:

Strategische Ziele sind ebenfalls langfristig und konkretisieren die Vision. Mit ihnen wird das Handeln definiert, um die Vision zu erreichen. Das bedeutet, dass das Anbieten von Hilfen, Regeln und Standards für die Verantwortlichen zum Zukunftsbild beitragen wird. Dabei wird auch die entsprechende Berücksichtigung der Renovierungs- und Baumaßnahmen eine Rolle spielen. Ein Ziel des Projekts ist es, den Renovationszyklus einer Kirche zu verlängern. Diesem Ziel kommt man mit richtigem Heizen und Lüften entgegen, da so Gebäude und Ausstattung geschützt werden. Weiter sollen passende Strukturen und Abläufe festgelegt und

⁶⁸ Dambacher, C. (2019), S. 2

förderliches Controlling implementiert werden. Insgesamt wird die Vision also durch das effiziente und erfolgreiche Abschließen des Hauptprojekts E&KiK mit 40 Kirchen erreicht.⁶⁹

5.3.3 Zeitliche Struktur und Rahmenbedingungen

Für das Pilotprojekt gibt es keinen Projekt- oder Zeitplan, da es eine spontane Idee eines Architekten des Erzb. Bauamts Heidelbergs war. Es war von Beginn an klar, dass die Vorgehensweise, die zusammengefasst aus der Begehung, der Präsentation der DL und der Umsetzung bestehen, so zu terminieren waren, dass die Erkenntnisse für das Hauptprojekt genutzt werden können.

So wie es keine klare zeitliche Struktur gibt, gibt es auch kein festgelegtes Budget. Doch für das Hauptprojekt wurden all diese Dinge ausführlich kommuniziert und übersichtliche Pläne erstellt. Das Pilotprojekt ist in diesen Rahmenbedingungen mitenthalten und ein wichtiger Bestandteil.

Die gesamten Kosten des Pilotprojekts, die vor allem durch die Einstellung der externen DL zustandekommen, werden vom Erzbistum Freiburg und der Pfälzer Katholischen Kirchenschaffnei getragen.

5.3.4 Vorstellung der Pilotkirchen

Bevor man die Datenerhebung- und auswertung angehen kann, müssen die Pilotkirchen vorgestellt werden. Es wird jeweils die Geschichte der Kirche kurz zusammenfassend erzählt, um die Bedeutung für die Kirchengemeinden, sowohl aus kultureller, künstlerischer, geschichtlicher und religiöser Sicht nachvollziehen zu können. Zudem gibt sie auch Hinweise auf die letzten Sanierungen, die für das Projekt eine Rolle spielen. Anschließend gibt es eine Bestandsaufnahme, in der die festgestellten Mängel, die während der Begehung festgestellt wurden, erwähnt sowie anderweitige Zustände erklärt werden.

Pfarrkirche St. Laurentius in Nußloch

Die Pfarrkirche St. Laurentius wurde im Jahre 1756 neu erbaut, nachdem die zuvor bestehende baufällige Kirche abgerissen wurde. Durch das stetige wachsen der Gemeinde Nußloch wurde auch die neue Kirche zu klein, weshalb sie im

⁶⁹ Vgl. Dambacher, C. (2019), S. 2

Jahre 1595-96 erweitert werden musste. Hierbei wurde links und rechts des Längsschiffes angebaut, wodurch die Kirche die typische Kreuzform erhielt. 1930 war es möglich, dank der finanziellen Unterstützung des damaligen Pfarrers, in der Kirche eine Warmluftheizung einzubauen. 1987 wurde diese erneuert und wird nun mit Öl betrieben. Während des zweiten Weltkriegs hatte die katholische Kirche einige Verluste zu beklagen. So mussten sie über 100.000 ihrer Glocken für die Herstellung von Kriegsgeräten bereitstellen.⁷⁰ Vier Glocken davon waren von der Pfarrkirche St. Laurentius in Nußloch. Nach dem Krieg wurden neue Glocken für die Kirche gegossen, zwei Innenrenovationen durchgeführt, eine Außen-sanierung vorgenommen und der Haupteingang musste aufgrund des zunehmenden Verkehrs an der Hauptstraße zugemauert werden. Im Jahre 1986 wurde die Pfarrkirche aus baugeschichtlichen, künstlerischen und heimatgeschichtlichen Gründen unter Denkmalschutz gestellt. Zudem werden um und unter der Kirche archäologische Reste der Vorgängerbauten vermutet.⁷¹ Die Pfälzer Katholische Kirchengeschaffnei, eine Dienststelle der Stiftungen der Erzdiözese Freiburg in Nordbaden, trägt eine Teilbaupflicht.⁷²

Bestandsaufnahme:

In der Kirche gibt es 683 Sitzplätze und sie ist in einem mittleren bis guten Zustand.⁷³ Einige kleine Schäden an der Bausubstanz und an den Ausstattungen sind jedoch zu beobachten:

- Wurmbefall im Dachstuhl und am Sockelbereich des Kreuzaltars
- Rissbildungen im Kreuzaltar aus Holz
- Feuchtigkeitsspuren- und Schimmelproblemstellen im Putz
- Schäden im Sandstein⁷⁴

Die ölbetriebene Warmluftheizung ist aus dem Jahre 1987 und es gibt einen eingebauten Luftbefeuchter, der jedoch seit sehr langer Zeit nicht mehr in Betrieb ist. Die Heizanlage entspricht nicht mehr dem aktuellen Stand der Technik. Es ist

⁷⁰ Vgl. Zimmermann, S. (2018), Kirchenglocken für Hitler

⁷¹ Vgl. Goehler, A. (o.J.), Geschichte der Pfarrgemeinde St. Laurentius

⁷² Vgl. Roling-Reichert, B. (2019), S. 40

⁷³ Vgl. Roling-Reichert, B. (2019), S. 40

⁷⁴ Vgl. Vollmer, H. (2019), S. 4-9

nur in sehr geringem Maße möglich, die Betriebstemperatur zu steuern. Zudem gibt es nur 2 Lüftungsstufen und es ist nur die Zeit für die gewünschte Solltemperatur einstellbar. Es gibt keine Außenfühler, die eine passende Vorlauftemperatur möglich machen würden. Eine Rampenfunktion ist jedoch einstellbar. Dafür, dass die Kirche das letzte Mal im Jahre 1987 renoviert wurde, ist sie jedoch in einem sehr guten Gesamtzustand.⁷⁵

Pfarrkirche St. Johannes Nepomuk in Eberbach

Die Pfarrkirche St. Johannes Nepomuk in Eberbach wurde im Jahre 1884 erbaut, nachdem bereits vier Kirchen zuvor an diesem Ort errichtet wurden. Die ersten urkundlichen Erwähnungen gehen bis zum Jahr 1469 zurück. Seitdem wurden viele verschiedene Sanierungsmaßnahmen durchgeführt, u.a. im Jahre 1911, als durch ein Erdbeben große Schäden im Gewölbe entstanden sind oder zwanzig Jahre später eine gesamte Dachsanierung durchgeführt wurde. Die Pfälzer Katholische Kirchenschaffnei trägt auch bei dieser Kirche eine Teilbaupflicht und muss die Kirchengemeinden bei Renovierungsmaßnahmen finanziell unterstützen.⁷⁶ Das bestehende Heizsystem ist bereits um die 50 Jahre alt und auch der Heizkessel, der mit Öl betrieben wird, stammt aus dem Jahre 1971.⁷⁷ Die Pfarrkirche ist das Wahrzeichen der Stadt Eberbach im Norden Baden-Württembergs.

Bestandsaufnahme:

Die Kirche befindet sich in einem allgemein guten Zustand. Es gibt lediglich einige kleine Schäden zu bemängeln:

- Leichte Schwärzungen an den Fenstern
- Ausblühungen am Sandstein und Putzabplatzungen
- Die Dämmung der Luftkanäle ist aus lungenschädlichen Materialien und wird durch das Heizen in den Raum transportiert. Dadurch ist eine Erneuerung unausweichlich

⁷⁵ Vgl. Tappeser, J. M. (2019), S. 5-10

⁷⁶ Vgl. Stiftungen der Erzdiözese Freiburg (Hrsg.), Pfälzer Katholische Kirchenschaffnei, Vier Kirchen – ein Platz (o.J.)

⁷⁷ Vgl. Billes, H.; Groh, B. (2019), S. 2

- Der direktbefeuerte Öl-Lufterhitzer hat einen Korrosionsschaden und muss im Zuge dieses Projektes ausgetauscht werden
- Defekter Temperaturfühler an der Empore
- Defekte Fußbodenheizung

Es gibt in der Kirche zwei verschiedene Arten von Wärmeverteilungssysteme. Zum einen die Warmluftheizung und zum anderen eine Fußbodenheizung als Hypokaustenheizung, wodurch die Bodenoberfläche durch die Warmluftkanäle erwärmt wird.⁷⁸

Pfarrkirche St. Jakobus in Weinheim-Hohensachsen

Die Pfarrkirche St. Jakobus in Hohensachsen wurde im Jahre 1772 erbaut und weist eine lange Geschichte mit unterschiedlichen Standorten auf. Es ist bekannt, dass eine erste Pfarrkirche bereits im Jahre 989 bestand. Sie befand sich hoch über dem Ort auf einem kleinen Berg. Die Kirche wies unentwegt Mängel auf und musste oft saniert werden. Zudem war der Weg zu der Kirche sehr riskant und gefährlich. Nachdem der Pfarrer 1771 auf diesem Weg zu Tode stürzte, wurde die Kirche abgerissen und eine neue Kirche im Tal erbaut. Dies ist die heutige Pfarrkirche St. Jakobus in Hohensachsen.⁷⁹

Bestandsaufnahme:

Von außen ist die Kirche nach kleineren Sanierungsmaßnahmen wieder in einem relativ guten Zustand. Eine komplette Innenrenovation wurde im Jahr 2005 durchgeführt. Doch nur kurze Zeit später wurde wieder eine starke Vergrauung der Wände beobachtet, weshalb sich die Kirchengemeinde zusammen mit dem Erzbischöflichen Ordinariat in Freiburg dazu entschieden hat, die Ursachen zu untersuchen. Daneben gibt es noch weitere Mängel:

- Schimmelbildung und Verschmutzung in der Orgel
- Schimmel auch an Holzobjekten

⁷⁸ Vgl. Göhringer, U. (2019), S. 5-10

⁷⁹ Vgl. Seelsorgeeinheit Weinheim, Hirschberg (Hrsg.), St. Jakobuskirche Hohensachsen

- Der Lüftungskanal ist noch aus vergangener Zeit mit sehr stark gesundheitsschädlicher Mineralwolle isoliert

In der Kirche gibt es eine Warmluftheizung. Die Wärme wird durch Fernwärme bereitgestellt. Zudem gibt es in der Kirche an zwei Fenstern einen Mechanismus, durch den feuchtigkeitsregulierendes Lüften gut möglich ist. Die anderen Fenster können mit der Hand geöffnet werden. Allgemein befindet sich die Anlage sowie die Messtechniken, wie die Temperatur- und Feuchtefühler in einem guten Zustand.⁸⁰

Pfarrkirche St. Jakobus in Karlsdorf

Das Kirchengebäude stammt aus dem Jahre 1855 und wurde 25 Jahre später durch ein großzügiges Querschiff mit Beichtnischen, einem neuen Chorraum sowie der Sakristei erweitert. Auch die Pfarrkirche St. Jakobus in Karlsdorf hat im zweiten Weltkrieg, wie die Pfarrkirche in Eberbach, ihre Glocken für Rüstungszwecke abgeben müssen. Erst 5 Jahre nach dem Krieg erklangen wieder Glocken. Von 1969 bis 1971 wurde die Kirche renoviert und die komplette Technik erneuert. Der Öltank stammt noch aus dem Jahr 1965 und ist somit schon 55 Jahre alt. Die Warmluftheizung wurde erst vor 32 Jahren eingebaut.⁸¹ 1988 hat man sich zu einer Rückgestaltung in den Jugendstil entschieden. Auch stammt die Kreuzigungsgruppe in der Kirche noch aus der alten Dettenheimer Kirche. Somit ist sie älter, als der komplette Bestandteil der Pfarrkirche St. Jakobus.⁸²

