



Hannover, Minden, Chemnitz, Dresden, Berlin

09.09.2025

Dipl.-Ing. Arch. Werner Lemke
Dipl.-Ing. Arch. Detlef Abel
Dipl.-Verww. (FH) Heike Golz
Ev.-luth. Landeskirche Hannovers
Rote Reihe 6, 30169 Hannover

EVANGELISCH-LUTHERISCHE
LANDESKIRCHE HANNOVERS 

Dipl.-Ing. Arch. Heike Menne AKNW
Energieberatung-CO₂
Haberbreede 10, 32429 Minden

€nergieberatung-CO₂ 

Dipl.-Ing. Lutz Baumann VDI
Dipl.-Ing. (FH) Michael Täubert VDI
Ingenieurbüro NIEHSEN-BAUMANN
Wiesenufer 7, 09123 Chemnitz

INGENIEURBÜRO NIEHSEN-BAUMANN
INHABER: DIPL.-ING. LUTZ BAUMANN VDI

WECHSELBÜRO FÜR TECHNISCHE BERATUNG UND AUSSTATTUNG
HEIZUNG - Lüftung - Klima - Sanitär - EL-Systeme - Anlagen

Prof. Dr.-Ing. Gunter Lauckner
Dipl.-Ing. (FH) Christian Klotzsche
Dipl.-Ing. (FH) Florian Kunze
Dipl.-Ing. (FH) Ronny König
Zentrum für angewandte Forschung
und Technologie e.V. ZAFT
Friedrich-List-Platz 1, D-01069 Dresden

ZAFT ZENTRUM FÜR ANGEWANDTE
FORSCHUNG & TECHNOLOGIE
AN DER HTW DRESDEN

Dipl.-Soz. Janika Gabriel
Dr. Dipl.-Inn. Arch. Eva Schulze
Berliner Institut für Sozialforschung GmbH
Brandenburgische Str. 16, 10707 Berlin

Berliner Institut für
Sozialforschung GmbH 

 Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz


Projektträger Jülich
Forschungszentrum Jülich

Inhalt

1	Aufgabenstellung	4
2	Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	5
3	Überblick zum Vorhaben	6
3.1	Evaluation: Projektphase 1	6
3.2	Transformation: Projektphase 2	9
4	Erfahrungen zur Beheizung von Kirchen und aus dem Planungsprozess	10
5	Evaluation von 30 Kirchen in der Projektphase 1	12
5.1	Bestandserfassung und Auswahl	12
5.2	Technisches Monitoring.....	14
5.2.1	Messsystem und Verteilung der Messgrößen.....	14
5.2.2	Messungen des Raumluftzustandes und Analyse des Istzustandes.....	15
5.2.3	Bewertung der Raumklimas	20
5.2.4	Verbesserungsvorschläge zur Steuerung der technischen Anlagen – Optimierung	22
5.2.5	Energieverbrauchskennwert und spezifischer Heizenergieverbrauchskennwert	24
5.2.6	Bewertung des Energieverbrauchs.....	26
5.3	Sozialwissenschaftliches Monitoring	29
5.3.1	Methodisches Vorgehen.....	29
5.3.2	Ergebnisse der Fokusgruppen zur Wahrnehmung des Raumklimas	30
5.3.3	Ergebnisse der standardisierten Befragung.....	31
5.3.4	Behaglichkeitsindizes – Kälte und Zugluft als zentrale Faktoren	35
5.4	Zusammenführung der technischen und sozialwissenschaftlichen Daten und Erkenntnisse.....	38
5.5	Bewährte Systeme von Grundheizung und körpernaher Heizung	41
5.5.1	Beste Lösungen in Abhängigkeit des Raumvolumens	41
5.5.2	Beste Lösungen in Abhängigkeit des Raumklimas und der Erhaltung von Kunstwerken.....	43
5.5.3	Beste Lösungen in Abhängigkeit des Energieverbrauchs	45
5.5.4	Beste Lösungen in Abhängigkeit der Behaglichkeit	45
5.5.5	Gute und sehr gute Kombinationen von Systemen der Grundheizung und der körpernahen Heizung	46
6	Investition und Transformation in der Projektphase 2	48
6.1	Bauliche Lösungen	53
6.2	Technisches Monitoring.....	56
6.2.1	Raumklima	56
6.2.2	Energieverbrauch und THG-Emissionen	58
6.2.3	Zusammenfassung.....	61
6.3	Sozialwissenschaftliches Monitoring	62
6.3.1	Methodisches Vorgehen.....	62
6.3.2	Ergebnisse der Befragung.....	63
6.3.3	Ergebnisse der Fokusgruppen	70
6.3.4	Fazit.....	71

6.4	Simulation der Raumluftrömung für die Kirche St. Petri Buxtehude	73
6.4.1	Zielstellung.....	73
6.4.2	Bestimmung der Wandoberflächentemperaturen	74
6.4.3	Modell des Luftraumes	75
6.4.4	Ausgewählte Ergebnisse.....	77
6.4.5	Empfehlungen.....	78
6.5	Beurteilung der Funktion realisierter Steuerungen und Regelungen	80
7	Zusammenfassung und Schlussbetrachtung	84
7.1	Voraussichtlicher Nutzen des Transformationsprojekts und Verwertung der Ergebnisse	84
7.2	Empfehlungen der Projektbeteiligten.....	85
7.2.1	Voraussetzungen für eine gute nachhaltige Planung.....	85
7.2.2	Grundlagen der Planung in einem konkreten Fall.....	86
7.2.3	Einsatz erneuerbarer Energieträger	87
7.2.4	Absenkung der Nutzungstemperatur und körpernahe Temperierung	87
7.2.5	Anordnung der Heizkörper und Lüftungskonzept.....	88
7.2.6	Übergabe der neuen Heizungs- und Lüftungsanlage an die Kirchengemeinde.....	88
8	Literatur.....	89

Anhang 1: Steckbriefe von 30 Kirchen der Projektphase 1

Anhang 2: Steckbriefe von 7 Kirchen der Projektphase 2

1 Aufgabenstellung

Die Kirchengemeinden der evangelischen Kirche in Deutschland besitzen ca. 23.500 Kirchen und Kapellen, hinzu kommen Gemeindehäuser, Pfarrhäuser, Friedhofskapellen, Kindergärten und sonstige Gebäude. Viele der Gebäude stehen unter Denkmalschutz. Allein die 10 Landeskirchen im norddeutschen Raum unterhalten etwa 8.000 Sakralgebäude und verzeichnen in diesen Gebäuden einen erheblichen Energieverbrauch für Heizwärme. Durch unreflektiertes Heizen sind in den letzten 40 Jahren leider enorme Schäden an der oft wertvollen Ausstattung entstanden bei teilweise eingeschränkter Behaglichkeit im Aufenthaltsbereich der Besucher.

Die Gesamtzielstellung des Transformationsprojektes ist die Pilotumsetzung von dauerhaften und zukunftsfähigen Lösungen zur Beheizung und Lüftung von Kirchbauten unter ökonomischen, ökologischen und konservatorischen Aspekten. Zudem soll die Behaglichkeit sichergestellt werden, um den Menschen weiter eine uneingeschränkte Teilnahme am Gottesdienst zu ermöglichen. Der Grundgedanke besteht darin, die Grundtemperatur maßvoll zu reduzieren und die Temperaturdifferenz zwischen Grund- und Nutzungstemperatur gering zu halten. Es wird ein körpernahes Heizsystem so ergänzt, dass die örtliche Behaglichkeit kaum beeinträchtigt wird. Damit reduzieren sich die zu installierende Heizleistung und der Wärmeverbrauch. Das Ziel ist eine flächendeckende erhebliche Energieeinsparung von bis zu 30 %, die aufgrund der Praxiserfahrung eines der Projektpartner realistisch ist. Damit sollten sich zunächst auch die THG-Emissionen in dieser Größenordnung reduzieren.

Auf dem Weg zur Treibhausgasneutralität gilt es aber auch für kirchliche Akteurinnen und Akteure einen Reduktionspfad zur Treibhausgasneutralität bis spätestens 2045 anzustreben, der die Treibhausgasemissionen um mindestens 95 % gegenüber dem Ausgangswert und in den Bereichen Gebäude und Mobilität möglichst auf Null reduziert. Als Anhaltspunkt kann ein exponentieller Reduktionspfad ab dem Jahr 2020 dienen. Gegenüber dem Emissionsniveau des Jahres 2019 wäre demnach bis 2025 eine Minderung um 60 % erforderlich (Forschungsstätte der Evangelischen Studiengemeinschaft [FEST 2021]).

Im Verlauf der

Projektphase 1 der Evaluierung von 30 Kirchen mit innovativen Konzepten der Temperierung von Kirchen unter ökonomischen, ökologischen und konservatorischen Aspekten

wurde die Aufgabenstellung an diese Rahmenbedingungen angepasst, die eine überproportional höhere Reduzierung der THG-Emissionen verlangen. Eine weitere Reduzierung der Emissionen geht aber nur mit dem Wechsel auf erneuerbare Energieträger zur Wärmeerzeugung einher. Wenn dieses Ziel in den betrachteten Transformationskirchen der

Projektphase 2 zur Übertragung, Anpassung, Weiterentwicklung der besten Lösungen auf 7 Kirchen

weiterverfolgt wird, ist eine Einsparung von THG-Emissionen um bis zu 60 % realistisch.

Neben einer deutlichen Energieeinsparung sollen auch langfristig Schäden an den wertvollen Ausstattungen und den Orgeln vermieden werden. Die geplante CO₂-Einsparung geht deshalb auch einher mit der Reduzierung von Wartungs- und Reparaturkosten. Beide Teilziele könnten mit den gleichen Maßnahmen oder auch mit sinnvollen Kompromissen erreicht werden.

2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Nach umfangreichen Statistiken sind für die beheizten Kirchen und Kapellen der EKD etwa 2,01 GWh/a für Heizwärme zu veranschlagen. Die Ursachen für den hohen Energieverbrauch sind vielfältig und die Folgen unsachgemäßer Heizregimes nicht zu übersehen. Der Energiebedarf wurde häufig nach [Krischer 1957] berechnet und die technischen Anlagen entsprechend ausgelegt. Durch fehlerhaft dimensionierte und mangelhaft gewartete Heizungsanlagen sind in den letzten 40 Jahren größere Schäden entstanden, als durch die Nutzung in den Jahrhunderten zuvor. Heizungsanlagen mit örtlich hoher Wärmeabgabe und dem damit verbundenen sehr schnellen, lokalen Temperaturanstieg mit gleichzeitiger Abnahme der relativen Luftfeuchte haben zur fast vollständigen Zerstörung von wertvollsten Fresken und Wandmalereien geführt [Bauhandbuch 2006]. Die vorhandenen technischen Ausstattungen für eine energieeffiziente Temperierung und eine klimagerechte Fahrweise von Heizungs- und Lüftungsanlagen bleiben meist weit hinter den zeitgemäßen Lösungen zurück.

Die mit der Nutzung verbundenen hohen Energieverbräuche und Heizkosten werden für die Kirchengemeinden zunehmend zu einem Problem. Zudem sind die aus der Beheizung resultierenden CO₂-Emissionen nach dem integrierten Klimaschutzkonzept der Landeskirche Hannovers, den Beschlüssen der anderen Landeskirchen und der EKD deutlich zu reduzieren. Das Einsparpotential für Wärmeenergie kann jedoch durch verbesserte Berechnungsmethoden [Baumann 1998] für die zu installierende Leistung, eine umsichtige Temperaturabsenkung und moderne Regelungen mobilisiert werden.

Mit dieser Zielstellung gingen bisher vielfältige Maßnahmen einher. Wenn die räumliche Situation dies zulässt, könnten kleine Winterkirchen in große Kirchräume eingebaut werden, die im Winter temperiert werden, während der eigentliche Kirchraum nicht beheizt wird. Falls der Einbau einer Winterkirche nicht möglich ist, können sinnvolle Kombinationen einer maßvollen konventionellen Grundbeheizung mit verschiedenen Varianten der körpernahen Beheizung, wie Sitzkissenheizungen, klassische oder optimierte moderne Bankheizungen eine individuelle Lösungen darstellen.

In den letzten Jahren haben alle Landeskirchen in Deutschland - also auch die beteiligten Landeskirchen in Norddeutschland – begonnen, ihren Kirchenbestand zu sichten und zu priorisieren. Die Prozesse dazu sind unterschiedlich weit gediehen, in der Landeskirche Hannovers zum Beispiel ist damit zu rechnen, dass Ende 2024 erste Konzepte in den Kirchenkreisen vorliegen. Im Ergebnis wird es unterschiedliche Kategorien von Kirchen geben. Sicher wird es eine Kategorie A geben, in der alle Kirchen aufgelistet werden, die langfristig erhalten und vornehmlich kirchlich genutzt werden sollen. Daneben aber auch eine Kategorie B, in der die Kirchen aufgelistet werden, deren Zukunft offen ist und die ggf. einer sogenannten erweiterten Nutzung oder einer Umnutzung zugeführt werden. Dies können bei erweiterter Nutzung z.B. Mischnutzungen von kirchlicher und kultureller Natur oder von kirchlicher und kommunaler Natur sein. Bei Umnutzungen sind verschiedene Szenarien denkbar, von anderen kirchlichen Nutzungen bis zu rein kulturellen Nutzungen. In einer Kategorie C werden vermutlich die Kirchen aufgelistet, die langfristig abgegeben und zunächst einmal lediglich baulich gesichert werden. Die anstehenden Entscheidungen für den Umgang mit den Heizungsanlagen in den Kirchen werden sicherlich auf Grundlage der beschlossenen Kategorisierung und der geplanten Nutzung gefällt. Oft genutzte Kirchen der Kategorie A in größeren Orten, in denen viele Gottesdienste und Konzerte stattfinden, werden sicher aufwendige Heizungsanlagen erhalten. Kleine selten genutzte Dorfkirchen der Kategorie B, in denen kaum Konzerte stattfinden und in denen das Raumklima unproblematisch ist, werden vermutlich nur eine sehr einfache Form der körpernahen Temperierung erhalten und in den Kirchen der Kategorie C werden die Heizungsanlagen vermutlich nicht mehr angepasst.

3 Überblick zum Vorhaben

3.1 Evaluation: Projektphase 1

Die optimale Kombination von Heizungen für die Grund- und Nutzungstemperatur mit Typen körpernaher Heizungssysteme und Lüftungsstrategien sowie deren durchdachte Koordination ist in Fachkreisen und bei den Antragstellern nicht bekannt. In der ersten Projektphase von zwei Jahren sollen Bauwerke, Heizungskombinationen, Lüftungssysteme und Nutzerverhalten in 30 Kirchen, die ein innovatives Konzept zur Temperierung besitzen, genauestens analysiert werden. Das offensichtlich existierende Einsparpotential an Wärmeenergie soll in der Fläche des norddeutschen Raums in Dorf- und Stadtkirchen nach Abbildung 1 aufgespürt werden. Es werden raumklimatische Jahresmessungen und Energieverbräuche in den Kirchen zwischen Nordsee- und Mittelgebirgsklima ausgewertet sowie CO₂-Bilanzen erstellt. Eine Nutzerbefragung wird durchgeführt. Es sollen diejenigen Lösungen gefunden werden, die sich auf ausgewählte Kategorien typischer Kirchbauten übertragen lassen.

Im Ergebnis der ersten Projektphase werden zehn Kirchen ausgewählt, die ihre Bereitschaft zu einer Pilotumsetzung vorab verbindlich erklärt haben. Die zehn Kirchen für die sich anschließende Projektphase 2 müssen festzulegenden Kriterien entsprechen, die sich aus den Gruppen der vorher untersuchten Beispiele ableiten lassen. Aus den untersuchten Varianten werden für die Sanierung der technischen Ausrüstungen Konzepte für investive Energieeffizienzmaßnahmen einschließlich der Wärmeerzeugung mit erneuerbaren Energien erarbeitet.

Bisher wurden an Einzelbeispielen Handlungsweisen abgeleitet. Das genügt nicht mehr den Anforderungen. Die Kirchbauten sollen nach unterschiedlicher Kubatur, typischen Merkmalen, charakteristischer technischer Ausstattung und besonderen Nutzungsbedingungen kategorisiert und Typisierungen daraus abgeleitet werden. Es werden aus neu zu ermittelnden umfangreichen Messdaten von 30 Kirchenbauten und den Erfahrungen aus den Kirchgemeinden diejenigen Kirchbauten gefunden, die sich in ein allgemeingültiges Raster einordnen lassen und für die die gewonnenen Erkenntnisse verallgemeinert den Kategorien zugeordnet werden können. Im Mittelpunkt der Analyse stehen dabei

- die bestmöglichen Kombinationen von Grund- und Bedarfsheizung in Kombination mit besonders geeigneten Typen körpernaher Heizungen und Lüftungssystemen,
- die Koordination der Fahrweise der Anlagen und Weiterentwicklung von Steuerstrategien,
- die Zufriedenheit der Nutzer mit der örtlichen Behaglichkeit und
- eine geringe installierte Leistung bei minimalem Energieverbrauch.

Die Herausforderung besteht darin, dass sich diesen vier Zielstellungen nur im Kompromiss entsprochen werden kann. Kirchen mit größeren abweichenden Besonderheiten müssen weiterhin individuell behandelt werden. Empfehlungen zur energiesparenden und nachhaltigen Bewirtschaftung von Kirchen und Kapellen werden erarbeitet. Diese Vorgehensweise ist aufgrund ihrer Bandbreite neu und stellt den innovativen Kern des Förderprojektes dar.



Landeskirche	Kirche	Ort
LKH	Stadtkirche	Wunstorf
LKH	Kirche	Petkum
LKH	St. Aegidien	Osterode
LKH	Ludgerikirche	Norden
LKH	St. Petri	Bad Bodent.
LKH	Kirche	Harsefeld
LKH	St. Andreas	Springe
LKH	St. Nikolai	Borstel
EKBO	Kirche Stölpch.	Berlin-Wanns.
EKBO	Golgathakirche	Berlin-Mitte
EKBO	Dorfkirche	Geltow
EKBO	Apostel-Paulus	Berlin-Hdf.
EKBO	St. Marienkirche	Berlin
EKBO	Passionskirche	Berlin
LKBS	Trinitatiskirche	Braunlage

Landeskirche	Kirche	Ort
LKBS	St. Trinitatis	Klein Mahner
NordK	St. Salvator	Pellworm
NordK	St. Gallus	Neugalmsbüll
NordK	Kirche	Hamburg-Nien.
NordK	Vicelin-Kirche	Ratekau
EKvW	Bartholomäusk.	Rödinghausen
EKvW	Pauluskirche	Bielefeld
EKvW	Johanniskirche	Bielefeld
EKvW	Christuskirche	Erwitte
KO	Vitus-Kirche	Schweiburg
EKMD	Bachkirche	Arnstadt
EKMD	Herderkirche	Weimar
EKMD	Lutherkirche	Rudolstadt
LKSL	Christuskirche	Bad Eilsen
LLK	Kirche	Sylbach

Abbildung 1: Auswahl von 30 Kirchen im norddeutschen Raum

- | | | | |
|-----------|---|------|---|
| Abk.: LKH | Ev.-luth. Landeskirche Hannovers | KO | Ev.-luth. Kirche in Oldenburg |
| EKBO | Ev. Kirche Berlin-Brandenburg-schlesische Oberlausitz | EKMD | Ev. Kirche in Mitteldeutschland |
| LKBS | Ev.-luth. Landeskirche in Braunschweig | LKSL | Ev.-luth. Landeskirche Schaumburg-Lippe |
| NordK | Ev.-luth. Kirche in Norddeutschland | LLK | Lippische Landeskirche |
| EKvW | Ev. Kirche von Westfalen | | |

Aus den gewonnenen Daten der nach Typen ausgewählten Kirchenbauten werden die Auswirkungen von Außenklima, Nutzung, Funktionsweise und Fahrweise der technischen Anlagen auf das Raumklima, die wertvollen Ausstattungen und Orgeln analysiert. Die Wechselbeziehungen zwischen den Messdaten werden durch visuelle Bewertung, algorithmisierte Analysen und modellgestützte Verfahren sichtbar gemacht. Das betrifft u.a. die Auswirkungen von zeitlichen oder örtlichen Gradienten, Extremwerten und Differenzen von gemessenen Werten, wie Raumlufttemperaturen, relative Raumluftfeuchten, Oberflächen- und Taupunkttemperaturen, CO₂-Konzentrationen, Luftgeschwindigkeiten und Strömungsprofile zwischen Gebäudezonen und zum Orgelwerk. Dazu sollen statistische Methoden der Zeitreihenanalyse und der Validierung durch Gebäudesimulation als wissenschaftlich-technische Strategien eingesetzt werden.

Parallel dazu werden energiesparende Kombinationen von Heizsystemen in der Praxis auf ihre Nutzerfreundlichkeit für Kirchenbesucher untersucht, um Empfehlungen für weitere energieeffiziente Maßnahmen in Kirchen abzuleiten. Mittels eines sozialwissenschaftlichen Monitorings sollen die Kirchenbesucher zu ihrer Akzeptanz der verschiedenen im Einsatz befindlichen körpernahen Heizsysteme in Kombination mit einer Grundtemperierung befragt werden.

Die sozialwissenschaftlichen Untersuchungen der Projektphase 1 sollen in drei Stufen mit qualitativen und quantitativen Methoden durchgeführt werden. Die projektbegleitende Repräsentativbefragung soll herausarbeiten, welches Verständnis für Nachhaltigkeit von den Kirchenbesuchern zu erwarten ist. Wie stark ausgeprägt ist der Energiespargedanke, würde eine Einbuße des Komforts akzeptiert werden und wenn ja, bis zu welchem Maße? Aufgrund der ökologischen Verantwortung der Kirchengemeinden sind dies wichtige Parameter, die erfasst werden sollen, um Einsparungen umzusetzen ohne auf Gottesdienste und Veranstaltungen im Winterhalbjahr zu verzichten. Für zukünftige Planungen der technischen Ausstattung, deren Fahrweise und der Wechselwirkung des Raumklimas mit der Umfassungskonstruktion ist die Wahrnehmung von Temperatur, Feuchte, Raumluftqualität und Zugerscheinungen in Abhängigkeit der Besucherzahl, Dauer der Veranstaltung, Bekleidung und Außenklima von großem Interesse.

Die Kirchengemeinden sind autark und daher selbständig in Ihren Entscheidungen. Die Gebäude sind Eigentum der jeweiligen Kirchengemeinde. Deshalb liegt ein besonderes Augenmerk in der konstruktiven Zusammenarbeit mit den Kirchengemeinden. Nur die gezielte Anregung zur ehrenamtlichen Mitarbeit der Kirchengemeinden wird es ermöglichen, die notwendigen Daten und Zugänge für die Durchführung der Studie zu erhalten. Die Kommunikation mit den Kirchengemeinden herzustellen und zu pflegen, ist für beide Projektphasen ein wichtiges Arbeitspaket.

Während der Laufzeit der Projektphase 1 werden Kriterien zur Bewertung der Ergebnisse formuliert. Die Kriterien sollen die Erfüllung der Zielstellungen beurteilen, ob eine Projektphase 2 (Umsetzungsphase) angeschlossen werden kann.