Bestandsaufnahme:

Die Kirche ist in einem sehr guten Zustand. Es gibt außer einer geringen Vergrauung, leichten Salzschäden an manchen Säulen und wenigen Putzabplatzungen keine Schäden oder Verschmutzungen. Einzig die Ausrichtungen des Luftauslasses- und abzuges der Warmluftheizung ist in einem Teil der Kirche nicht sinnvoll konzipiert worden. Hier bedarf es einer Lösung. Darauf wird noch später in den Ergebnissen näher eingegangen. Die Erzeugung der Wärme erfolgt durch

⁸⁰ Vgl. Schellbach, M. (2019), S. 15-21

⁸¹ Vgl. Schmid, F. (2019), S. 11

⁸² Vgl. Seelsorgeeinheit Karlsdorf, Neuthard, Büchenau (Hrsg.), Geschichte St. Jakobus Karlsdorf (o.J.)

eine zentrale Ölheizung. Die Brennkammer und die Luftkanäle sind aufgrund der durchgeführten regelmäßigen Wartungen in einem guten Zustand. Auch die Heizregelung ist in gutem Zustand und entspricht den technischen Anforderungen.⁸³ Das Lüften gestaltet sich etwas schwieriger. Im Sommer werden die Türen weit aufgeschlagen um einen Luftaustausch zu gewährleisten. Im Winter erfolgt die Lüftung lediglich durch den Publikumsverkehr. Zudem ist in dieser Kirche die thermische Behaglichkeit ein großes Problem, da es für die Kirchenbesucher im Winter zu kalt ist.⁸⁴

5.4 Methoden und Instrumente der Datenerhebung

Die Voraussetzung für die Bewertung eines Projektes sind Daten, die während der Laufzeit erhoben und gesammelt wurden. Für das Pilotprojekt wurden verschiedene Methoden und auch Instrumente angewandt, die nun benannt und begründet werden, da sie für die nötige Transparenz und Nachvollziehbarkeit sorgen.

Es ist einleuchtend, dass man für das Pilotprojekt Messdaten über das Raumklima in den Kirchen benötigt. Denn nur so kann man Probleme identifizieren und nach Lösungen suchen. Aus diesem Grund wurden sechs Wochen lang die Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit in den Bereichen um die Orgel, am Altar und auch außen an den Kirchen mithilfe von Datenloggern gemessen, aufgezeichnet und durch die Firma econzept aus Freiburg ausgewertet. Den Diagrammen kann man neben den Lufttemperaturen auch die rel. Luftfeuchtigkeit und deren Schwankung, die wöchentliche Nutzung sowie die Temperaturunterschiede zwischen Grund- und Nutztemperatur entnehmen. Der Messzeitraum ist von Kirche zu Kirche unterschiedlich gewesen. Auf die Auswertung wird im kommenden Kapitel eingegangen.

Eine weitere Methode für die Datenerhebung war das Hinzuziehen von externen Experten, die mit der Erstellung einer Heizstrategie beauftragt wurden. Pro Kirchengemeinde gab es zwei unterschiedliche DL. Zu Beginn wurde durch diese, sowie dem Erzb. Bauamt ein Fragebogen ausgefüllt. Hierbei ging es neben dem

⁸³ Vgl. Dunker, C. (2019), S. 13-23

⁸⁴ Vgl. Schmid, F. (2019), S. 3

Sammeln von spezifischen Daten wie dem Baujahr, der Bauweise und den Besonderheiten der Ausstattung auch um die Berechnung der Heizlast. Dieser Fragekatalog ist der Anlage 11 beigefügt. Anschließend wurde bei einer Begehung der Kirchen mit verschiedenen Beteiligten, wie der Projektleiterin, den Architekten des Erzb. Bauamts, den externen Beauftragten, dem Pfarrer, den Mesnern etc. eine Bestandsaufnahme durchgeführt. Hierbei wurden verschiedene Mängel und Problemfelder durch die externen Beauftragten festgestellt. Weitere wichtige Daten für das Projekt wurden anschließend durch die Präsentationen der DL erhoben. Hier wurden die festgestellten Mängel und deren Ursachen mit Lösungsvorschlägen zur Vorbeugung der Schäden, Energieeinsparungspotentiale sowie Steigerungsmöglichkeiten der thermischen Behaglichkeit vorgestellt. Während der Vorstellung wurde den Beteiligten der Kirchengemeinde ein Bewertungsfragebogen vorgelegt, mit der Bitte diesen auszufüllen. Mit Hilfe der Auswertung durch die Architekten und die Projektleitung, sowie dem externen Berater Christian Dahm, wurden Empfehlungen für die Kirchengemeinden ausgesprochen.

Auch durch die bereits durchgeführten Projekte, die in dem Kapitel „Ausgangssituation“ behandelt wurden, sind Daten erhoben worden, die zu wichtigen Erkenntnissen geführt haben. Diese Erkenntnisse konnten in dem Pilotprojekt als auch erneut im Hauptprojekt eingesetzt werden.

5.5 Datenauswertung und Ergebnisse

Durch die Auswertung der erhobenen Daten konnten weitere wichtige Erkenntnisse gesammelt und Ergebnisse festgestellt werden, die zum Erreichen der vorgestellten Ziele beitragen. In diesem Kapitel werden die Datenauswertungen und Ergebnisse der jeweiligen Kirchen sowie die empfohlenen Heizstrategien präsentiert. In jeder Kirche wurden in unterschiedlichen Zeiträumen Datenlogger im Bereich der Orgel, des Altars und Außen an der Kirche befestigt.

5.5.1 Pfarrkirche St. Laurentius in Nußloch

Die Datenlogger wurden im Zeitraum vom 04.03.2019 bis zum 14.04.2019 eingesetzt. Der niedrigste Wert der Außentemperatur betrug acht Grad Celsius und der höchste Wert betrug vierzehn Grad Celsius. Der Durchschnittswert lag bei elf

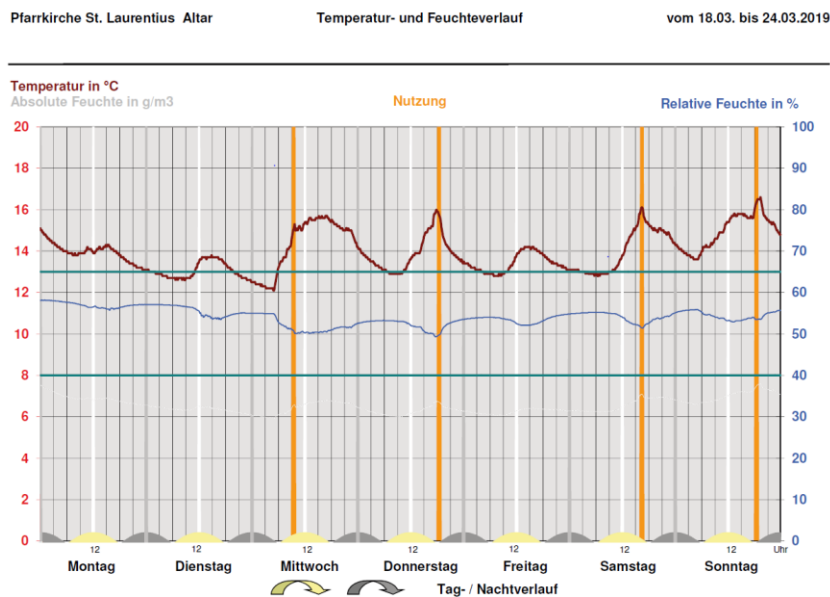
Grad Celsius. Aufgrund dieser bereits hohen Außentemperaturen ist eine Bewertung der Innenraumtemperaturen nur begrenzt möglich. Die folgende Abbildung 12 zeigt den Temperatur- und Feuchtigkeitsverlauf im Zeitraum vom 18.03.2019 – 24.03.2019 im Bereich des Altars. Die Verläufe im Bereich der Orgel sind beinahe identisch. Es ist zu erkennen, dass die Kirche viermal in dieser Woche aufgeheizt wurde. Der Durchschnitt liegt ebenfalls bei vier Mal in der Woche. Es ist eine deutliche Temperaturveränderung zwischen Grund- und Nutztemperatur zu erkennen. Die Grundtemperatur lag bei ca. zehn Grad Celsius und die Nutztemperatur bei ca. sechzehn Grad Celsius. Dies entspricht nicht den Vorgaben der Erzdiözese Freiburg mit einer Grund- und Nutztemperatur von acht Grad Celsius bzw. dreizehn Grad Celsius (sh. Kapitel 3.2.1.). Auch ist die Differenz von sechs Grad Celsius zu hoch und entspricht nicht den Vorgaben.

Die Vorgaben für die rel. Luftfeuchtigkeit im gesamten Messzeitraum werden eingehalten. Der Maximalwert lag im Bereich der Orgel in der 2. – und 4. Woche bei 63 %. Der Minimalwert betrug im Bereich des Altars in der 3. Woche 49 %. Auch die maximale Änderung der rel. Luftfeuchtigkeit pro Tag beträgt nur 6 %, was unter den Vorgaben der Erzdiözese Freiburg mit 10 % liegt. Es gibt somit in der Pfarrkirche St. Laurentius keine Feuchtigkeitsprobleme. Hinzukommend wird auch die maximale Temperaturänderung von einem Grad Celsius pro Stunde eingehalten.

Dennoch wurden bei der Bestandsaufnahme einige kleinere Schäden festgestellt, wie die Rissbildungen im Kreuzalter aus Holz. Dies könnten Trocknungsrisse sein, die aufgrund von einer Luftfeuchte niedriger als 45 % entstanden sind, da in dem Messzeitraum der niedrigste Wert der rel. Luftfeuchtigkeit bereits 49 % betragen hat. Im Winter hat man in Kirchen häufig mit zu trockener Luft zu kämpfen, weshalb in der Zeit einer intensiveren Heizperiode die rel. Luftfeuchtigkeit durchaus niedriger als 45 % betragen haben könnte. Eine weitere Ursache kann auch die hohe Temperaturdifferenz von ca. sechs Grad Celsius zwischen Grund- und Nutzphase sein.

Weitere Schäden waren der Wurmbefall im Dachstuhl und einige wenige Schimmelproblemstellen im Eingang. Diese Schäden entstehen durch zu hohe Luftfeuchtigkeit und nicht ausreichender Luftzirkulation. Am Eingang gibt es viel Besucherverkehr. Durch das andauernde Öffnen der Türen gelangt zusammen mit den Besuchern sehr viel Feuchtigkeit in die Kirche.

Abbildung 12: Temperatur- und Feuchtigkeitsverlauf im Bereich des Altars



Quelle: interne Klimadatenaufzeichnung (2019)

Die Heizstrategien, die durch die externen Fachleute entwickelt worden sind, werden zusammenfassend präsentiert.

Herr Jörg-Michael Tappeser (sh. Anlage 2):

Herr Tappeser empfiehlt für die Zukunft Strahlungswärme der Luftwärme vorzuziehen. Zudem muss eine gleichmäßige Wärmeverteilung vorliegen. Dies kann auch mithilfe von Wärmeinseln stattfinden, wenn ein Gesamtkonzept vorliegt. Zudem empfiehlt er die Heizlufttemperatur zu senken, um Energie zu sparen, die Spreizung zwischen Grund- und Nutztemperatur zu minimieren und den Einbau eines Lüfters im Heizsystem, der mit der Außenluft verbunden ist. Außerdem

sollte das Heizsystem an die Außen- und Feuchtigkeitsfühler angeschlossen werden und eine Taupunktsteuerung eingebaut werden. Denn bisher gibt es keine technische Regelung zur rel. Luftfeuchtigkeit.⁸⁵

Herr Dr. Hansjörg Vollmer (sh. Anlage 3):

Herr Dr. Vollmer gibt keine Empfehlungen zum Umgang mit dem aktuellen Heizsystem oder eine Heizstrategie in der Kirche ab. Er konzentriert sich vielmehr auf die Erneuerung der Heizanlage sowie der Wärmeverteilsysteme.