3.2 Transformation: Projektphase 2

In einer zweiten Projektphase mit 3 Jahren sollten die ambitionierten Lösungsansätze aus den evaluierten Heizungs- und Lüftungskombinationen auf die zehn Kirchen im norddeutschen Raum übertragen, angepasst und weiterentwickelt werden. Die am Projekt beteiligten Kooperationspartner werden für die Projektsteuerung tätig und begleiten die örtlichen Planungsbüros, denen die Detailplanung der technischen Komponenten Heizung, Lüftung und Regelung übertragen wird. Es werden die in der Projektphase 1 gewonnenen Erkenntnisse als Grundlage für die neue Planung genutzt. Die Einschaltung örtlicher Planungsbüros ist erforderlich, um eine gute Bauaufsicht während der Ausführung zu gewährleisten. Ferner findet damit schon zu einem frühen Zeitpunkt ein Wissenstransfer statt, der bereits eine Form der Transformation darstellt. Die Systeme sollen später deutschland- und europaweit übertragen werden. Nach Abschluss der Planung und der Investition in die neue energie- und CO₂-sparende Technik sollen die Projektziele durch Messungen von Raumklima und Energieverbräuchen sowie durch Nutzerbefragungen evaluiert werden.

Im Vorfeld werden diejenigen Kirchen identifiziert, für die eine Erneuerung der Heizungs- und ggf. Lüftungssysteme seitens der Kirchengemeinde geplant ist und die verbindlich ihre Bereitschaft signalisieren, an einem innovativen Projekt mitzuwirken. Ferner wird sichergestellt, dass diese Kirchen vorher festgelegten Kriterien entsprechen. Diese Kriterien werden sich aus den Gruppen der vorher untersuchten Beispiele ableiten lassen. Während der Laufzeit der Projektphase 1 wird dann eine nochmalige Festlegung auf die fraglichen Kirchen stattfinden, die mit dem Projektträger abgestimmt wird. Es werden die zehn Objekte angenommen, in die eine neue Grundheizung im Idealfall mit erneuerbaren Energieträgern und eine lokale Heizungstechnik konsequent durch Umsetzung und Anpassung der Forschungsergebnisse eingebaut werden.

Die zehn Kirchen werden sich zu einem gewissen Teil im Bereich der Landeskirche Hannovers befinden, weil diese ein Förderprogramm zur Heizungssanierung aufgelegt hat. Diese Fördergelder können mit zur Finanzierung der Baumaßnahmen herangezogen werden. Eine Beteiligung der anderen Landeskirchen ist jedoch gewünscht und möglich, wenn auch diese die Kofinanzierung sicherstellen können.

In der frühen Planungsphase sind die Ansätze für

- die technische Lösung,
- den Energieverbrauch sowie die jährlichen Energiekosten und
- den Behaglichkeitskomfort

zu bewerten. Es wird angenommen, dass auch

- Veränderungen für die Nutzung,
- bauliche Umgestaltungen,
- Modifikationen der geplanten technischen Anlagen und
- Verbesserungen der Fahrweise der technischen Anlagen

vorgeschlagen werden. Weiterentwicklungen von Steuerstrategien gründen sich auf bauklimatische Simulationsmodelle und Untersuchungen zur Raumluftrömung.

Danach ist eine Festlegung auf ein projektbezogenes Konzept zu erreichen, welches in Folge umzusetzen ist. Die unterschiedlichen Leistungsphasen sind intensiv zu begleiten. Dies gilt für die bauliche Umsetzung, die Abnahmen und die Qualitätssicherung. Vor allem muss auch die Akzeptanz der Kirchennutzer evaluiert werden. Eine technisch gute Lösung ist nur dann nachhaltig, wenn die Nutzer zufrieden und von der Lösung überzeugt sind.

Nach erfolgter Umsetzung ist die Dokumentation der einzelnen Projekte in der Form von Steckbriefen ein ganz wesentlicher Baustein in der Projektphase 2 des Gesamtprojektes. Denn hier wird die Grundlage für die Zusammenstellung aller Bauprojekte gelegt. Diese Zusammenstellung der umgesetzten Maßnahmen stellt die Grundlage für die weitere Transformation der Projektergebnisse dar.

4 Erfahrungen zur Beheizung von Kirchen und aus dem Planungsprozess

Die Raumlufttemperatur und die relative Feuchte werden im Vergleich zum unbeheizten oder teilbeheizten Bauwerk in kürzeren Zeithorizonten wesentlich größeren und schnelleren Schwankungen unterworfen sein. Damit sind auch die maximalen und minimalen Feuchtwerte im Jahresverlauf wesentlich größer als allgemein zulässig. Raumklimabedingte Langzeitschäden an der Innenausstattung, Kunstwerken und an der Orgel wären auf lange Sicht vorprogrammiert. Die relative Luftfeuchte wird als häufigste Schadensursache für Ausstattung und Raumschale angesehen. Nicht die Temperaturerhöhung, sondern die Veränderung der Raumluftfeuchte und ihr häufiger Wechsel haben den größten Einfluss auf Schaden oder Bewahrung. Ausführliche Überblicke dazu findet man u.a. in [Arendt 1992-2000], [Petzold 1997] sowie in den Leitfäden für die Beheizung von Andachtsstätten [DIN EN 15759-1 und 2] und zur Erhaltung des kulturellen Erbes in [DIN EN 15757].

Es gibt keine eindeutigen Regeln für die technische Ausrüstung von Kirchenbauten. Die Vielfalt reicht von einfachen körpernahen Heizungen in kleineren Dorfkirchen bis zu raumluft-technischen Anlagen, wie z. B. Vollklimaanlagen in der Dresdner Frauenkirche. Zwischen den verschiedenen Varianten der Grundheizung, wie Luftheizung, Dampfheizung, Warmwasser-Heizung, Elektroheizung oder Gasstrahlern, werden körpernahe Heizsysteme, wie Fußbodenheizung, Bankheizkörper, Bankstrahler, Sitzkissenheizung, Fußheizstrahler oder Rückenlehnenplatten einzeln oder in zweckmäßigen Kombinationen eingesetzt. Theoretisch gibt es maximal 168 Heizungskombinationen. Die aus den Erfahrungen am häufigsten auftretenden 40 Varianten können konkreten Kirchen zugeordnet und im Rahmen des Projektes weiter untersucht werden. Somit ergibt sich eine Systemmatrix für mögliche Heizungskombinationen nach Tabelle 1 [Baumann 2016], die als Grundlage für die weitere Arbeit dargestellt ist. Die dort aufgeführten Heizungskombinationen sind Stand der Technik.

Ohne ausreichende Messdaten ist es kaum möglich, fachlich fundiert und seriös begründet, die wertvolle Ausstattung zu schützen und Energie einzusparen. Meist mangelt es gerade in kleineren Kirchen an einer zweckmäßigen Messtechnik für Temperaturen, Oberflächentemperaturen und Luftfeuchten. Die Anschaffung solcher Sensorsysteme ist heute meist erschwinglich und führt bei richtiger Anwendung auch für kleinere Gemeinden zu ausreichend Informationen über den Klimazustand des Gebäudes. Für die Echtzeiterfassung und Verarbeitung von Gebäudeklima- und Zustandsdaten werden auch funkbasierte Sensornetzwerke betrieben. Dies ist dort angebracht, wo man aufgrund der Gebäudegeometrie und der Baukonstruktion deutlich verteilte Raumklimata vorfindet.

Die Mess-, Steuer- und Regelungstechnik der Gebäudeautomation beschränkt sich meist auf örtliche Regelungen, handbetätigte Stufenschaltungen, temperatur- und zeitabhängige Programme, wobei es häufig an ausreichend Sensorik mangelt. Zeitgemäße Prinzipien des Energiemanagements, der Heizungs- und Klimaoptimierung sind bei den beschriebenen Heizungssystemen nicht üblich. Die bisher zum Einsatz gekommenen Regelungen bleiben weit hinter den technischen Möglichkeiten zurück. Hygrostatische Regelungen werden bei geringsten Schadensbildern erfolgreich eingesetzt, wenn eine Befeuchtung nicht vorhanden ist oder schädigend sein könnte. Ein für kleinere Kirchen interessantes unkonventionelles Verfahren ist die natürliche Klimatisierung des Kirchraums durch Steuerung der freien Lüftung. In besonderen Situationen wird der Außenluftzustand zur Aufrechterhaltung des Raumluftzustandes durch Ansteuerung der Fenster oder dezentraler Lüftungssysteme gezielt ausgenutzt, z.B. Dresdner Frauenkirche [Klotzsche 2009], [Sittner 2010].

Für eine Vielzahl von Kirchen liegen umfangreiche Statistiken vor, die ein Energieeinsparpotenzial von 33 % je Kirche realistisch erreichbar werden lassen [Nehring 2011], vorausgesetzt, Bauwerk, Technik und Nutzerverhalten werden genauestens analysiert. Der Energiebedarf wurde häufig nach [Krischer/Kast 1957] berechnet und die technischen Anlagen entsprechend ausgelegt. Das Einsparpotential kann nun durch verbesserte Berechnungsmethoden nach [Baumann 1998] für die zu installierende Leistung und durch eine umsichtige Temperaturabsenkung mobilisiert werden. Bei kurzzeitig wirkendem Aufheizen werden erhebliche Heizleistungen eingebracht. Da sich die Wärmeenergiekosten je nach Tarif aus Leistungs- und Arbeitspreis (Wärmeverbrauch) zusammensetzen, ist ein sinnvoller Kompromiss zwischen Grund- und Nutzungstemperatur anzustreben.

Körpernahe Heizung	Grundheizung	ohne	Fußbodenheizung komplett	Fußbodenheizung nur unter Bankblöcken	Bankheizkörper an Unterseite Sitzbank als Flach-Heizkörper	Bankheizkörper über Fußboden als Rohr- Heizkörper	Bankheizkörper über Fußboden als Konvektor	Bankheizkörper über Fußboden als Rohr- Heizkörper	Bankstrahler an Unterseite Sitzbank (Standard)	Bankstrahler an Unterseite Sitzbank (Niedertemperatur)	Sitzkissenheizung	Fußheizplatten	Rückenlehnen- platten Vorderseite	Rückenlehnen- platten Rückseite
		Index	Warmwasser	Warmwasser	Warmwasser	Warmwasser	Warmwasser	Warmwasser	Dampf	elektrisch	elektrisch	elektrisch	elektrisch	elektrisch
			...-FK	...-FB	...-BF	...-BR	...-BK	...-DR	...-BSS	...-BSN	...-SK	...-FP	...-RV	...-RR
ohne														
Luftheizung	Hypokaustensystem im Doppelboden	LH-...	LH-FK	LH-FB	LH-BF	LH-BR	LH-BK		LH-BSS	LH-BSN	LH-SK	LH-FP	LH-RV	LH-RR
Luftheizung	zentraler Warmlüfterzeuger	LZ-...	LZ-FK	LZ-FB	LZ-BF	LZ-BR	LZ-BK		LZ-BSS	LZ-BSN	LZ-SK	LZ-FP	LZ-RV	LZ-RR
Luftheizung	dezentral mit Warmwasser- Wärmestationen	LDW-...	LD-FK	LD-FB	LD-BF	LD-BR	LD-BK		LD-BSS	LD-BSN	LD-SK	LD-FP	LD-RV	LD-RR
Luftheizung	dezentral mit Elektro- Wärmestationen	LDE-...							LDE-BSS	LDE-BSN	LDE-SK	LDE-FP	LDE-RV	LDE-RR
Luftheizung	dezentral mit Elektro- Wärmestationen und E-Heizkörpern	LHE-...							LHE-BSS	LHE-BSN	LHE-SK	LHE-FP	LHE-RV	LHE-RR
Dampfheizung	mit Heizkörpern über dem Fußboden	DA-..						DA-DR	DA-BSS	DA-BSN	DA-SK	DA-FP	DA-RV	DA-RR
Warmwasser-Heizung	mit Heizkörpern über dem Fußboden	WÜ-..	WÜ-FK	WÜ-FB	WÜ-BF	WÜ-BR	WÜ-BK		WÜ-BSS	WÜ-BSN	WÜ-SK	WÜ-FP	WÜ-RV	WÜ-RR
Warmwasser-Heizung	mit Heizkörpern im Fußboden	WU-..	WU-FK	WU-FB	WU-BF	WU-BR	WU-BK		WU-BSS	WU-BSN	WU-SK	WU-FP	WU-RV	WU-RR
Warmwasser-Heizung	als Deckenstrahlungs- heizung	WD-..	WD-FK	WD-FB	WD-BF	WD-BR	WD-BK		WD-BSS	WD-BSN	WD-SK	WD-FP	WD-RV	WD-RR
Warmwasser-Heizung	als Wandheizung	WH-..	WH-FK	WH-FB	WH-BF	WH-BR	WH-BK		WH-BSS	WH-BSN	WH-SK	WH-FP	WH-RV	WH-RR
Elektroheizung	mit Heizkörpern über dem Fußboden	EÜ-..							EÜ-BSS	EÜ-BSN	EÜ-SK	EÜ-FP	EÜ-RV	EÜ-RR
Elektroheizung	mit Heizkörpern im Fußboden	EU-..							EU-BSS	EU-BSN	EU-SK	EU-FP	EU-RV	EU-RR
Gasstrahler	als Hellstrahler	GH-..			GH-BF	GH-BR	GH-BK		GH-BSS	GH-BSN	GH-SK	GH-FP	GH-RV	GH-RR
Gasstrahler	als Dunkelstrahler	GD-..			GD-BF	GD-BR	GD-BK		GD-BSS	GD-BSN	GD-SK	GD-FP	GD-RV	GD-RR