Zusammenfassung der Ergebnisse und Heizstrategien:

- Kein kurzfristiges Eingreifen zur Schadensvermeidung notwendig
- Das vorrangige Ziel der Heizstrategie ist die Senkung der Energiekosten
- I.d.R. wird die rel. Luftfeuchtigkeit während der Heizperiode den Vorgaben entsprechend eingehalten
- Grund- und Nutztemperatur entsprechen **nicht** den Vorgaben von 8 °C bzw. 13 °C und sollten behutsam angepasst werden
- Die Schwankung der rel. Luftfeuchtigkeit beträgt weniger als 10 %, was den Vorgaben entspricht
- Richtiges Aufheizverhalten, denn 1 °C pro Stunde wird eingehalten
- Senkung der Heizlufttemperatur
- Minimierung der Temperaturdifferenz zwischen Grund- und Nutztemperatur

Die Mesnerin, die für das Heizen und Lüften in der Pfarrkirche St. Laurentius in Nußloch zuständig ist, handelt richtig und scheint das nötige Wissen bereits zu besitzen. Denn obwohl die Regelungstechnik der Heizung nicht mehr auf dem aktuellsten Stand ist und nur manuell gesteuert werden kann, wird dies sehr gut umgesetzt.

5.5.2 Pfarrkirche St. Johannes Nepomuk in Eberbach

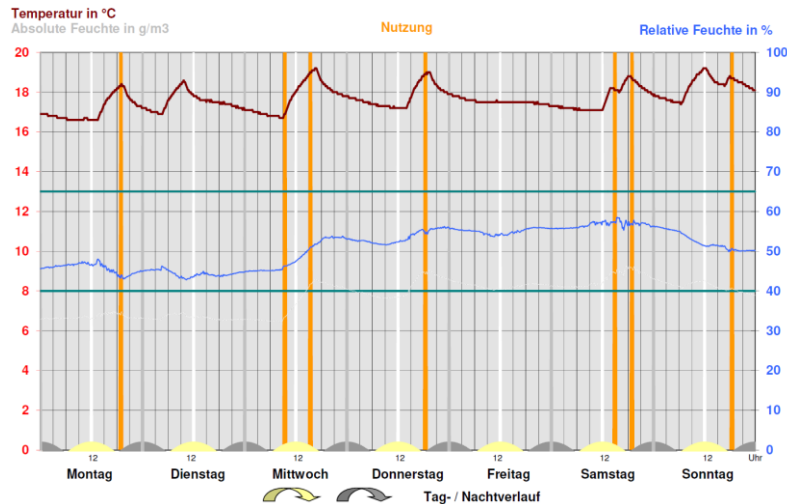
Die Datenlogger in der Kirche St. Johannes Nepomuk in Eberbach wurden später ausgelegt als bei den anderen Pilotkirchen, nämlich vom 22.04.2019 bis zum

⁸⁵ Vgl. Tappeser, J. M. (2019), S. 22-23

02.06.2019. Der niedrigste Wert der Außentemperatur betrug zwölf Grad Celsius und der höchste Wert betrug achtzehn Grad Celsius. Der Durchschnittswert lag bei vierzehn Grad Celsius. Aufgrund der hohen Außentemperaturen ist eine Bewertung der Innenraumtemperaturen kaum möglich. Die folgende Abbildung 13 zeigt den Temperatur- und Feuchtigkeitsverlauf im Zeitraum vom 06.05.2019 – 12.05.2019 im Bereich der Orgel. Die Verläufe im Bereich des Altars sind nahezu identisch. Zu erwähnen ist jedoch der Temperaturunterschied zwischen Altar und Empore. Dieser beträgt ein Grad Celsius. Hier ist es im Altarbereich wärmer, als auf der Empore bei der Orgel, was aber bei Warmluftheizungen typisch ist. Es ist zu erkennen, dass die Kirche sieben Mal in dieser Woche genutzt wurde. Der Durchschnitt liegt jedoch nur bei drei Mal. Es ist eine leichte Temperaturveränderung zwischen Grund- und Nutztemperatur zu erkennen. Die Grundtemperatur lag bei ca. sechzehn Grad Celsius und die Nutztemperatur bei ca. neunzehn Grad Celsius. Dies entspricht nicht den Vorgaben der Erzdiözese Freiburg mit einer Grund- und Nutztemperatur von acht Grad Celsius bzw. dreizehn Grad Celsius (sh. Kapitel 3.2.1.). Die hohen Innentemperaturen sind auf die warmen Außentemperaturen zurückzuführen. Das Heizsystem wird per Hand betrieben. Hierbei orientiert man sich an dem Mittelwert der zwei vorhandenen Temperaturfühler auf der Empore und beim Eingang zur Sakristei. Da jedoch der Temperaturfühler auf der Empore defekt ist, werden vermutlich zu niedere Mittelwerte angegeben, die ebenfalls zu der erhöhten Lufttemperatur beitragen können.

Die Vorgaben der Erzdiözese Freiburg für die rel. Luftfeuchtigkeit werden nicht immer eingehalten. Der Maximalwert lag im Bereich der Orgel öfters bei 60 %. Der Minimalwert hat mehrmals die Untergrenze von 45 % unterschritten. So z. B. in der 2. Woche der Messung. Hier betrug die rel. Luftfeuchtigkeit zeitweise nur 37 %. Die maximale Änderung der rel. Luftfeuchtigkeit pro Tag beträgt 7 %, was innerhalb den Vorgaben der Erzdiözese Freiburg mit maximal 10 % liegt. Die maximale Temperaturänderung von einem Grad Celsius pro Stunde wird eingehalten.

Abbildung 13: Temperatur- und Feuchtigkeitsverlauf im Bereich der Orgel
in der Pfarrkirche St. Johannes Nepomuk in Eberbach



Quelle: interne Klimadatenaufzeichnung (2019)

Die Pfarrkirche St. Johannes Nepomuk befindet sich allgemein in einem guten Zustand. Es sind keine Schäden an der Orgel oder Kunstgegenstände beobachtet worden. Lediglich leichte Schwärzungen an den Fenstern, die verschiedene Ursachen haben können. Zum einen könnte es der Ruß von Kerzen oder aber auch abgelagerter Dreck sein. Auch der beobachtete Schimmel sollte in Betracht gezogen werden und sollte auf dessen Ursache untersucht werden.

Bei der Entwicklung der Heizstrategie für diese Kirche kam noch eine zusätzliche Aufgabe für die externen Fachleute hinzu. So sollten sie aufgrund des kaputten Öl-Lufterhitzers Vorschläge zu einer neuen Wärmeherzeugung bringen, die auch das Ziel der Klimaneutralen Kirche 2030 im Blick haben sollte.

Herr Horst Billes und Birgit Groh (sh. Anlage 4):

In der Heizstrategie dieser beiden Energieberater wird auf dieselben Hinweise eingegangen, wie auch in dieser Arbeit. Denn laut ihrer Aussage ist die Lufttemperatur kein Indikator für die thermische Behaglichkeit. Daher ziehen sie Strahlungs- der Konvektionswärme vor, vor allem auch aus dem Grund, eine Luftwalze zu verhindern. Ihre Empfehlungen besagen, dass der Temperaturfühler bei der Orgel dringend ersetzt werden muss und die Heizanlage sollte nicht länger hand-

betrieben werden. Auch sollten die Temperaturvorgaben der Erzdiözese eingehalten werden. Sie empfehlen die Grundtemperatur mit der Fußbodenheizung auf acht Grad Celsius zu halten. Die Nutztemperatur wird dann, wenn die Fußbodenheizung nicht mehr ausreicht, durch die Luftheizung ergänzt. Zudem empfehlen sie eine Lüftungsampel um unerwünschten Feuchtigkeit zu vermeiden und das Austrocknen der Gegenstände zu verhindern, zumal die rel. Luftfeuchtigkeit im Winter bereits schon sehr gering ist. Da es im Bereich der Orgel nach der Aussage des Organisten kalt ist, empfehlen Herr Billes und Frau Groh eine Infrarot-Strahlungsheizung an der Orgelbank.

Vorschläge für ein neues Heizsystem sind eine (Gasbetriebene) Wärmepumpe oder eine Pelletheizung, die als Nahwärmesystem mit dem Kindergarten und dem Pfarrhaus, die sich in der Nähe befinden, genutzt werden können.⁸⁶

Herr Göhringer (sh. Anlage 5):

Herr Göhringer geht sehr stark auf die Erneuerung der Heizung ein und bringt hier mehrere Vergleiche. Die erste Variante ist die Erneuerung durch einen wassergeführten Gas-Brennwertkessel mit Luftheizregister. Hierbei benötigt es laut seiner Aussage keine Veränderung der Heizstrategie. Genauso wie bei der Erneuerung durch einen wassergeführten Pellet-Brennwertkessel mit Luftheizregister. Es ist hierbei aber auch möglich, die Heizstrategie anzupassen.⁸⁷ Diese entspricht der Gleichen wie der von Herrn Billes und Frau Groh.

Zusammenfassung der Ergebnisse und Heizstrategien:

- Die Kirche ist in einem guten Gesamtzustand
- Erneuerung der Heizanlage ist unumgänglich
- Defekter Temperaturfühler bei der Orgel muss ausgetauscht werden
- Verwendung weniger rußender Kerzen
- Wegkommen vom handbetriebenen Heizen
- Lufttemperatur entspricht während der Heizperiode **nicht** den Vorgaben der Erzdiözese Freiburg

⁸⁶ Vgl. Billes, H.; Groh, B. (2019), S. 5-16

⁸⁷ Vgl. Göhringer, U. (2019), S. 19-24

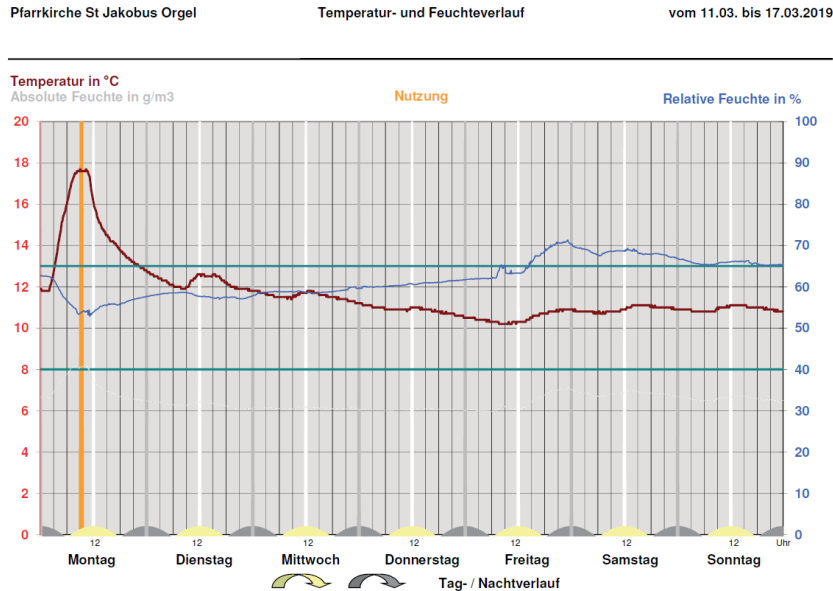
- Rel. Luftfeuchtigkeit entspricht während der Heizperiode zeitweise **nicht** den Vorgaben
- Ansonsten entsprechen die weiteren Gegebenheiten den Vorgaben
- Die Grundtemperatur soll durch die Fußbodenheizung garantiert werden und die Nutztemperatur soll, wenn möglich, ebenfalls durch Fußbodenheizung erreicht werden, ansonsten darf die Warmluftheizung zugeschaltet werden (sh. Kapitel 3.2.3.)