Tabelle 1: Systemmatrix für mögliche Heizungskombinationen [Baumann 2016]

5 Evaluation von 30 Kirchen in der Projektphase 1

5.1 Bestandserfassung und Auswahl

Mit Fragenkatalogen wurden von den Kirchengemeinden Unterlagen zur jeweiligen Kirche zusammengefasst. Hierzu gehören

- Bestandszeichnungen,
- Baubeschreibungen,
- Energieabrechnungen,
- Angaben zur Nutzung, insbesondere ganzjährige Nutzung, sowie
- Angaben zu einer körpernahen Heizung als Ergänzung zur allgemeinen Heizung.

Bei der Auswahl der Kirchen wurden

- Dorf- als auch Stadtkirchen,
- Kirchen an der Küste und im Binnenland, d.h. die regionale Lage und die Höhenlage,
- kleine und große Kirchen,
- baulich einfache und baulich komplizierte Kirchen,
- eine flächenmäßig ausgewogene Verteilung und
- die Beteiligung aller teilnehmenden Landeskirchen

berücksichtigt.

Für die technische Gebäudeausrüstung sollten möglichst viele verschiedene Lösungsvarianten betrachtet werden, wie

- Energie- bzw. Wärmeträger,
- Art der Wärmeerzeuger,
- Art und Kombination der Wärmeübertrager,
- Art der Regelung.

Nach der Festlegung von Kriterien wurden aus 42 Bewerbungen 30 Kirchen ausgewählt. Die optische Bestandsaufnahme der baulichen Randbedingungen und der raumklimatischen Zustände erfolgten auch im Hinblick auf mögliche Bauschäden, die auf die technischen Anlagen zurückgeführt werden können. Im Verlauf der Projektphase 1 wurden für jede Kirche Maßnahmen entwickelt, die eine nachträgliche Optimierung der Anlagentechnik ermöglichen. Die wichtigsten Erkenntnisse dieser Analyse werden in den Steckbriefen im Anhang 1 für jede Kirche zusammengefasst. Eine Übersicht zur technischen Gebäudeausrüstung der ausgewählten 30 Kirchen gibt Tabelle 2.

Nr.	Kirche	Ort	Energieträger				Grundheizung			Körpernahe Heizung			
			Gas	Strom	Fernwärme	erneuerbar	WW Luft	WW	sonst	Bankheizung	FBH	Sitzkissen	sonst
1	Stadtkirche	Wunstorf	x	x		aFL			Gas AW				DS
2	Kirche	Petkum	x	x		aFL	x			ELT			
3	St. Aegidien	Osterode	x	x			x					x	
4	Ludgerikirche	Norden	x				x			WW			
5	St. Petri	Bad Bodenteich	x	x				x		ELT			
7	Kirche	Harsefeld	x	x		WP,zZL	x				x		
10	St. Andreas	Springe	x				x					x	
11	St. Nikolai	Borstel	x	x			x					x	
12	Kirche Stölpch.	Berlin-Wannsee	x					x		WW			
15	Golgathakirche	Berlin-Mitte	x					x		WW			
16	Dorfkirche	Geltow	x				x			WW			
17	Apostel-Paulus	Berlin-Hermsdorf	x					x		WW			
19	St. Marienkirche	Berlin			x		x	x	OFK	WW			
20	Passionskirche	Berlin	x			mL	x				x		
21	Trinitatiskirche	Braunlage	x			Pellets		x		WW			
22	St. Trinitatis	Klein Mahner		x					ELT NS			x	
25	St. Salvator	Pellworm		x								x	
26	St. Gallus	Neugalmsbüll	x			zZL,dAL		x		WW			
27	Kirche	Hamburg-Nienst.	x					x		WW			
28	Vicelin-Kirche	Ratekau		x		Geo		x			x	x	
29	Bartholomäusk.	Rödinghausen	x				x				x		
30	Pauluskirche	Bielefeld		x	x		x					x	
31	Johanniskirche	Bielefeld			x			x			x		
33	Christuskirche	Erwitte	x			LA,aFL		x			x		
34	Vitus-Kirche	Schweiburg	x					x		WW			
36	Bachkirche	Arnstadt	x				(x)	x		WW			
39	Herderkirche	Weimar	x					x		WW	x		
40	Lutherkirche	Rudolstadt	x					x		WW			
41	Christuskirche	Bad Eilsen	x	x				x					WS
42	Kirche	Sylbach	x			Solarth.		x			x		

Tabelle 2: Übersicht zur technischen Gebäudeausrüstung der ausgewählten 30 Kirchen

Abk.: WW Luft Wärmestation WS Wandstrahler
 WW WW-Heizung (statische) aFL automatische Fensterlüftung
 Gas AW Außenwandheizer zZL zentrale Zuluft, Nachtlüftung
 WP Wärmepumpe mL maschinelle Lüftung
 OFK Oberflurkonvektoren zZL,dAL zentrale Zuluft, dezentrale Abluft
 ELT NS Nachspeicherofen LA Lüftungsampel
 DS Deckenstrahler x vorhanden

5.2 Technisches Monitoring

5.2.1 Messsystem und Verteilung der Messgrößen

Mehrere Messsysteme kamen infrage, die unter Berücksichtigung der typischen Baukörper von Kirchen, der speziellen Nutzung und der objektspezifischen technischen Anlagen, geeignet sind. Es wurden

- proprietäre Technik,
- kabelbasierte Messtechnik und
- funkbasierte Sensornetzwerke

analysiert. Das Messsystem sollte langlebig und robust sein, einen großen Speicher aufweisen und die Messwerte anzeigen. Das Auslesen der Messdaten soll von der Kirchengemeinde einfach und ohne technische Hilfsmittel möglich sein. Die Messtechnik soll ohne elektrische Anschlüsse auskommen, damit keine zusätzlichen Installationen in den Kirchen nötig sind. Für die Anordnung der Datenlogger wurde ein System entwickelt, welches eine vergleichende Messung und Auswertung in allen Kirchen ermöglicht. Dabei spielen die Prinzipien der Speicherung, der Datenübertragung, der Datenprotokolle und der Anschlussfähigkeit an externe Programme eine große Rolle, die auch unter den Bedingungen von Kirchen mit hohem Besucheraufkommen (Diebstahlsicherheit, Akzeptanz, u.a.) gut einsetzbar sind.

Für die ausgewählten Kirchen wurden entsprechende Messsysteme für

- Raumluft- und Wandoberflächentemperatur
- relative Feuchte,
- Strömungsgeschwindigkeit der Raumluft,
- CO₂-Konzentration und den
- Heizenergieverbrauch

nach Abbildung 2 eingebaut. Insgesamt ergeben sich für 30 Kirchen 264 Datenlogger mit 564 Messstellen (Variable). Zwei Beispiele von Einbausituationen werden in Abbildung 3 gezeigt.

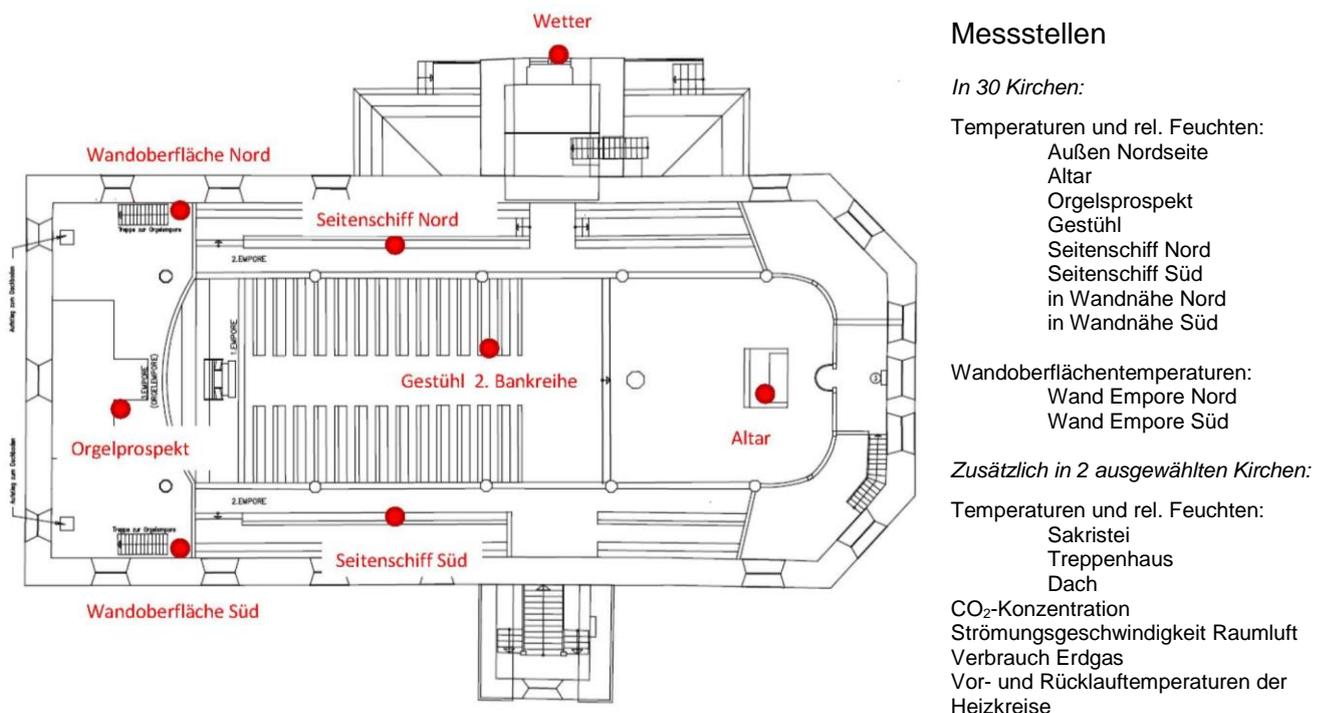


Abbildung 2: Allgemeine Anordnung der Datenlogger zur Messung des Raumklimas in 30 Kirchen



Abbildung 3: Beispiel Bachkirche Arnstadt
Datenlogger im Gestühl
2. Bankreihe rechts



Datenlogger am Orgelprospekt

5.2.2 Messungen des Raumluftzustandes und Analyse des Istzustandes

Um den gemessenen Raumluftzustand darzustellen, werden üblicherweise die Raumlufttemperatur und die relative Raumluftfeuchte über den Zeithorizont eines ganzen Jahres dargestellt. Die Messwerte von Orgel und Altar werden gemittelt. Es werden die Angaben der Kirchengemeinden zu Nutzungszeiten sowie zu den Sollwerten für Nutzung (Komforttemperatur) und Nichtnutzung (Grundtemperatur) in Beziehung gesetzt. Beschränkt man sich nun nur auf die 9 standardisierten Messpunkte für alle Kirchen mit je 2 Variablen für Temperatur und Feuchte, dann ergeben sich

- 540 Jahresdiagramme oder
- 6.480 Monatsauswertungen.