5.5.3 Pfarrkirche St. Jakobus in Weinheim-Hohensachsen

Die Datenlogger in der Kirche St. Jakobus in Hohensachsen wurden vom 28.02.2019 bis zum 07.04.2019 ausgelegt. Der niedrigste Wert der Außentemperatur betrug zwei Grad Celsius und der höchste Wert betrug fünfzehn Grad Celsius. Der Durchschnittswert lag bei sieben Grad Celsius. Die folgende Abbildung 14 zeigt den Temperatur- und Feuchtigkeitsverlauf im Zeitraum vom 11.03.2019 – 17.03.2019 im Bereich der Orgel. Die Verläufe im Bereich des Altars sind beinahe identisch. Jedoch ist es auf der Empore meist ein Grad Celsius wärmer als im Bereich um den Altar. Die Kirche wurde in dieser Woche einmal genutzt. Der Durchschnitt liegt bei zweimal in einer Woche. Es ist eine deutliche Temperaturveränderung zwischen Grund- und Nutztemperatur zu erkennen. Die Grundtemperatur lag bei ca. zwölf Grad Celsius und die Nutztemperatur bei ca. siebzehn Grad Celsius. Somit ist die Temperaturdifferenz gemäß den Vorgaben nicht größer als fünf Grad Celsius. Die Vorgaben der Grund- und Nutztemperatur von acht Grad Celsius bzw. dreizehn Grad Celsius (sh. Kapitel 3.2.1.) werden nicht umgesetzt.

Die Vorgaben für die rel. Luftfeuchtigkeit werden zeitweise nicht eingehalten. Der Maximalwert lag im Bereich der Orgel öfters bei 71 %. Der Minimalwert lag bei 49 %. Der Durchschnittswert von 62 % ist wiederum im grünen Bereich. Die maximale Änderung der rel. Luftfeuchtigkeit pro Tag beträgt 10 %, was noch den Vorgaben der Erzdiözese Freiburg mit 10 % entspricht. Die maximale Temperaturänderung von einem Grad Celsius pro Stunde wird eingehalten.

Abbildung 14: Temperatur- und Feuchtigkeitsverlauf im Bereich der Orgel
in der Pfarrkirche St. Jakobus in Weinheim-Hohensachsen



Quelle: interne Klimadatenaufzeichnung (2019)

Die starke und auch sehr schnell voranschreitende Vergrauung in der Kirche ist für die Kirchengemeinde, als auch für das Erzbischöfliche Bauamt bis heute nicht gänzlich geklärt. Es gibt mehrere Vermutungen, die die Beobachtung erklären. Zum einen könnte die Vergrauung aufgrund der starken Verschmutzung der Zu- und Abluftfilter und stark rußender Kerzen zustande kommen.⁸⁸ Es könnte sich aber auch um Schwarzstaub handeln. Er ist auch bekannt als Fogging – Effekt und wird häufig mit Schimmel verwechselt. Es handelt sich hierbei um eine graue bis schwarze schmierige Ablagerung die an Wänden und Decken auftritt. Die Ursache des Schwarzstaubs ist weitgehend unbekannt. Es wird jedoch davon ausgegangen, dass schwerflüchtige organische Verbindung aus Farben, Lacken, Fußbodenkleber oder Holzimitatpaneelen entweichen, in den Innenraum gelangen und sich in Form von Schwarzstaub ablagern.⁸⁹ Mithilfe von mikrobiologischen Untersuchungen lässt sich Schwarzstaub leicht feststellen. Der extern beauftragte Herr Seidel hat die Vermutung aufgestellt, dass durch einen Schwel-

⁸⁸ Vgl. Seidel, L. (2019), S. 7

⁸⁹ Vgl. Umweltbundesamt (Hrsg.), Schwarze Wohnungen – „Fogging-Effekt“ (2013)

brand, der an der Luftheizanlage festgestellt werden konnte, die Vergrauung entstanden sein könnte. Seit diesem Schwelbrand, der vor einiger Zeit geschehen sein muss, können Schmutzpartikel mit der Warmluft in den Innenraum befördert werden und setzen sich an der Wand ab.⁹⁰

Abbildung 15: Vergrauung der Wände in der Pfarrkirche St. Jakobus in Weinheim-Hohensachsen



Quelle: Schellbach, M. (2019), S. 29

Weitere festgestellte Schäden sind Schimmelbildung und Verschmutzung in der Orgel. Ursache der Schimmelbildung ist vermutlich die zum Teil zu hohe rel. Luftfeuchtigkeit von über 70 % und die fehlende Luftzirkulation im Gehäuse. Hinzu kommt noch ein Kaltluftbereich hinter der Orgel, was wiederum zu Kondenswasserbildung und zu Schimmel führt. Auch der Schimmel am Inventar, wie den Kunstobjekten aus Holz, ist auf die zu hohe rel. Luftfeuchtigkeit zurückzuführen. Die Heizstrategien der externen beauftragten Energieberater sind in Zukunft zu beachten um weitere Schäden zu vermeiden.

Herr Martin Schellbach (sh. Anlage 6):

Herr Schellbachs Erkenntnisse aus den Datenauswertungen besagen, dass es keine signifikanten Mängel bei Raumklima und Heizverhalten gibt. Jedoch sollten die Vorgaben der Erzdiözese Freiburg eingehalten werden und bei hohen Werten der rel. Luftfeuchtigkeit sollte die Grund- und Nutztemperatur schrittweise ange-

⁹⁰ Vgl. Seidel, L. (2019), S. 12

hoben werden. Zudem empfiehlt sich auf das frühzeitige Erreichen der Raumtemperatur zu verzichten, damit die hohe Lufttemperatur nicht zu lange andauert. Ebenso sollte auf händisches Lüften verzichtet werden. Um die Schimmelproblemstellen in der Orgel in den Griff zu bekommen, schlägt er thermische Luftströmung durch eine kleine Öffnung im Gehäuse oder einen mechanisch betriebenen Ventilator vor. Zudem empfiehlt er, die Werte der rel. Luftfeuchtigkeit unter allen Umständen im Bereich von unter 40 % und über 70 % langfristig zu vermeiden und eine dauerhafte Klimamessung durchzuführen.⁹¹

Herr Lothar Seidel (sh. Anlage 7):

Herr Seidel betont die Wartungs- und Kontrollarbeiten, die regelmäßig durchgeführt werden. Hierzu gehören z.B. Filterwechsel und Kontrolle der Lüftungsanlage, regelmäßiges Auswechseln der Filtermatten und Luftgitter und die regelmäßige Kontrolle der Temperaturfühlerwerte. Seine Heizstrategie besteht aus der Einweisung der Verantwortlichen in die Anlage und deren Regelung. Die Lüftungsanlage soll automatisch über ein Zeitprogramm betrieben werden und die Lufttemperaturen sollen den Vorgaben der Erzdiözese Freiburg entsprechen. Hierdurch kann eine Einsparung der Wärmeenergie um ca. 25 % erreicht werden.

Beide Energieberater schlagen zudem die genaue Untersuchung der Vergrauung vor.

Zusammenfassung der Ergebnisse und der Heizstrategien:

- Luftzirkulation im Orgelgehäuse muss durch mechanische Ventilatoren oder einer Öffnung im Gehäuse gewährleistet werden, da sonst mit weiterem Schimmelbefall zu rechnen ist
- Feststellung, was die Vergrauung ist und woher diese kommt um Maßnahme zur Beseitigung festzulegen
- Verwendung weniger rußender Kerzen um Vergrauung zu vermeiden
- Es soll in Zukunft automatisches Lüften mit Zeitprogrammen oder einer Lüftungsampel geben

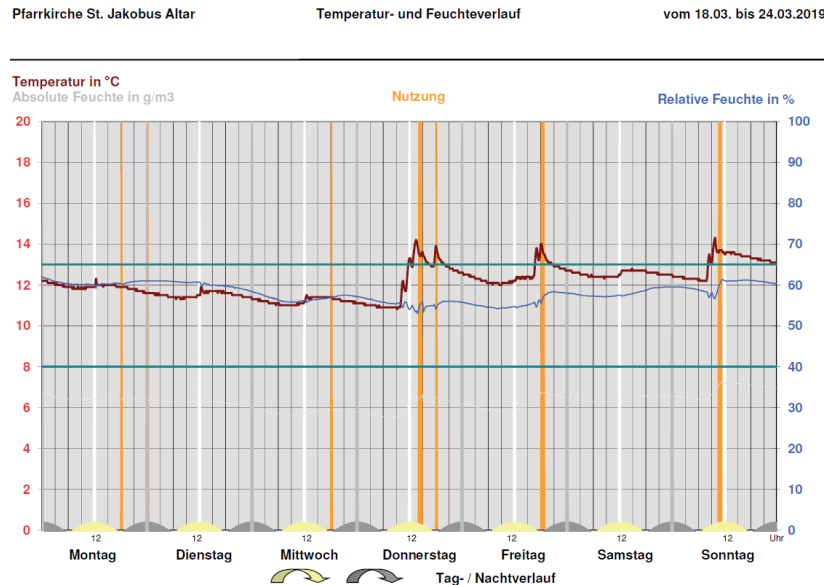
⁹¹ Vgl. Schellbach, M. (2019), S. 27 ff.

- Die rel. Luftfeuchtigkeit entspricht zweitweise **nicht** den Vorgaben. Sie muss zwischen 45 % und 70 % zur Vermeidung von weiterem Schimmel eingehalten werden
- Die Lufttemperatur entspricht während der Heizperiode **nicht** den Vorgaben der Erzdiözese Freiburg
- Ansonsten entsprechen die weiteren Gegebenheiten den Vorgaben

5.5.4 Pfarrkirche St. Jakobus in Karlsdorf

Die Pfarrkirche St. Jakobus ist die letzte Kirche, für die im Zuge des Pilotprojekts zwei Heizstrategien entworfen wurde. Die Datenerhebung erfolgte mit denselben Methoden und Instrumenten wie bisher. Die Messdatenaufzeichnung wurde im Zeitraum vom 04.03.2019 bis zum 14.04.2019 durchgeführt. In dieser Zeit erreichten die Außentemperaturen einen Maximalwert von fünfzehn Grad Celsius und einen Minimalwert von minus einem Grad Celsius. Die Durchschnittstemperatur betrug ca. sieben Grad Celsius. Die folgende Abbildung 16 zeigt den Temperatur- und Feuchtigkeitsverlauf im Zeitraum vom 11.03.2019 – 17.03.2019 im Bereich des Altars. Die Verläufe im Bereich der Orgel auf der Empore sind nahezu identisch. Jedoch ist es auf der Empore meist um zwei Grad Celsius wärmer als im Bereich um den Altar. Diese Temperaturschichtung ist bei einer Warmluftheizung aber normal. Es sind bei sechs Nutzungen aber nur drei Aufheizprofile zu erkennen. Der Grund hierfür sind kurze Andachtsgottesdienste. Durchschnittlich wird die Kirche in der Woche nur vier Mal aufgeheizt. Hierbei werden die kurzen Nutzungszeiten, die mit einem dünneren orangenen Strich in der Abbildung zu sehen sind, nicht mit einberechnet. Es ist eine leichte Temperaturveränderung zwischen Grund- und Nutztemperatur zu erkennen. Die Grundtemperatur betrug ca. zwölf Grad Celsius und die Nutztemperatur fünfzehn Grad Celsius. Somit ist die Temperaturdifferenz gemäß den Vorgaben nicht größer als fünf Grad Celsius. Die Vorgaben der Grund- und Nutztemperatur der Erzdiözese Freiburg werden nicht umgesetzt (sh. Kapitel 3.2.1.). Im Bereich des Altars ist eine Heizrampe mit 0,7 Grad Celsius pro Stunde programmiert. In der Umsetzung erreicht die Heizrampe einen Wert zwischen 0,7 und einem Grad Celsius. Doch durch die hohen Außentemperaturschwankungen könnte es hierbei durchaus auch zu höheren Werten kommen.