Ein Ausschnitt von 8 Kirchen der gemittelten Temperaturen von Altar und Orgel der 30 Kirchen aus einer 10 x 3 – Matrix der Diagramme zeigt Abbildung 4. Es ist leicht nachvollziehbar, dass ein qualifizierter Vergleich der Messwerte zwischen den Kirchen untereinander durch alleinige Visualisierung kaum möglich ist.

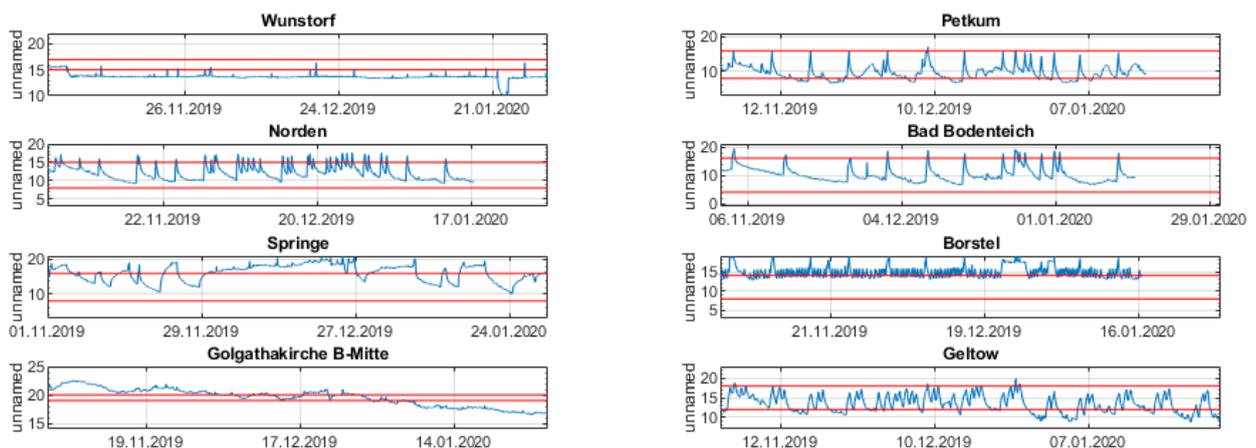


Abbildung 4: Gemittelte Temperatur von Altar und Orgel in 8 Kirchen

Temperatur	Raumlufttemperatur ϑ_R in Verbindung mit körpernaher Heizung	$\vartheta_R \approx 12^\circ\text{C}$
	Grundtemperatur bei häufigen Veranstaltungen (Gottesdienste)	$\vartheta_R \approx 12^\circ\text{C}$
	Raumlufttemperatur für Gottesdienste	$\vartheta_R \approx 16^\circ\text{C}$
	Raumlufttemperatur für Konzerte	$\vartheta_R \approx 18^\circ\text{C}$
	Gebäudesicherungstemperatur (nicht Frostschutz) verhindert das Auskühlen der Raumschale und Kondensationsschäden	$\vartheta_R \approx 8^\circ\text{C}$
	Frostschutz	$2^\circ\text{C} \leq \vartheta_R$
Relative Feuchte	Relative Feuchte φ_R der Raumluft restauratorisches Ziel	$45\% \leq \varphi_R \leq 70\%$
	Vermeidung von Taupunktunterschreitung i. Vgl. zur Wandoberflächentemperatur ϑ_{Ob}	$\vartheta_{Ob} > \vartheta_{\text{Taupunkt}} + 2\text{K}$
	relative Feuchte φ_{Ob} in der Nähe der Wandoberfläche zur Bauwerkserhaltung	$\varphi_{Ob} < 80\% (70\%)$
Dynamik	Max. Änderungsgeschwindigkeit der Temperatur	$\Delta\vartheta_R/\Delta t \approx 0,5 \text{ bis } 1\text{K/h}$
	Änderung der relativen Feuchte nach [DIN EN 15757]	Statistische Abweichung vom „gleitenden“ Monatsmittelwert möglichst klein
Behaglichkeit	Absolute Feuchte (Schwülekurve)	$x \leq 12 \text{ g/kg}$
	Luftgeschwindigkeit	$v < 0,1\text{m/s}$ für $\vartheta_R < 16^\circ\text{C}$
	CO ₂ -Konzentration	$c_{\text{CO}_2} < 1500\text{ppm} - \text{max. } 2000\text{ppm}$ (Pettenkofer-Zahl: 1000 ppm)

Tabelle 3: Zielstellungen für den Raumluftzustand u.a. nach [Rundverfügung G2/G3 2016]

Durch die große Zahl an Messgrößen und Messwerten müssen bestimmte Kenngrößen ermittelt werden, um einen anschaulichen Vergleich des Raumklimas zwischen den 30 Kirchen untereinander darzustellen. Es gibt umfangreiches Material zu Richtwerten für das Raumklima von Bauphysikern, Restauratoren und Orgelsachverständigen, u.a.. Diese Grenzwerte sind meist sehr eng bemessen und können in klimatisierten Archiven und Museen eingehalten werden. Nun ist allerdings ein Kompromiss zwischen

- der Behaglichkeit für die Gottesdienstbesucher,
- der Einsparung von Heizenergie und
- des Schutzes der wertvollen Ausstattung

zu finden. Einen solchen Kompromiss formulieren die Vorgaben der Ev.-luth. Landeskirche Hannovers in [Rundverfügung G2 2016, s. Grünwald 2016] und [Rundverfügung G3 2016, s. Lemke 2016] zu

- den Sollwerten für die Temperatur
- den Grenzwerten für die relative Feuchte

und

- zur maximalen Änderungsgeschwindigkeit der Temperatur

in Hinblick auf den Schutz der wertvollen Ausstattung, s. Tabelle 3.

Mit der Festlegung

- des oberen zulässigen Grenzwertes der relativen Feuchte $\varphi_o = 70\%$

und

- des unteren zulässigen Grenzwertes der relativen Feuchte $\varphi_u = 45\%$

entsprechend Tabelle 3 werden zwei Maße für die Verletzung der Feuchtegrenzen berechnet. Dazu wird eine in der Regelungstechnik übliche Vorgehensweise zur Bewertung der Qualität von Regelungen ausgenutzt.

Darstellung von $\varphi_R(t)$:

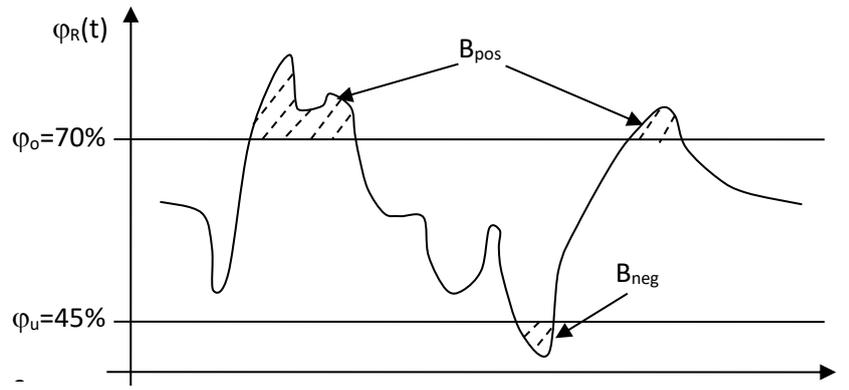


Abbildung 5: Verletzung der Feuchtegrenzen und Bewertung mit Maßen B_{pos} und B_{neg}

Maße B_{pos} und B_{neg} : Die schraffierten Flächen sind Grenzwertüberschreitungen für $\varphi_R(t)$. Die Verletzungen des oberen Grenzwertes φ_o und die des unteren Grenzwertes φ_u werden jeweils als Flächen berechnet und in den Maßen B_{pos} und B_{neg} zusammengefasst sowie auf einen geeigneten Messzeitraum normiert.

Analog geht man nun bei der Beurteilung der zulässigen Änderungsgeschwindigkeit der Raumtemperatur vor.

Die Raumlufitemperatur $\vartheta_R(t)$ soll sich

- nicht schneller als um $d\vartheta_o = +1 \text{ K/h}$ ($+1 \text{ °C/h}$) erhöhen

und der Raum soll

- nicht schneller als um $d\vartheta_u = -1 \text{ K/h}$ (-1 °C/h) auskühlen.

Bei sehr empfindlichen Kunstwerken bzw. Orgeln kann weiter auf bis zu $\pm 0,5 \text{ K/h}$ reduziert werden.

Darstellung von $\Delta\vartheta_R/\Delta t$:

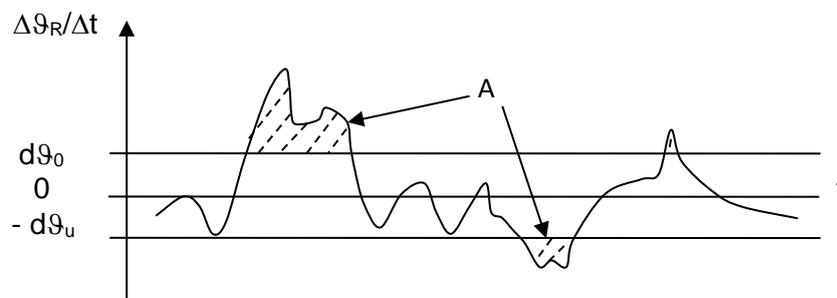


Abbildung 6: Verletzung der zulässigen Änderungsgeschwindigkeit der Raumlufitemperatur und Bewertung mit dem Maß A

Maß A: Die schraffierten Flächen sind Grenzwertüberschreitungen der Änderungsgeschwindigkeit der Raumlufftemperatur. Die positiven und negativen Grenzwertverletzungen werden als eine Fläche addiert, im Maß A zusammengefasst und auf einen geeigneten Messzeitraum normiert.

Für spezifische Untersuchungen können alle Messgrößen in verschiedenen Diagrammen zusammengefasst und verglichen werden. Zum Beispiel werden für Monatsauswertungen je 6 Diagramme pro Monat mit

- Diagramm 1: Temperatur Altar, Orgel und Gestühl
- Diagramm 2: Oberflächentemperatur Wand Nord/Süd
- Diagramm 3 bis 5: Temperatur, rel. Feuchte, abs. Feuchte, jeweils als Vergleich: innen gemittelt und außen
- Diagramm 6: Nutzungsdaten (soweit vorhanden)

dargestellt. Die nachfolgende Darstellung beschränkt sich allerdings auf eine Diagrammform, die für alle Kirchen einheitlich gewählt wurde und die in den Steckbriefen im Anhang 1 enthalten ist. Am Beispiel der Kirche St. Aegidien Osterode wird in der Abbildung 7 ein Ausschnitt von 5 Monaten gezeigt.