Abbildung 16: Temperatur- und Feuchtigkeitsverlauf im Bereich des Altars
in der Pfarrkirche St. Jakobus in Karlsdorf



Quelle: interne Klimadatenaufzeichnung (2019)

Die Vorgaben der Erzdiözese Freiburg für die rel. Luftfeuchtigkeit im Kirchenraum werden eingehalten, denn sie unterschreiten weder die 45 %, noch werden die 70 % überschritten. Außerdem wird die Vorgabe für die maximale Änderung der rel. Luftfeuchtigkeit von 10 % pro Tag eingehalten. Diese beträgt in den Messungen 8 %.

In der Kirche sind bei der Begehung und Bestandsaufnahme kaum Schäden beobachtet worden. Lediglich eine leichte Vergrauung. Die letzte Innenrenovierung war vor 30 Jahren. In dieser Zeit kann man davon ausgehen, dass sich Ruß, Schmutz- und Staubpartikel an der Wand absetzen. Die vorhandenen leichten Salzschäden und Putzabplatzungen lassen darauf schließen, dass die rel. Luftfeuchtigkeit in der Kirche zwischenzeitlich zu hoch war. Aus diesem Grund sollte man darauf achten, dass die rel. Luftfeuchtigkeit weiter den Vorgaben entspricht, um Schäden zu vermeiden.

Das Problem in dieser Kirche ist die thermische Behaglichkeit. Den Kirchenbesuchern ist es während den Gottesdiensten im Winter zu kalt. Es geht sogar so weit, dass sich einige dazu entscheiden, die Gottesdienste nicht mehr zu besuchen. Man sieht anhand der Abbildung 16, dass die Nutztemperatur während

der normalen Gottesdienste generell vierzehn Grad Celsius beträgt. Oben auf der Empore sind es zwei Grad Celsius mehr. Das Gefühl der Unbehaglichkeit kommt wahrscheinlich durch die Luftwalze, die in dem Raum durch die Warmluftheizung entsteht, zustande. Zudem gibt es einen möglichen Konzipierungsfehler eines Luftauslasses und eines Luftabzugs im Bereich des abgeschiedenen Chorraums und der vorderen Sitzbankreihe, wie man in Abbildung 17 erkennen kann.

Abbildung 17: Möglicher Konzipierungsfehler des Luftauslasses (links) und Luftabzugs (rechts) in der Pfarrkirche St. Jakobus in Karlsdorf



Quelle: Dunker, C. (2019), S. 14

Es scheint, als gäbe es hier eine Art Kurzschluss, bei der die ausgeblasene warme Luft direkt wieder vor der ersten Sitzbankreihe abgezogen wird. Dadurch kommt es zu starken Zugscheinungen, welche die Behaglichkeit stark beeinträchtigen. Laut der Aussage eines Verantwortlichen vor Ort, meiden die Besucher sogar die vorderen Sitzbänke. In diesem Bereich ist der Temperaturfühler platziert, wodurch es durchaus sein kann, dass die Temperatur in Altarnähe schon warm genug ist, die restliche Raumschale jedoch zu wenig geheizt wird. Mithilfe von einer Luftströmungssimulation oder Luftgeschwindigkeitsmessern lässt sich das mögliche Problem des möglichen Kurzschlusses leicht und kostengünstig überprüfen.

Während des Gottesdienstes wird die Warmluftheizung manchmal ausgeschaltet. Durch das Abschalten kühlt sich die Luft schnell auf das Niveau der Wände ab, die i.d.R. die Grundtemperatur von etwa acht Grad Celsius haben. Auch aus

diesem Grund empfinden die Besucher die Kirche als zu kalt. Dies ist eine Empfehlung die im Sinne der Behaglichkeit umgesetzt werden muss: die Warmluftheizung darf während des Gottesdienstes nicht abgeschaltet werden.⁹²

Herr Florian Schmid (sh. Anlage 9):

Herr Florian Schmid gliedert seine Heizstrategie sinnvoll nach Dringlichkeiten auf. So ist das dringlichste Problem die thermische Behaglichkeit, dann der Energieverbrauch und zuletzt die baulichen Probleme, die nahezu nicht vorhanden sind. Herr Schmid schlägt viele Maßnahmen vor, die Behaglichkeit der Besucher zu erhöhen. So sollte der mögliche Kurzschluss durch Luftströme überprüft werden. Nebenbei sollte auch die Regulierung der Raumlufthtemperatur, der Luftvolumenstrom, sowie die Heizzeit verbessert werden. Behaglichkeitsmessungen im Besucherbereich und ein kirchliches Energiegutachten sollen beauftragt werden. Zudem empfiehlt Herr Schmid Außentemperaturfühler für eine witterungsabhängige Aufheizung, sowie die Umsetzung einer Lüftungsstrategie. Diese Lüftungsstrategie besteht aus einem Lüftungsschieber, der anzeigt, zu welcher Zeit gelüftet werden soll.⁹³ Eine Alternative zum Lüftungsschieber ist die Lüftungssampel, die ebenfalls sehr sinnvoll eingesetzt werden kann und automatisches Lüften ermöglicht.

Christian Dunker (Anlage 8):

Der Umweltschutztechniker Christian Dunker wurde auch mit der Erstellung einer Heizstrategie beauftragt. Seine Empfehlungen berücksichtigen ebenso die thermische Behaglichkeit. Hierzu sollte die Grund- und Nutztemperatur in den Bankreihen mithilfe von Langzeitmessungen beobachtet und ausgewertet werden. Zudem empfiehlt er die Aktivierung der Feuchtigkeitsvorrangschaltung. Neben der Überprüfung der Luftvolumenströme sollte auch der Warmluft-Kurzschluss entschärft und die Hypokausteneinlässe gesäubert werden. Die Nachrüstung der Türen, wie bspw. der Turmaufgangstüre sind eine kostengünstige Maßnahme um die Kirche abzudichten.

⁹² Dahm, C. (2019), Bewertung der Heizstrategie St. Jakobus Karlsdorf, EA Regio Freiburg

⁹³ Vgl. Schmid, F. (2019), S. 7-11

Es muss erwähnt werden, dass in Karlsdorf bereits eine gute Heizstrategie umgesetzt wird, auch wenn sie nicht ganz den Vorgaben der Erzdiözese Freiburg entspricht. Diese Strategie hat sich jedoch bisher bewährt, wie man anhand der geringen baulichen Schäden sehen kann. Die vorhandenen Einstellungen des Reglers sind fast optimal, daher benötigt es keine besonderen Verbesserungen dieser Einstellungen.

Zusammenfassung der Ergebnisse und der Heizstrategien:

- Warmluftheizung während des Gottesdienstes nicht abschalten, da so die thermische Behaglichkeit der Besucher negativ beeinflusst wird
- Langzeitmessung der Grund- und Nutztemperaturen in den Sitzbänken
- Prüfen der Luftzirkulation, um einen Kurzschluss zwischen Zu- und Abluftauslass im Bereich des abgeschotteten Chors auszuschließen
- Abdichtung der Turmaufgangstüre
- Entwicklung einer Lüftungsstrategie: Lüftungsschieber- oder Ampel
- Die rel. Luftfeuchtigkeit entspricht während des Messzeitraums den Vorgaben
- Die Lufttemperatur entspricht während der Heizperiode **nicht** den Vorgaben der Erzdiözese Freiburg
- Ansonsten entsprechen die weiteren Gegebenheiten den Vorgaben

6 Die Auswahl der Dienstleister mithilfe von Bewertungsbögen und einer Bewertungsmatrix

Jeder der DL hat sich Überlegungen über eine sinnvolle Heizstrategie gemacht, die zu den Bedürfnissen der jeweiligen Kirche passt. Da die Umsetzung des Pilotprojekts aber nur von einem DL pro Gemeinde begleitet und überwacht werden kann, stellt sich nun die Frage, wie die DL ausgewählt wurden. Zunächst konnten sich die Beteiligten der Kirchengemeinden vor Ort die Präsentationen der DL anhören und Fragen stellen. Dabei haben sie einen Bewertungsbogen bekommen, den sie ausfüllten und anschließend der Projektleiterin zur Auswertung gegeben haben. Die genaue Betrachtung des Bewertungsbogens ist in der Anlage 10 des

Anhangs möglich. Ein Fragebogen ist Teil der qualitativen Forschung. Die Bewertung des Bogens erfolgt durch die Gütekriterien. Zu diesen gehört die Verfahrensdokumentation, die argumentative Interpretationsabsicherung, die Regelgeleitheit, die Nähe zum Gegenstand, die kommunikative Validierung sowie die Triangulation.⁹⁴ Der erstellte und verwendete Bewertungsfragebogen wird nun anhand dieser Kriterien kritisch betrachtet und bewertet.

Verfahrensdokumentation: Der gesamte Forschungsprozess muss für andere nachvollziehbar gemacht werden. Hierzu gehören vor allem die Nachvollziehbarkeit des Analyseinstruments, die Durchführung und Auswertung der Datenerhebung sowie die Einführung in den Sachverhalt, sodass ein gewisses Vorverständnis beim Ausfüllen des Bogens vorhanden ist. Das Kriterium der Verfahrensdokumentation wurde bei den Bewertungsbögen erfüllt, da das Analyseinstrument, sowie die Durchführung und die Auswertung durch die Projektleiterin vor Ort den Teilnehmenden genau erklärt wurde. Zudem haben die Befragten auch das nötige Vorverständnis durch die Präsentationen erhalten, wenn dieses im Voraus noch nicht vorhanden war.

Argumentative Interpretationsabsicherung: Hierunter versteht man, dass Interpretationen nicht gesetzt, sondern argumentativ begründet werden müssen. Das wird vom Vorverständnis bis zur Auswertung gefordert. Dieses Kriterium wird sehr gut erfüllt. Interpretationen wurden durch die externen DL als auch durch die Projektleitung immer begründet.

Regelgeleitheit: Das Vorgehen der Untersuchung sollte bestimmten Regeln folgen und darf nicht in einem unsystematischen Vorgehen enden. Dieses Kriterium wurde erfüllt. Schon zu Beginn des Projekts war klar, wie die Abläufe geregelt sein müssen.

Nähe zum Gegenstand: Hierbei sollten die Personen in ihrer natürlichen Umgebung und in ihrem Alltag befragt werden, um eine Verzerrung ausschließen zu können. Die Präsentationen haben abends unter der Woche im Gemeindesaal der Kirchengemeinde stattgefunden. Dies entspricht ihrer Umgebung und auch

⁹⁴ Vgl. Hussy, W.; Schreier, M.; Echterhoff, G. (2013), S. 25

der Alltag hat sich für sie daher nicht groß verändert. Daher gilt dieses Kriterium als erfüllt.

Kommunikative Validierung: Die Untersuchungsergebnisse sollten mit den Befragten diskutiert werden. Dieses Kriterium ist nicht erfüllt. Die Projektleitung hat lediglich eine schriftliche Empfehlung zu einem DL ausgesprochen.

Triangulation: Ergebnisse unterschiedlicher Methoden werden miteinander verglichen. Dieses Kriterium wurde erfüllt. Denn sowohl die Projektleitung als auch ein weiterer externer Berater, der zum Projektteam gehört, haben die DL mit anderen Methoden bewertet.⁹⁵

Hinzu kommt, dass die Fragen verständlich formuliert wurden und die Bewertungsbögen eine sinnvolle Entscheidungshilfe für die Auswahl der DL waren.

Eine weitere Methode zur Auswahl der DL ist die Bewertungsmatrix, die vom externen Berater Herr Dahm und der Projektleitung entworfen wurde. Diese Matrix ist eine Nutzwertanalyse. Sie hilft bei der Entscheidungsfindung, welcher DL von der Projektleitung empfohlen werden soll. Ein Ausschnitt der Gewichtsverteilung sowie der Kriterien sind in der folgenden Abbildung 18 zu sehen. Es wird nicht der DL an sich bewertet, sondern die Heizstrategie, die er erbracht hat. Der Schwerpunkt der Gewichtung liegt auf der technischen Lösung. Dies sind 60 %, die sich weiter aufgliedern. Es ist auch zu erkennen, worauf das Augenmerk bei der technischen Lösung liegt. Auf der verständlichen Beschreibung der technischen Situation. Die restlichen 40 % teilen sich wiederum auf in weitere Kriterien. Das nächste Kriterium zählt nur 10 % in die Gesamtwertung. Hierbei werden der Schreibstil, das Layout und die Struktur mit jeweils 33 % der 10 % gewichtet. Das letzte Kriterium ist mit 30 % gewichtet und konzentriert sich auf den Zeit-, Maßnahmen und Kostenplan. Die rechte Spalte zeigt die maximal erreichbare Punktzahl von hundert Punkten und darunter die jeweils maximale Punktzahl pro Kriterium. Die Berechnung eines Kriteriums erfolgt nun folgendermaßen: die Heizstrategie des DL dokumentiert die Schäden in der Kirche nicht vollständig, son-

⁹⁵ Vgl. Hussy, W.; Schreier, M.; Echterhoff, G. (2013), S. 25

dern nur zur Hälfte, so bekommt er von den 9 möglich erreichbaren Punkten lediglich 4,5. Die Bewertungsmatrix ist sehr ausführlich und die Gewichtung sinnvoll gewählt, denn das Augenmerk muss auf der technischen Lösung liegen. Durch diese Bewertungsmatrix haben die DL alle dieselben Voraussetzungen und Grundlagen zur Bewertung und eine daraus resultierende Entscheidung kann gut nachvollzogen werden.

Abbildung 18: Bewertungsmatrix als Entscheidungshilfe zur Empfehlung eines Dienstleisters durch die Projektleitung

			100
60% Technische Lösung			
15%		Verständliche Beschreibung der baulichen IST-Situation (u.a. Schäden) ?	9
40%		Verständliche Beschreibung der technischen Situation ?	
	33%	Wärmeerzeugung?	7,92
	33%	Wärmeeinbringung?	7,92
	33%	Regelungstechnik?	7,92
15%		Verständliche Beschreibung der Raumklimadaten ?	9
15%		Verständliche Bedienungsempfehlungen für das bestehende System?	9
15%		Verständliche Investitionsempfehlungen ?	9
10% Verständlicher Schreibstil?			
	33%	Schreibstil?	3,3
	33%	ansprechendes Layout?	3,3
	33%	Struktur	3,3
30% Zeit-, Maßnahmen und Kostenplan			
	50%	Was sollte wann gemacht werden?	15
	50%	Was wird das kosten?	15
Weitere Bestandteile?			
	10%	Bonus	10

Quelle: Firmeninterne Datei (2019)

Doch es bleibt nicht allein bei diesen Methoden zur Aus- und Bewertung. Denn Christian Dahm, externer Berater und Teil der Projektgruppe, hat sich ebenfalls intensiv mit den Heizstrategien auseinandergesetzt. Mithilfe einer Tabelle, etwas anderen Kriterien und einer anderen Gewichtung, hat man nun nochmal eine andere Sichtweise eines Fachexperten (sh. Abb. 19). Dieser nimmt auch Stellung zu den Empfehlungen und betrachtet die Heizstrategien kritisch.

Abbildung 19: Bewertungsmatrix des Fachexperten Christian Dahm als Entscheidungshilfe zur Empfehlung eines Dienstleisters

err. Pktzahl	max. Pktzahl	Bewertung	Begründung
9	9	100 %	Verständliche Beschreibung der baulichen IST-Situation
		100 %	Habe ich nach der Lektüre des Berichtes ein Bild von der Kirche? (Größe, Baustil etc.)
		100 %	Beschreibung und Benennung etwaig vorhandener Schäden?
24	24		Verständliche Beschreibung der technischen Situation ?
8	8	100 %	Wärmeerzeugung: Art der Kirchenheizung? Größe, Alter des Heizkessels?
8	8	100 %	Wärmeeinbringung
8	8	100 %	Regelungstechnik?
9	9	100 %	Verständliche Beschreibung der Raumklimadaten ?
		100 %	Wo liegen die aktuellen Klimadaten (Grund-, Nutztemp., rel. Feuchte, Heizrampe)
		100 %	Vergleich mit Vorgaben?
9	9	100 %	Verständliche Bedienungsempfehlung für das bestehende System?
9	9	100 %	Verständliche Investitionsempfehlungen?
3,3	3,3	100%	Verständlicher Schreibstil?
3,3	3,3	100 %	Layout?
3,3	3,3	100 %	Struktur?
15	30		Zeit-, Maßnahmen und Kostenplan
15	15	100 %	Was sollte wann gemacht werden?
0	15	0 %	Was wird das Kosten?

Quelle: Firmeninternes Dokument (2019)

Bei der Auswahl gab es einen Experten mit viel allgemeinem Fachwissen über Klima und Energie in Kirchen, die Kirchengemeinde, die das spezifische Wissen über ihre Kirche hat und die Projektgruppe die das nötige Allgemeinwissen und das Wissen über die Projektziele hat. Dadurch ist eine gute Auswahl der DL garantiert.

7 Die Reaktionen der Kirchengemeinden auf das Pilotprojekt

Die Verfasserin dieser Arbeit konnte sich bei den Präsentationen vor Ort selbst ein Bild machen. Das Fazit hierbei ist, dass die Kirchengemeinden großes Interesse an dem Pilotprojekt zeigen. So waren beispielsweise in Eberbach mehr als 15 Teilnehmer vor Ort. Darunter Stiftungsratsmitglieder, Mitglieder der Kirchengemeinde und zwei Mesner, die eifrig miteinander diskutiert und nach Lösungsvorschlägen gesucht haben. Diese Diskussionen sind zum Teil auch auf einer sehr emotionalen Ebene geführt worden, was wiederum die Wichtigkeit der Kirchen für die Kirchengemeinde aufzeigt. Der Eindruck der Verfasserin ist auch, dass sich die Kirchengemeinden der aktuellen schwierigen Situation der katholischen

Kirche in Deutschland sowie der jeweiligen Situation ihrer Kirchengemeinde bewusst sind. Sie sind bereit sich für das Thema Klima und Energie in Kirchen zu sensibilisieren und sich damit auseinanderzusetzen. Einige Mitglieder der Kirchengemeinde tun dies schon auf eigene Faust. Zum Beispiel handeln einige Mesner bereits sehr umsichtig und verantwortungsvoll.

Um ein Stimmungsbild zu bekommen, wurde mit vier Beteiligten der Kirchengemeinden ein schriftliches Interview durchgeführt. Dadurch lassen sich die aufgestellten Vermutungen und Eindrücke der Verfasserin vor Ort überprüfen. Den Interviewten wurden sieben Fragen gestellt. Die Auswertung der Interviewfragen erfolgte durch die Verfasserin dieser Arbeit, indem die Antworten miteinander verglichen und im Folgenden zusammengefasst vorgestellt werden.

1. Welche Erkenntnisse und Erfolge erhoffen sich die Kirchengemeinden und die einzelnen Vertreter durch das Vorpilotprojekt?

Die beteiligten Kirchengemeinden erhoffen sich allesamt die Optimierung der Kirchenheizung. Die Gründe für eine Optimierung sind unterschiedlich und hängen mit den vorhandenen und vorgestellten Problemen der jeweiligen Kirche zusammen.

2. Sehen die Kirchengemeinden und die einzelnen Vertreter eine Notwendigkeit für Ihre Kirche eine Heizstrategie zu entwickeln? Wenn ja, warum?

Jeder der Befragten sieht die Entwicklung einer Heizstrategie als notwendig. Zum einen aus Gründen der Energieeinsparung, zum anderen aufgrund der thermischen Behaglichkeit und zuletzt auch aufgrund der vorhandenen Verschmutzungen.

3. Konnten die Kirchengemeinden und die einzelnen Vertreter durch die Präsentationen der Dienstleister mehr Fachwissen zum richtigen Heizen und Lüften Ihrer Kirche erlangen?

Hier gingen die Antworten etwas auseinander. Etwa die Hälfte der Befragten hat angegeben, dass sie neues Fachwissen gewinnen konnten. Die andere Hälfte hingegen hatte sich schon mit dem Thema auseinandergesetzt. Sie fühlten sich aber durch die Präsentationen in ihrem Handeln bestätigt.

4. Erhalten die Kirchengemeinden und die einzelnen Vertreter ausreichend Unterstützung durch das Projektteam und dem Erzbischöflichen Bauamt Heidelberg?

Hierbei waren sich alle einig. Die Unterstützung sei bislang vom Projektteam vorhanden und ausreichend. Das Bauamt wird bei der Umsetzung der Maßnahmen mehr miteinbezogen werden.

5. Waren die Fragen des Fragenkatalogs sinnvoll? Fehlen noch Fragen?
Anmerkung: Die Fragen des Fragenkatalogs beziehen sich in diesem Fall auf den Bewertungsfragebogen, der im vorherigen Kapitel kritisch betrachtet und bewertet wurde und in der Anlage 11 beigefügt ist.

Die Interviewenden sind sich einig, dass die Fragen ausreichend waren und sinnvoll gewählt wurden.

6. Halten die Kirchengemeinden und die einzelnen Vertreter die Vorgehensweise von Begehung, Präsentationen der Dienstleister und anschließender Umsetzung der Heizstrategie für sinnvoll?

Auch in diesem Punkt waren sich die Beteiligten einig. Die gewählte und durchgeführte Vorgehensweise sei definitiv sinnvoll.

7. Verbesserungsvorschläge:

Es gibt seinerseits der Kirchengemeinden keine Verbesserungsvorschläge.⁹⁶

Die Reaktionen der Kirchengemeinden auf das Pilotprojekt sind sehr positiv. Anhand der Antworten der Interviewfragen ist deutlich zu sehen, dass das Pilotprojekt aus Sicht der Kirchengemeinden bisher erfolgreich verläuft. Zudem sind sie mit den Angeboten und der Vorgehensweise sehr zufrieden. Somit bestätigt sich auch der Eindruck, den die Verfasserin dieser Arbeit vor Ort erhalten hat.

⁹⁶ Vgl. Geführte schriftliche Interviews mit vier Teilnehmern der beteiligten Kirchengemeinden durch Schill, E. als Interviewerin, (2020)

8 Messgrößen zur Evaluation des Projekterfolgs

Die Messgrößen zur Evaluation des Projekterfolgs setzen sich aus verschiedenen Erkenntnissen, die während der Durchführung gesammelt wurden, zusammen. Da in dieser Evaluation der Schwerpunkt auf der Vorgehensweise liegt, werden ihre Stärken und Schwächen besonders ausführlich aufgezeigt. Andere Messgrößen werden weniger ausführlich behandelt. Die Messgrößen allgemein sind die Energieeinsparung und Reduktion von CO₂, neu gewonnenes Fachwissen der Verantwortlichen und die Umsetzungsstrategien unter Einhaltung der Vorgaben der Temperierungsmodelle, sowie zuletzt die Stärken und Schwächen der Vorgehensweise des Pilotprojekts. Somit kann man Erkenntnisse auf das Hauptprojekt mit 40 Kirchen übertragen und Handlungsempfehlungen geben. Folgend werden diese Messgrößen geprüft um den Erfolg des Projekts zu bewerten.