Diagramm 1

- Raumlufftemperatur, Altar und Orgel gemittelt
- Verletzung der zulässigen Änderungsgeschwindigkeit der Temperatur → rot markiert

Diagramm 2

- Änderungsgeschwindigkeit der Raumlufftemperatur,
- Grenzwerte als gestrichelte Linie
- Grenzwertüberschreitungen über +1 K/h und unter -1 K/h sind gut zu erkennen
- Raum kühlt deutlich schneller aus als dieser aufgeheizt wird

Diagramm 3

- relative Raumlufffeuchte, Altar und Orgel gemittelt
- Normalbereich: $50\% < \varphi(t) < 60\%$ → blau markiert
- Grenzbereich: $60\% < \varphi(t) < 70\%$ und $45\% < \varphi(t) < 50\%$ → gelb markiert
- Grenzverletzung: $70\% < \varphi(t)$ und $\varphi(t) < 45\%$ → rot markiert

Diagramm 3

- relative Raumlufffeuchte, dynamisch, nach DIN EN ISO7730
- 30-Tage-Mittelwert → rot markiert
- 1,5-fache Standardabweichung (dyn. Toleranzband) → gepunktet

Einschätzung

- Temperaturregelung funktioniert gut
- Empfohlener Auf- und Abheizgradient von ± 1 Kelvin/Stunde wird oft über- bzw. unterschritten
- relative Feuchte unproblematisch, aber sehr schnelle Änderung bei Aufheizvorgängen, nachgewiesen durch die 1,5-fache Standardabweichung vom 30-Tage-Mittelwert von $\pm 5,72\%$

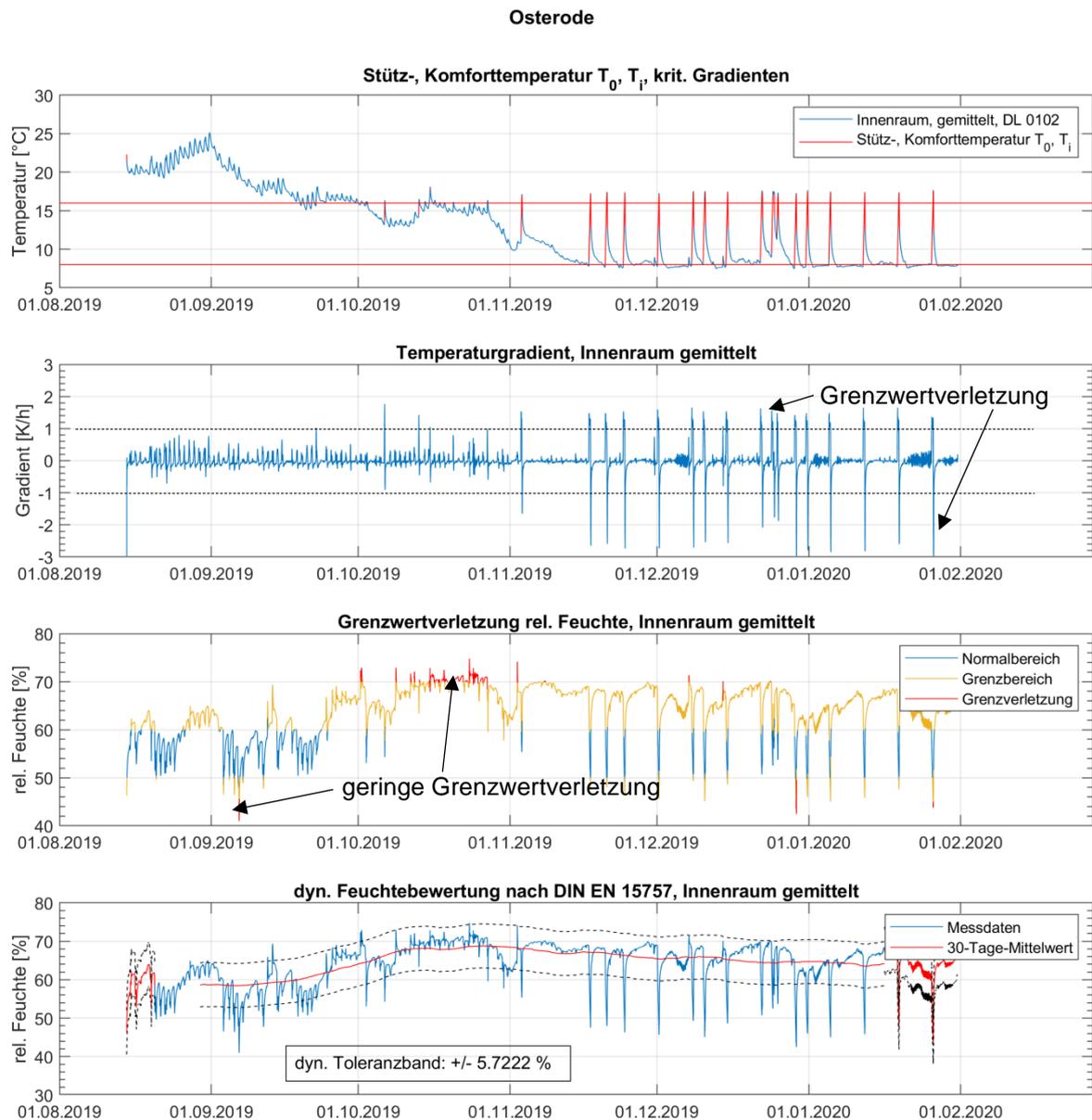


Abbildung 7: Einheitliche Darstellung von Temperatur und deren Änderungsgeschwindigkeit (Gradient), relativer Feuchte, dynamischer Feuchte nach DIN EN 15757, Grenzwertverletzungen

5.2.3 Bewertung der Raumklimas

Grenzwertverletzungen können u.a. herrühren durch:

1. falsch eingestellte Sollwerte für Nutzung und Nichtnutzung (Temperatur zu hoch und rel. Feuchte zu niedrig und umgekehrt)
2. falsche Lüftungsgewohnheiten mit schnellen Feuchtewechseln
3. Auf- und Abheizgradient zu hoch eingestellt oder Anbringungsort der Messgeräte falsch
4. intensive Nutzung mit hohen Feuchtewinnen

Die Mängel 1. – 3. lassen sich u.U. mit technischen Maßnahmen abstellen, falls die Anlagen der Gebäudetechnik und die Gebäudeautomation das hergeben. Die intensive Nutzung nach Pkt. 4. ist allerdings gewünscht. Deshalb ist es auch logisch, dass Grenzüberschreitungen gerade auch dann entstehen können, wenn die Kirche öfter genutzt, mehr Menschen die Veranstaltungen besuchen oder häufig Konzerte mit etwas höheren Solltemperaturen stattfinden. Man könnte in diesen Fällen gewisse Grenzwertverletzungen tolerieren, die sich noch im schadensfreien Rahmen befinden. Eine grafische Darstellung der Maße als Funktion der Zahl der Veranstaltungen pro Jahr Z_V oder Gesamtnutzungszeiten ist deshalb sinnvoll. Einen proportionalen Zusammenhang

$$\begin{aligned} A &= f(Z_V) \\ B_{\text{pos}} &= f(Z_V) \\ B_{\text{neg}} &= f(Z_V) \end{aligned}$$

kann man näherungsweise akzeptieren, so dass eine Geradengleichung entsteht, die die besseren Werte unterhalb von den schlechteren Werten oberhalb trennt.

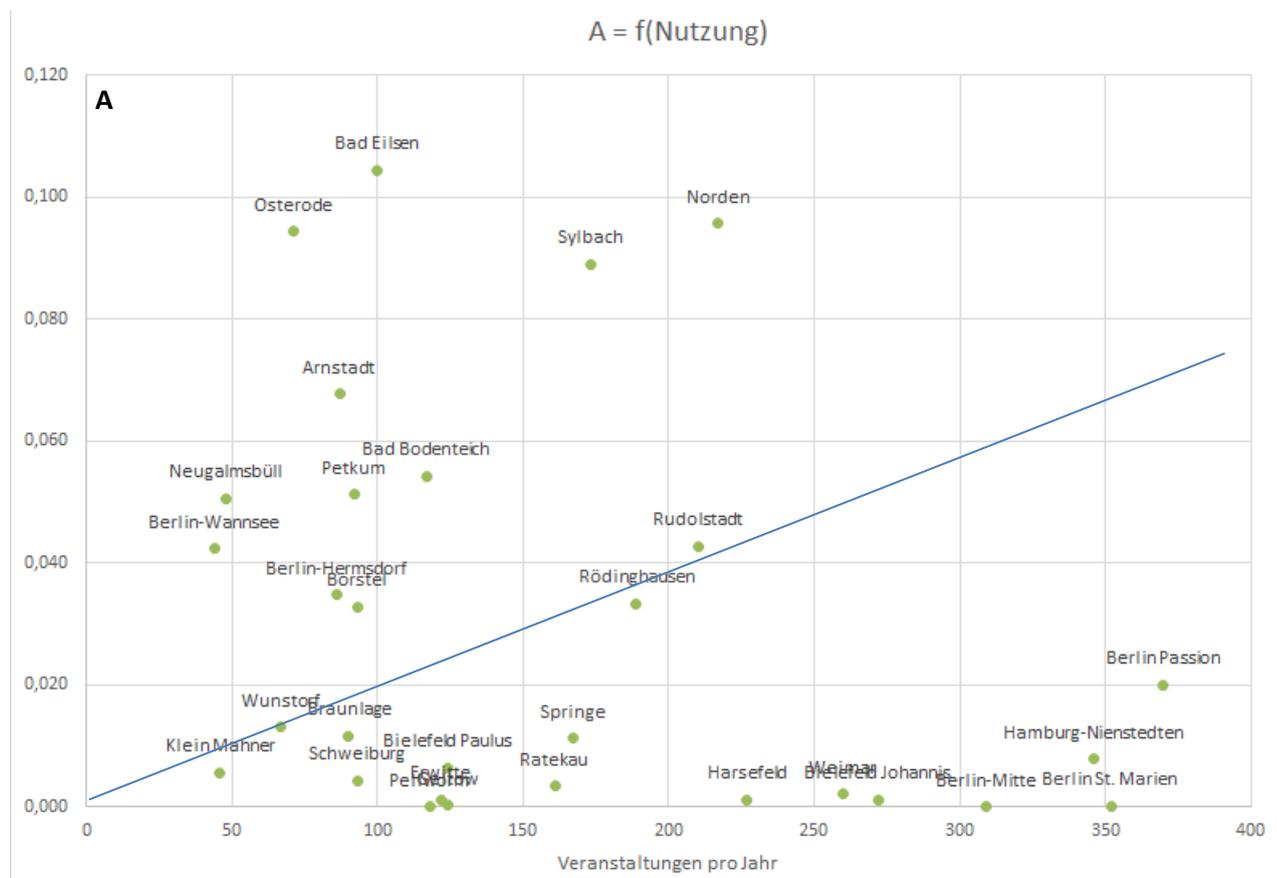


Abbildung 8: Überschreitung der zulässigen Änderungsgeschwindigkeit A für die Temperatur