Leider ist es zum Zeitpunkt des Verfassens dieser Arbeit nicht möglich, eine Aussage darüber zu treffen, ob durch das Pilotprojekt Energieeinsparung und die Reduktion von CO₂ erreicht wurde, da sich das erst durch die Rechnungen des Energieverbrauchs nach den Umsetzungen feststellen lässt. Momentan beginnt die Umsetzung in Weinheim-Hohensachsen. In einer Kirchengemeinde steht ein Termin mit DL, Architekt und Verantwortlichen vor Ort aus. Bei den restlichen drei Kirchengemeinden ist noch keine Entscheidung für einen DL gefallen. Somit fällt diese Messgröße leider weg.

Eine weitere Messgröße ist das neu gewonnene Fachwissen der Verantwortlichen und die Umsetzungsstrategien unter Einhaltung der Vorgaben der Temperierungsmodelle. Es kann jedoch auch hierüber noch keine abschließende Aussage getroffen werden, ob diese Vorgaben und das Fachwissen der Verantwortlichen, die spezifischen Probleme der Kirchen beheben werden. Feststellen konnte man auch mit Hilfe der durchgeführten Interviews, dass Fachwissen durch Präsentationen der DL vermittelt und die Verantwortlichen für das Thema sensibilisiert wurden. Weiteres Fachwissen haben sie auch durch die Vorgaben der Erzdiözese Freiburg erhalten.

Die letzten und wichtigsten Messgrößen sind die Stärken und Schwächen der Vorgehensweise des Pilotprojekts. Die Verfasserin dieser Arbeit hat durch Erkenntnisse, Beobachtungen und der Begleitung des Pilotprojekts die Stärken und Schwächen ermitteln können.

Stärken der Vorgehensweise:

- Die allgemeine Vorgehensweise zur Entwicklung der Heizstrategie ist sinnvoll gewählt: Begehung, Präsentation der DL und anschließender Umsetzung.
- Der Fragenkatalog (sh. Anlage 11) ist sehr detailliert und verschafft einen guten Überblick über die Situation der jeweiligen Kirche.
- Die Methoden und Instrumente zur Datenerhebung sind sinnvoll gewählt worden.
- Es ist von Vorteil, dass die Rahmenbedingungen des Hauptprojekts bereits festgelegt wurden.
- Die vier Pilotkirchen haben sehr unterschiedliche Eigenschaften. Dadurch können die verschiedensten Strategien angewendet und beobachtet werden. Dies wiederum ist eine gute Voraussetzung für das Hauptprojekt mit 40 Kirchen.
- Die beteiligten vier Kirchengemeinden wurden ausreichend für das Thema Energie und Klima in Kirchen sensibilisiert, haben Fachwissen erhalten und können nun beginnen verantwortungsvoll ihre Kirchen zu lüften und zu heizen.

Schwächen der Vorgehensweise:

- Die Datenlogger wurden viel zu spät in und an den Kirchen angebracht. Da die Außentemperaturen zu den Zeitpunkten z.T. schon sehr hoch waren, haben sie starken Einfluss auf die Ergebnisse gehabt. Dadurch ist eine Auswertung der Messdaten schwierig und nicht vollständig gewesen.
- Der Fragenkatalog (sh. Anlage 11), der den DL zum Ausfüllen gegeben wurde, könnte z.T. schon im Zuge der Erstellung einer pastoralen Gebäudekonzeption ausgefüllt werden, um Zeit zu sparen.

- Die Transparenz der Bewertung der DL sollte verbessert werden. Für den DL und auch für die Kirchengemeinde ist die Empfehlung durch das Projektteam und den Fachexperten Christian Dahm nicht ersichtlich. Das könnte jedoch wichtig sein, damit die DL und Kirchengemeinden wissen, was wie gewichtet wird und worauf der Schwerpunkt liegen soll.
- Es gab keine klaren Rahmenbedingungen für das Pilotprojekt. Das hängt aber auch mit der Kurzfristigkeit der Durchführung zusammen und wird letztendlich auch keine große Auswirkung auf den Erfolg des Hauptprojekts haben.

Das Pilotprojekt verläuft bisher erfolgreich. In der Vorgehensweise gibt es noch Schwächen, die durch die Evaluation bewertet und ermittelt wurden. Im letzten Kapitel dieser Arbeit werden nun Handlungsempfehlungen und Richtlinien präsentiert, um die Vorgehensweise für das Hauptprojekt zu optimieren.

9 Handlungsempfehlungen und Richtlinien für das kommende Projekt „Energie und Klima in Kirchen“ der Erzdiözese Freiburg mit 40 Modellkirchen

In dieser Arbeit wurde eine Evaluierung der Vorgehensweise des Pilotprojekts durchgeführt. Die Zielgruppe für die Evaluation sind die Kirchengemeinden, das Erzb. Bauamt Heidelberg sowie das Projektteam. Für das Projektteam ist sie besonders wichtig, denn sie haben im Februar 2020 mit dem Hauptprojekt mit 40 Kirchen begonnen. Die gewonnenen Erkenntnisse aus dem Pilotprojekt sollen übertragen und genutzt werden. Dadurch sollen zukünftige Fehler vermieden und der Prozess optimiert werden. Aus der Evaluation lassen sich Handlungsempfehlungen für das kommende Hauptprojekt ableiten. Die erste und auch wichtigste Handlungsempfehlung ist, die **Datenlogger während der Heizperiode auszulegen**. Das entspricht der Zeit von November bis Februar. Es ist auch ratsam einen **längeren Messzeitraum** als nur 6 Wochen zu vereinbaren, da man so Langzeitmessungen erhält und die ausgewerteten Daten hilfreicher zur Entwicklung einer Heizstrategie sind. Die Schwierigkeit der **Terminkoordination** gab es schon im Pilotprojekt und wird mit hoher Wahrscheinlichkeit im Hauptpro-

jekt noch herausfordernder. Eine allgemeine Handlungsempfehlung hierfür auszusprechen, gestaltet sich als sehr schwierig. Dennoch empfiehlt sich möglichst **viele unterschiedliche Personenkreise** bei der Begehung vor Ort dabei zu haben, da so mehr Wissen und Informationen über die Kirche gesammelt werden können. Neben den Architekten/innen des zuständigen Bauamts, der externe DL, ein/e Mesner/in, dem/der Projektleiter/in, sollten auch Stiftungsratmitglieder und ein/e Heizungstechniker/in vor Ort sein. Es ist durchaus hilfreich, wenn es bereits eine durchgeführte Bestandsaufnahme gibt, die im Zuge der Erstellung der pastoralen Gebäudekonzeption durchgeführt werden kann. Somit ist es möglich viel Zeit zu sparen. Die **Transparenz** bei der Empfehlung durch das Projektteam sowie den externen Berater Christian Dahm sollte verbessert werden. Hierbei kann bspw. die Matrix sowohl den DL, als auch den Kirchengemeinden im Voraus zur Verfügung stehen, sodass diese die Gewichtung und Schwerpunktsetzung kennen. Dadurch ist es möglich, ausführlichere und passendere Heizstrategien zu erhalten. Als letzte Handlungsempfehlung für das kommende Projekt kann man den Vertrag mit dem externen DL um ein weiteres Aufgabenfeld erweitern: die **Berechnung der Energieeinsparung** und die damit verbundene Reduzierung des CO₂ - Ausstoßes. Einige DL haben dies bereits in ihren Berichten ausgeführt, andere nicht. Schon während der Präsentationen ist die Rückmeldung durch einige Beteiligte erfolgt, dass sie dieses als wichtige Kriterien erachten, um die Entscheidung für einen DL, sowie für eine Heizstrategie zu erleichtern. Durch die Durchführung des Pilotprojekts ist es für das Projektteam einfacher, das Hauptprojekt durchzuführen, da sich die einzelnen Gruppen eingespielt haben und die Aufgaben zugeordnet sind. Die Vorgehensweise ist nun klar und durch die Evaluation ist auch eine Optimierung möglich gewesen.

Richtlinien und Wegleitungen zur Durchführung zukünftiger Projekte für eine einheitliche Berichtsstruktur

Es wurde festgestellt, dass das Vergleichen der Präsentationen der Dienstleister aufgrund der z.T. unterschiedlichen Ausführung und Schwerpunktsetzung kaum möglich war. Daher sollten Richtlinien für die DL vorhanden sein, an denen sie sich orientieren können, damit eine einheitliche Berichtsstruktur ermöglicht wird.

Die folgenden Punkte müssen somit von allen DL in den Berichten mitaufgenommen werden:

1. Baujahr und Zustand des Gebäudes, der Wärmeerzeugungsanlage, dem Heizsystem, dem Temperaturregler- und fähler, des Lüftungssystems, sowie anderweitige Technik im Kirchengebäude, die in Bezug auf das Raumklima von Bedeutung ist.
2. Vorstellung der vorhandenen Wärmevertei- und Lüftungssysteme, auch wenn diese defekt oder nicht mehr in Betrieb sind.
3. Bausubstanz-, Orgel- und Ausstattungsschäden.
4. Problemfeststellungen der zu untersuchenden Kirche.
5. Vorstellung der Vorgaben der Erzdiözese Freiburg
6. Auswertung der Messdaten um darauf auf die möglichen Probleme und Schäden schließen zu können.
7. Vorstellung der entwickelten Heizstrategie. Diese müssen mit den aktuellen vorhandenen Mitteln in der Kirche entwickelt werden. Ziel der Heizstrategien sind vor allem die Einhaltung der Vorgaben der Erzdiözese Freiburg und die Reduzierung des Energiebedarfs und der damit verbundenen CO₂- Reduzierung. Die thermische Behaglichkeit darf jedoch nicht außen vorgelassen werden.
8. Vorstellung einer Lüftungsstrategie, da das Lüften ebenfalls großen Einfluss auf das Raumklima hat.
9. Erstellung eines Maßnahmenkatalogs mit ungefähren Kosten- und Zeitan- gaben. Diese können Bezug nehmen auf die Heizstrategie oder aber auch auf allgemeine Empfehlungen zurückgehen.
10. Berechnung der möglichen CO₂- Reduzierung, Energie- und Geldeinspa- rung durch die Heizstrategie sowie durch die weiteren Maßnahmen, die empfohlen werden.

Sollten diese Themen so in den Berichten aufgenommen werden, ist das Verglei- chen besser möglich, wodurch wiederum die Bewertung, als auch die Entschei- dung leichter durchzuführen sind.

10 Schlussfolgerung und Ausblick

Das Pilotprojekt und auch das Hauptprojekt „Energie und Klima in Kirchen“ der Erzdiözese Freiburg sind angesichts der globalen Klimaerwärmung und dem starken Rückgang der Katholiken in Deutschland, Projekte von hoher Notwendigkeit. Denn durch die Heizungsoptimierung kann Energie, CO₂ und Geld eingespart werden. Neben diesen Gründen ist auch die Schadensvermeidung an Kunstgegenständen und der Bausubstanz der Kirchen ein wichtiger Grund für die Durchführung dieses Projekts, um den Renovationszyklus der Kirchen zu verlängern. Die Kirchen sind Zeugen längst vergangener Zeiten und die Kirchengemeinden verbindet eine starke emotionale Bindung zu ihren Kirchen. Daher muss man sie mit den vorhandenen Mitteln und Möglichkeiten schützen.

Die in dieser Arbeit durchgeführte Evaluation hat ergeben, dass die Vorgehensweise des Pilotprojekts sehr erfolgreich ist und alle Beteiligten zufrieden sind. Dadurch wird das Projektteam weiter in seinem Handeln gestärkt und unterstützt. Dennoch ist die Optimierung der Vorgehensweise möglich, weshalb die vorgestellten Handlungsempfehlungen und Richtlinien umgesetzt werden sollten.