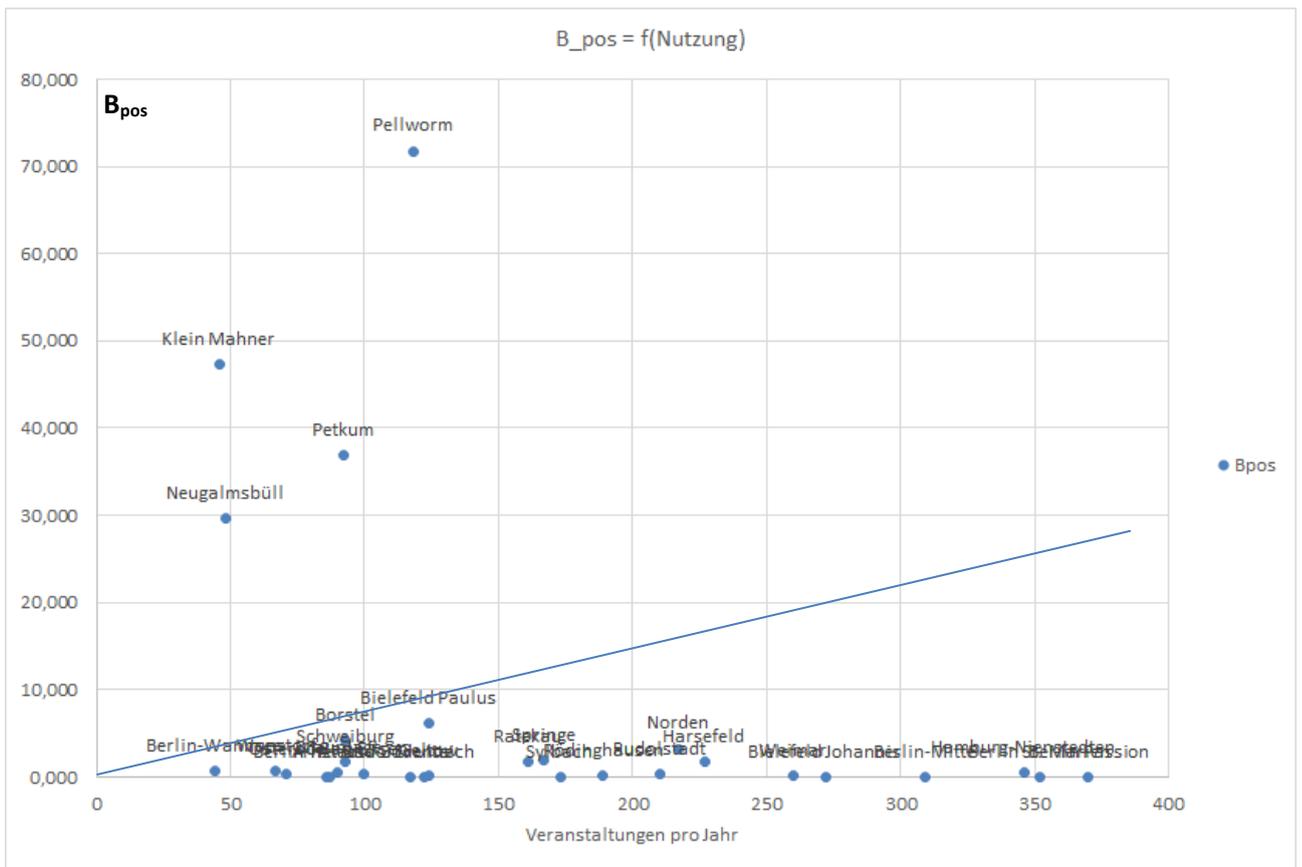


Abbildung 9: Überschreitung der zulässigen Grenzfeuchte B_{pos}

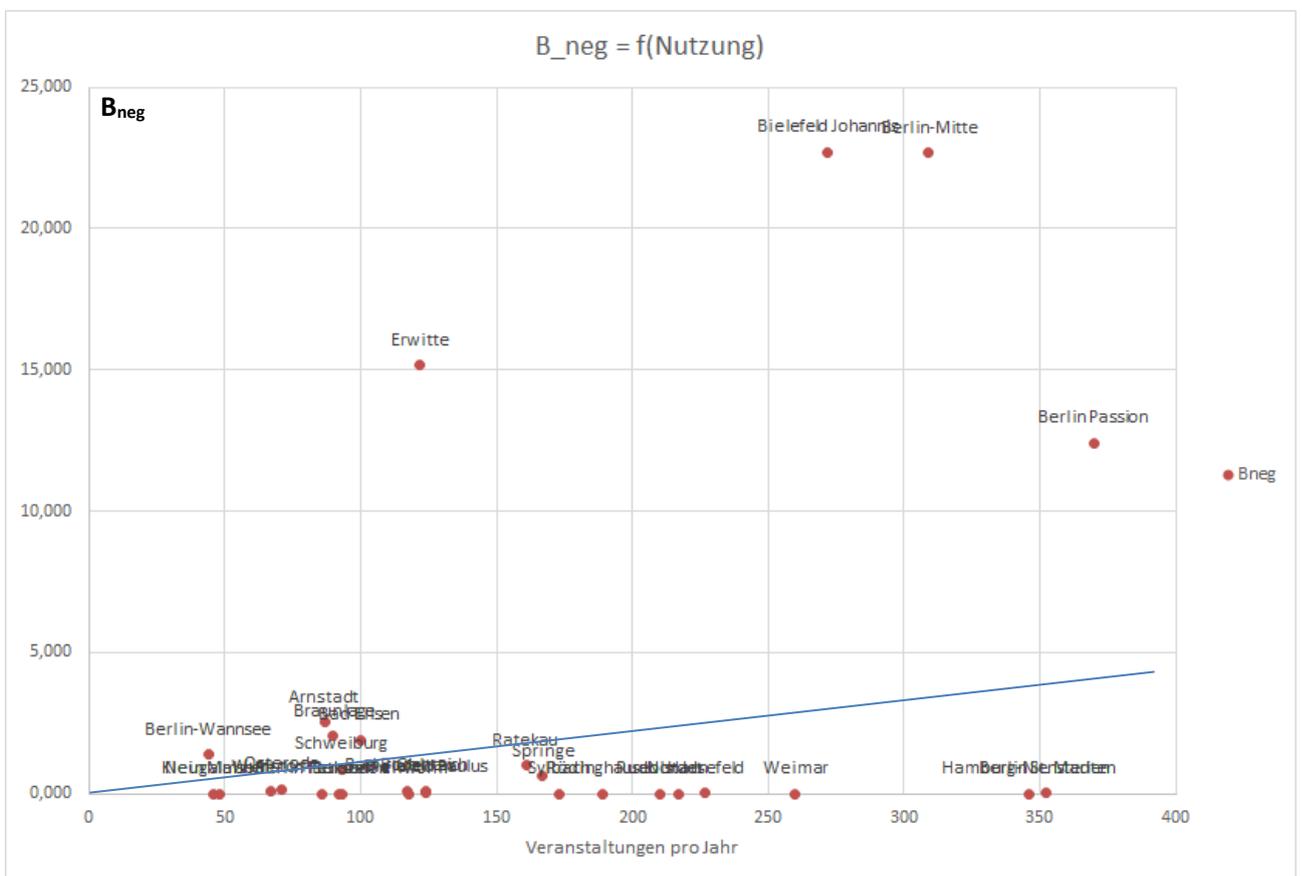


Abbildung 10: Unterschreitung der zulässigen Grenzfeuchte B_{neg}

Die tabellarische Darstellung der Maße nach Tabelle 4 dient später der Zusammenfassung mit den Kriterien des sozialwissenschaftlichen Monitorings zur Behaglichkeit und dem Maß für die energetische Qualität, s. Energieverbrauchskennwert nach Abschnitt 5.2.5.

Nr.	Ort Kirche	Volumen /m ³	B _{pos} /Z _V	B _{neg} /Z _V	A/Z _V
01	Wunstorf	2997	0,655	0,078	0,013
02	Petkum	1850	36,966	0,006	0,051
03	Osterode	3813	0,374	0,158	0,094
04	Norden	16500	3,250	0,001	0,096
05	Bad Bodenteich	7474	0,020	0,107	0,054
07	Harsefeld	10640	1,790	0,033	0,001
10	Springe	4587	1,878	0,634	0,011
11	Borstel	1989	4,158	0,000	0,033
12	Stölpchensee	1500	0,719	1,393	0,042
15	Golgathakirche B-Mitte	15349	0,000	22,689	0,000
16	Geltow	2100	0,085	0,103	0,000
17	Berlin-Hermsdorf	2790	0,062	0,000	0,035
19	Marienkirche B-Mitte	23000	0,000	0,015	0,000
20	Passionskirche B-Kreuzberg	26415	0,030	12,418	0,020
21	Braunlage	4732	0,543	2,042	0,012
22	Klein Mahner	2377	47,371	0,000	0,006
25	Pellworm	1800	71,760	0,000	0,000
26	Neugalmsbüll	3000	29,586	0,000	0,051
27	HH-Nienstedten	3136	0,464	0,002	0,008
28	Ratekau	1700	1,672	1,012	0,003
29	Rödinghausen	3200	0,171	0,000	0,033
30	Pauluskirche Bielefeld	7898	6,233	0,055	0,006
31	Johanniskirche Bielefeld	5750	0,000	22,703	0,001
33	Erwitte	991	0,000	15,150	0,001
34	Schweiburg	650	1,818	0,857	0,004
36	Arnstadt	6831	0,000	2,523	0,068
39	Weimar	8170	0,089	0,001	0,002
40	Rudolstadt	3404	0,336	0,000	0,043
41	Bad Eilsen	2200	0,261	1,892	0,104
42	Sylbach	1900	0,007	0,005	0,089

Tabelle 4: Einhaltung der Grenzwerte des Raumklimas im Zeitraum 8/2019 – 8/2020
grün: Einhaltung des Grenzwertes rot: deutliche Grenzwertverletzung

5.2.4 Verbesserungsvorschläge zur Steuerung der technischen Anlagen – Optimierung

Aus der Sicht der Bewertung des Raumklimas nach Tabelle 4 werden nun Verbesserungsmöglichkeiten der Fahrweise der technischen Anlagen untersucht und den Kirchengemeinden vorgeschlagen. Dazu im Nachfolgenden einige Besonderheiten, die beim Vergleich der Temperatur- und Feuchteverläufe auffallen. Es wurde geprüft:

Regelung/Steuerung

- Funktion Heizungsregelung erkennbar?
- Funktion Feuchtesteuerung und/oder -vorrangschaltung erkennbar?
- Funktion Lüftung vorhanden?

- Auswertung Nutzungszeiten?
- Berichte von Restauratoren prüfen.

Es werden bisher noch nicht betrachtet

- Auswertung des sozialwissenschaftlichen Monitorings
- Bewertung des Heizenergieverbrauchs

Temperaturregelung

Die Temperaturregelungen kommen in den wenigsten Fällen zur Ruhe. Meist wechseln sich steile Spitzen (Aufheizen für Nutzung) mit lang anhaltenden exponentiellen Abkühlphasen ab (z.B. Norden, Bad Bodenteich). Die unteren Sollwerte werden häufig nicht erreicht, z.B. bei Kirchen mit intensiver Nutzung. Das Erreichen und Einhalten des oberen Sollwertes kann meist nicht bewertet werden, weil nicht klar ist, ob ein Überschwingen vorliegt, Heizleistung fehlt oder der Sollwert falsch eingestellt ist (z.B. Bad Bodenteich, Rödinghausen). 1 – 2K Überschwingen ist bei schwerer Bauweise regelungstechnisch kaum zu vermeiden, das wäre kein Mangel. Andere Beispiele zeigen, dass Sollwerte gut erreicht und gehalten werden können (z.B. Geltow, Kreuzberg, Stölpchensee, Hermsdorf). Das funktioniert gut bei geringer Differenz zwischen den Sollwerten von Nutzung und Nichtnutzung (5-6K).

Relative Feuchte

Laut [DIN EN 15759-2], [DIN EN 15757] hat die rel. Feuchte gegenüber der Temperatur Vorrang, sofern wertvolle Einbauten vorhanden sind. Die Temperatur wird u.a. dazu benutzt, die Feuchte in das zulässige Fenster zu schieben. Es kann also nicht generell und einseitig die Temperatur abgesenkt werden, um Energie zu sparen. Oft findet man den Zusammenhang, dass bei zu hohen Nutzungstemperaturen die Feuchte zu niedrig ist und umgedreht. In wenigen Fällen muss man auch die Temperatur erhöhen. Gemäß [DIN EN 15757] ist die historische Variabilität für die Feuchte mit entscheidend, d.h. die Ausstattung kann sich an eine zu hohe oder zu niedrige Feuchte „gewöhnt haben“. Dazu werden von den Restauratoren die Ergebnisse einbezogen. In diesen Fällen kann eine Änderung des Temperaturniveaus umstritten sein. Hohe relative Feuchten wurden im Oktober 2019 bei freier Klimatisierung in mehreren Kirchen beobachtet, was auch durch die allgemeine Wetterlage bedingt sein kann.