Keiner vermag in die Zukunft zu blicken, doch mit der Zeit kommen Veränderungen und die Menschen und Gebäude müssen sich diesem Wandel anpassen. Es ist davon auszugehen, dass alle Erzbistümer in Deutschland Projekte wie dieses durchführen werden. Sei es zur Bewahrung der Schöpfung, zur Bewahrung der Sakralbauten und Kunstgegenstände oder zur Bewahrung der (finanziellen) Existenz der Kirchengemeinden.

Anhang (elektronisch)

Der Anhang ist auf dem beigefügten Datenträger (CD) zu finden.

Literaturverzeichnis

- Aichele, C. (2012). *Smart Energy: Von der reaktiven Kundenverwaltung zum proaktiven Kundenmanagement*. Wiesbaden.
- Arendt, C. (2005). Unter welchen Voraussetzungen ist die Beheizung von Kirchen zu bejahen - und wie soll sie durchgeführt werden? In Hefte des Deutschen Nationalkomitees - ICOMOS (Hrsg.), *Klimastabilisierung und bauphysikalische Konzepte - Wege zur Nachhaltigkeit bei der Pflege des Weltkulturerbes* (S. 165-184). München.
- Billes, H.; Groh, B. (2019). *Individuelle Heizstrategie für die Kirche St. Johannes Nepomuk Eberbach*. Eberbach.
- Bistum Hildesheim (Hrsg.). (2016). *Wie lüftet man in Kirchen richtig?* Abgerufen am 6. Februar 2020 von <https://www.bistum-hildesheim.de/kirchengesellschaft/umweltschutz-klimaschutz/klimaschutzinitiative/erklaerfilm-der-schoepfung-eine-chance/wie-lueftet-man-eine-kirche-richtig/>
- Dahm, C. (2017). *Beheizen und Temperieren von Kirchen - Von Energieeffizienz, Erhaltung des Kulturerbes und Nutzerakzeptanz*. Mülheim an der Ruhr.
- Dahm, C. (2019). *Bewertung der Heizstrategie St. Jakobus Karlsdorf, EA Regio Freiburg*. Freiburg.
- Dambacher, C. (2019). *Energie und Klima in Kirchen (E&KiK) - Projektbeschreibung mit Teilprojekten, Projektplan & Projektgremien*. (Diözesanstelle Schöpfung und Umwelt, Hrsg.) Freiburg.
- Deutscher Wetterdienst (Hrsg.). (2019). Pressemitteilung, Deutschlandwetter im Winter 2018/19. Offenbach. Abgerufen am 18. Januar 2020 von https://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/DE/2019/20190227_deutschlandwetter_winter2018_2019.pdf?__blob=publicationFile&v=2
- DIN e.V. (Hrsg.). (2006). *DIN EN ISO 7730: Ergonomie der thermischen Umgebung - Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen*

Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit. Berlin.

DIN e.V. (Hrsg.). (2012). *DIN EN 15759-1: Erhaltung des kulturellen Erbes - Raumklima - Teil 1: Leitfäden für die Beheizung von Andachtsstätten.* Berlin.

DIN e.V. (Hrsg.). (2018). *DIN EN 15759-2: Erhaltung des kulturellen Erbes - Raumklima - Teil 2: Lüftung für den Schutz von Gebäuden und Sammlungen des kulturellen Erbes.* Berlin.

Diözesanstelle Schöpfung und Umwelt der Erzdiözese Freiburg (Hrsg.). (o.J.). *Diözesanstelle Schöpfung und Umwelt.* Abgerufen am 8. Januar 2020 von https://www.ebfr.de/html/content/dioezesanstelle_umwelt_energie_und_arbeitsschutz1959.html

Diözesanstelle Schöpfung und Umwelt der Erzdiözese Freiburg (Hrsg.). (2019). *Heizen und Lüften in Kirchen - Temperierungsmodell für die Warmluftheizung, Warmluft mit Sitzbankheizung, Fußbodenheizung mit durchgängigem Wärmebezug, Fußbodenheizung mit Warmluftheizung und Fußbodenheizung mit Sitzbankheizung.* Freiburg.

Dunker, C. (2019). *Heizstrategie St. Jakobus Karlsdorf.* Karlsdorf.

Goehler, A. (o.J.). *Geschichte der Pfarrgemeinde St. Laurentius.* Nußloch. Abgerufen am 14. Februar 2020 von https://www.kath-lins.de/html/content/geschichte_pfarrgemeinde_stlaurentius.html

Göhringer, U. (2019). *Individuelle Temperierungsstrategie für Kirchen im Projekt "Energie & Klima in Kirchen" (E&KiK).* Eberbach.

Gondring, H. (2012). *Immobilienwirtschaft - Handbuch für Studium und Praxis 3. Aufl.* München.

Herwig, H.; Moschallski, A. (2009). *Wärmeübertragung, Physikalische Grundlagen - Illustrierende Beispiele - Übungsaufgaben mit Musterlösungen 2. Aufl.* Wiesbaden.

- Hirschberg, S. W. (Hrsg.). (o.J.). *St. Jakobuskirche Hohensachsen*. Abgerufen am 19. Februar 2020 von https://www.kath-weinheim-hirschberg.de/html/content/kirche_hohensachsen.html
- Hottinger, M. et al. (1940). *Die Heiz- und Lüftungsanlagen in den verschiedenen Gebäudearten einschließlich Warmwasserversorgungs- Befeuchtungs- und Entnebelungsanlagen 2. Aufl.* Berlin.
- Hussy, W.; Schreier, M.; Echterhoff, G. (2013). *Forschungsmethoden in Psychologie und Sozialwissenschaften für Bachelor 2. Aufl.* Berlin u.a.
- Laasch, T.; Erhard, L. (2005). *Haustechnik, Grundlagen - Planung - Ausführung 11. Aufl.* Wiesbaden.
- Maier, J. (2009). *Bauhandwerk - Wasser und Salz Typische Bauschäden an Außenwänden aus Mauerwerk*. Abgerufen am 5. März 2020 von https://www.bauhandwerk.de/artikel/bhw_Wasser_und_Salz_Typische_Bauschaeden_an_Aussenwaenden_aus_Mauerwerk_162043.html
- Reischmann, J. (2010). *Evaluation von Lernerfolgen*. o.O.
- Roling-Reichert, B. (2019). *Pastorales Gebäudekonzept, Kirchengemeinde Leimen - Nußloch - Sandhausen*. Leimen.
- Sandler, M. (2008). *Heizen in Kirchen*. Kaufbeuren. Abgerufen am 19. Januar 2020 von http://www.kirchbau.de/8/heizung_vergleich_efg2011.pdf
- Schellbach, M. (2019). *Erarbeitung und Begleitung der Umsetzung einer individuellen Heizstrategie für die Kirche St. Jakobus Hohensachsen*. Weinheim-Hohensachsen.
- Schild, K.; Wolfgang, W. (2013). *Wärmeschutz, Grundlagen - Berechnung - Bewertung, 2. Aufl.* Dortmund.
- Schmid, C. et al. (2013). *Heizung/ Lüftung/ Elektrizität, Energietechnik im Gebäude, Bau und Energie 4. Aufl.* Zürich.

- Schmid, F. (2019). *Bericht zur individuellen Heizstrategie für die Pfarrkirche St. Jakobus in Karlsdorf der Kirchengemeinde Karlsdorf-Neuthard-Büchenau*. Freiburg i.Br.
- Schulz, E. (2018). *Über die Pflege von Orgeln - Eine Information für Verwaltungsaktulare, Kirchenpfleger, Pfarrer, Kirchengemeinderäte, Mesner, Organisten und Architekten*. Diözese Rottenburg Stuttgart - Amt für Kirchenmusik, o.O.
- Seelsorgeeinheit Karlsdorf, Neuthard, Büchenau (Hrsg.). (o.J.). *Geschichte St. Jakobus Karlsdorf*. Abgerufen am 19. Februar 2020 von <https://www.karlsdorf-neuthard-buechenau.de/html/media/geschichte.html>
- Seidel, L. (2019). *E&KiK - Energie und Klima in Kirchen Heizstrategie St. Jakobus Hohensachsen*. Mannheim.
- Stiftungen der Erzdiözese Freiburg (Hrsg.). (o.J.). *Pfälzer Katholische Kirchenschaffnei, Vier Kirchen - ein Platz*. Abgerufen am 19. Februar 2020 von <http://www.katholische-stiftungen-freiburg.de/pfaelzer-katholische-kirchenschaffnei/foerderprojekte/st-johannes-nepomuk-eberbach/>
- Tagesspiegel (Hrsg.). (2015). Barack Obama: "Wir sind die letzte Generation, die etwas gegen den Klimawandel tun kann". *Der Tagesspiegel*. Abgerufen am 8. Januar 2020 von <https://www.tagesspiegel.de/politik/barack-obama-wir-sind-die-letzte-generation-die-etwas-gegen-den-klimawandel-tun-kann/12141618.html>
- Tappeser, J.-M. (2019). *Heizstrategie der Pfarrkirche St. Laurentius in Nußloch*. Weinheim.
- Teilnehmer der beteiligten Kirchengemeinden. (2. März 2020). Interviewfragen für die Evaluation des Pilotprojekts "Energie und Klima in Kirchen" - Die Reaktionen der Kirchengemeinden. (E. Schill, Interviewer)

- Theod. Mahr Söhne GmbH (Hrsg.). (o.J.). *Die MAHR - Lüftungsampel*.
Abgerufen am 6. Februar 2020 von
https://www.kirchenheizung.de/fileadmin/mahr/media/download/W143a_MAHR_Lueftungsampel_DE.pdf
- Tipler, P.; Mosaca, G. (2014). *Physik: für Wissenschaft und Ingenieure 7. Aufl.*
Heidelberg.
- Umweltbundesamt (Hrsg.). (2013). *Schwarze Wohnungen - "Fogging-Effekt"*.
Abgerufen am 26. Februar 2020 von
<https://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/umwelteinfluesse-auf-den-menschen/innenraumluft/schwarze-wohnungen-fogging-effekt>
- Umweltbundesamt (Hrsg.). (2019). *Gebäudeklimatisierung*. Abgerufen am 06. Februar 2020 von <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/fluorierte-treibhausgase-fckw/anwendungsbereiche-emissionsminderung/gebäudeklimatisierung>
- Vollmer, H. (2019). *Erarbeitung und Begleitung der Umsetzung einer individuellen Heizstrategie für Kirchen - Kirche St. Laurentius in Nußloch*. Nußloch.
- Weltgesundheitsorganisation Europa (Hrsg.). (2009). WHO-Leitlinien zur Innenraumluftqualität: Feuchtigkeit und Schimmel. o.O. Abgerufen am 15. Januar 2020 von
http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0020/43328/E92645sumG.pdf
- Weyer, A. (2019). Die Kirchenglocken im Fokus. In I. Birkenbeul, & A. Weyer (Hrsg.), *Klimazone Kirche - Präventative Konservierung der Ausstattung*. Berlin.
- Zimmermann, S. (2018). Kirchenglocken für Hitler. (katholisch.de, Hrsg.) o.O. Abgerufen am 14. Februar 2020 von
<https://www.katholisch.de/artikel/18653-kirchenglocken-fuer-hitler>

Ehrenwörtliche Erklärung

Ich versichere hiermit, dass ich meine Bachelorarbeit mit dem Thema

„Energie und Klima in Kirchen – Die Evaluation der Vorgehensweise des Pilotprojekts in der Erzdiözese Freiburg mit Schwerpunkt auf Wärmeverteilungssystemen“

selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Ich versichere zudem, dass die eingereichte elektronische Fassung mit der gedruckten Fassung übereinstimmt.

.....
Ort, Datum

.....
Unterschrift