Änderungsgeschwindigkeit der Raumtemperatur

In etwa bei der Hälfte aller Kirchen wird die zulässige Änderungsgeschwindigkeit der Raumlufttemperatur im Aufheiz- oder Abkühlvorgang über- oder unterschritten. Das erscheint zunächst als ein Mangel bei möglicherweise falsch eingestellter Regelung. Die Messungen von Temperatur und Feuchte erfolgen im Projekt allerdings frei im Raum u.a. am Altar und am Orgelprospekt mit Datenloggern. Die fest installierten Sensoren der Gebäudeautomation sind aus technischen, ästhetischen und sicherheitstechnischen Gründen auf einem festen Untergrund installiert, s. Abbildung 11.



Abbildung 11: Einbauzustand von Sensoren
links: auf Holzbalken, mitte: auf Stein/Putz, rechts: eingeputzt

Gegenüber einem frei in der Raumluft liegendem Sensor werden die fest installierten Messsysteme thermodynamisch an den Untergrund (Wand, Balken, usw.) angekoppelt. Damit werden die Messwerte dynamisch träger, also langsamer. Diese verzögerten Signale erhält nun die Heizungsregelung, die nun versucht, die vorgegebenen Sollwerttrampen (Steigungen, Anstiege) einzuhalten. Auch wenn der Regelung das in meisten Fällen gelingt, so können die frei gemessenen Temperaturen und Feuchte dynamisch wesentlich schneller sein. Unter diesem Gesichtspunkt ist eine Verletzung der Anstiegsgeschwindigkeit regelungstechnisch kaum zu vermeiden. Man könnte allerdings den an der Anlage eingestellten Anstieg von 1 K/h weiter reduzieren. Das erfordert aber einen zusätzlichen Aufwand für die Kirchengemeinden, mit mehreren vergleichenden Messungen die richtigen Werte zu ermitteln. Sollte aber ein restauratorisches Gutachten zeigen, dass kaum Feuchteschäden vorhanden sind, dann ist dieser Aufwand nicht zu rechtfertigen.

In Bezug auf den Raumluftzustand, d.h. auf die Bewertung von Temperatur und Feuchte, wurden in 11 Kirchen gute und sehr gute Lösungen gefunden. Ein zusätzliches Energieeinsparpotential könnte in weiteren 8 Kirchen erschlossen werden. Den Gemeinden wurden Optimierungsvorschläge zur Verbesserung der Steuerung der technischen Anlagen übermittelt und diese dabei beraten.

Zusammenfassung der Maßnahmen

- 4 Kirchen keine Möglichkeit der kurzfristigen Verbesserung
- 11 Kirchen gute Lösungen, Feuchte stimmt meist
- 8 Kirchen Temperaturgradient zu hoch – Gradient reduzieren
- 2 Kirchen Grundtemperatur zu niedrig, Feuchte zu hoch – Temperatur leicht anheben, Feuchte reduzieren
- 8 Kirchen Temperatur zu hoch, Feuchte zu niedrig – Temperatur reduzieren, Feuchte anheben
- 5 Kirchen deutlich zu niedrige Feuchte
- 4 Kirchen deutlich zu hohe Feuchte
- 10 Kirchen Erarbeitung und erfolgreiche Umsetzung von Vorschlägen zur Verbesserung der Fahrweise der technischen Anlagen während der Projektlaufzeit

5.2.5 Energieverbrauchskennwert und spezifischer Heizenergieverbrauchskennwert

Bei Kirchen hat das Nutzerverhalten einen größeren Einfluss auf den Heizenergieverbrauch als bei Gebäuden mit vielen Nutzungseinheiten, z.B. Zweck- und Wohnbauten, bei denen sich unterschiedliche Gebrauchsgewohnheiten der Bewohner statistisch herausmitteln. Ein Problem stellt auch das beheizte Volumen des Kirchenraumes im Vergleich mit der beheizten Nutzfläche dar.

Im Vorfeld wurden grundsätzliche Überlegungen zu den Energieverbrauchskennzahlen für Wärme- und Elektroenergie auf ihre Anwendbarkeit für Sakralbauten sowie Berechnungen für ausgewählte Beispiele angestellt. Für Kirchen ist keine Norm für die Wahl eines Energieverbrauchskennwertes bekannt, d.h. es gibt gewisse Freiheiten bei dessen Definition.

Für die Bewertung der energetischen Qualität der Kirchen wird der spezifische Heizenergieverbrauchskennwert HEV_{spez} anstelle des Energiebedarfs herangezogen, da die Berechnung des HEV_{spez} durch wenige Kenngrößen möglich ist. Das Auffinden von energetischen Schwachstellen dagegen erfordert eine ausführliche Analyse der Gebäudeteile, der Nutzung und der Fahrweise der Anlagentechnik. Der HEV_{spez} nach EnEV 2007 gibt den gemessenen spezifischen Energieverbrauch in Kilowattstunden pro Jahr und Fläche (Wohnfläche, Nettogrundfläche) in $kWh/(a \cdot m^2)$ eines Gebäudes wieder:

$$\text{Energiekennwert} = \frac{\text{Energie menge}}{\text{Bezugszeitraum} \cdot (\text{Bezugsfläche bzw. Bezugsvolumen etc.})}$$

Durch die Pandemie-Besonderheiten des Jahres 2020 sind die Energieverbräuche im Betrachtungszeitraum und die erfassten Nutzungszeiten für die Kirchen wenig verlässliche Größen. Als sinnvolle Bezugsgrößen erwiesen sich die Abrechnungen der letzten Jahre, die Anzahl der Nutzungen, das Raumvolumen sowie die üblichen Korrekturmaßnahmen wie Heizwert und Klimafaktor. Es werden für den jeweiligen Energieträger

- der spezifische Heizenergieverbrauchskennwert HEV_{spez} , d.h. die erfasste verbrauchte Menge des Energieträgers (kWh/a) bezogen auf das Raumvolumen und
- der relative Energieverbrauchskennwert EVK (HEV_{spez} bezogen auf die Anzahl der Veranstaltungen in der Heizperiode)

berechnet, für alle Kirchen verglichen und die Gesamtbewertung einbezogen. Für den spezifischen Heizenergieverbrauchskennwert wird

$$HEV_{spez} = \frac{(HEV \cdot H - HEV_{WW}) \cdot f + HEV_{WW}}{V}$$

definiert mit

HEV_{spez}	Heizenergieverbrauchskennwert (kWh/(m ³ ·a)), bezogen auf das beheizte Raumvolumen
HEV	erfasste verbrauchte Menge des Energieträgers (kWh/a) (Zählerstände Messzeiträume (m ³)),
H	Heizwert des Energieträgers (vom örtlichen Versorger in kWh/m ³ oder aus Tabellen),
HEV_{WW}	Energieverbrauch für Warmwasser (entfällt),
f	Klimafaktor für PLZ oder Bereich (nach IWU, unabhängig von der Innentemperatur),
V	beheiztes Volumen des Kirchenraumes (m ³)
f	außentemperturbereinigter Klimafaktor

und

$$f = \frac{\text{Gradtagszahl im langjährigen Mittel}}{\text{Gradtagszahl im aktuellen Jahr}}$$

Für den Energieverbrauchskennwert wird

$$EVK = \frac{HEV_{spez} \cdot 100}{Z_V}$$

vereinbart. Es gilt

EVK	Energieverbrauchskennwert (absoluter Kennwert, HEV_{spez} bezogen auf Anzahl der Veranstaltungen)
Z_V	Anzahl der Veranstaltungen pro Heizperiode

Für die nachfolgenden Berechnungen wird der Mittelwert der Heizenergieverbräuche der letzten 5 Jahre unter Berücksichtigung des beheizten Volumens und der Anzahl der Veranstaltungen pro Heizperiode berechnet.

Als Einflussgrößen für die absolute Größe und den Vergleich der Kennwerte werden

1. der Heizwert für Erdgas (ca. Faktor 10), Pellets (ca. Faktor 5),
2. der Klimafaktor (ca. 0,8-1,2),
3. die Bezugsfläche und das Bezugsvolumen,
4. installierte Wärmeleistung,
5. Vollbenutzungsstunden,
6. die eingestellten Temperatursollwerte für Nutzung und Nichtnutzung,
7. Auf- und Abheizgradient,
8. gemessener oder abgelesener Energieverbrauch der letzten 3 – 5 Jahre,
9. der Betrachtungszeitraum, d.h. die Anzahl von Veranstaltungen pro Heizperiode

berücksichtigt. Für den Vergleich der Heizenergieverbrauchskennwerte HEV_{spez} der Kirchen untereinander sind 1. – 4. feststehende Größen. Die Parameter nach 6. und 7. können an den Anlagen zwar korrigiert werden, stehen für den Vergleich aber ebenso fest. Die verbrauchte

Menge des Energieträgers 8. wird dann maßgeblich von der Zahl der Veranstaltungen pro Jahr Z_V oder von den Gesamtnutzungszeiten bestimmt. Bei einer großen Zahl von Veranstaltungen 9., die auch gewünscht wird, ist deshalb in der Heizperiode auch der Heizenergieverbrauch größer. Man kann deshalb in dem Vergleich der Kirchen untereinander nicht diejenigen Kirchen „bestrafen“, die mehr Veranstaltungen organisieren und deshalb höhere Verbräuche aufweisen. Deshalb ist zusätzlich

- die grafische Darstellung von HEV_{spez} als Funktion von Z_V und
- die Berechnung und der Vergleich von EVK

sinnvoll. Akzeptiert man einen näherungsweisen proportionalen Zusammenhang

$$HEV_{spez} = f(Z_V),$$

dann kann eine möglichst gute energetische Qualität durch einen geringen Energieverbrauchskennwert EVK angenommen werden, der klein wird bei

- großem Bezugsvolumen des beheizten Kirchenraumes,
- geringem Verbrauch und
- intensiver Nutzung.

Die Kennwerte sind deshalb auch keine absoluten Größen zur Beurteilung der energetischen Qualität von Kirchen, sondern relative Größen zur Beurteilung von Kirchen untereinander. Für das Gebäude sollte dazu auch der Bauzustand, die Versorgungssysteme, die Nutzungsart bekannt sein.

5.2.6 Bewertung des Energieverbrauchs

Spezifischer Heizenergieverbrauchskennwert HEV_{spez} als Funktion der Anzahl der Veranstaltungen

Es wurden verschiedene Darstellungen gewählt. Der EVK_{rel} hängt direkt von den eingestellten Temperatursollwerten, dem Volumen des Kirchenraumes, der Zahl der Veranstaltungen in der Heizperiode und natürlich von der Außentemperatur einschl. Klimafaktor ab. Der HEV_{spez} wurde deshalb über der Zahl der Veranstaltungen aufgetragen, während der EVK_{rel} in die gewichtete Bewertung mit der klimatischen Situation und dem sozialwissenschaftlichen Monitoring eingeht.

In der Abbildung 12 wird $HEV_{spez} = f(Z_V)$ dargestellt. Je geringer der Wert für HEV_{spez} ist, um so geringer ist der spezifische Energieverbrauch. Wenn Kirchen intensiver genutzt werden, dann steigt auch der spezifische Energieverbrauch näherungsweise linear. Man könnte deshalb das Diagramm mit Geradenstücken

- in einen grünen Bereich der Kirchen mit geringem Energieverbrauch,
- in einen gelben Bereich der Kirchen mit mittlerem Energieverbrauch und
- in einen roten Bereich der Kirchen mit hohem Energieverbrauch

gliedern. Dabei wird sehr anschaulich dargestellt, dass Kirchen mit sehr vielen Veranstaltungen in der Heizperiode auch einen geringen Energieverbrauch haben können, andererseits Kirchen mit wenigen Veranstaltungen im Jahr einen hohen Energieverbrauch aufweisen. Bringt man nun diese Erkenntnis mit der Klimakennwerten zusammen, dann lassen sich weitere Maßnahmen zur Verbesserung der Fahrweise der technischen Anlagen ableiten und/oder Hinweise für die zukünftige Eignung der Kombinationen von Grundheizung und körpernaher Heizung erschließen.

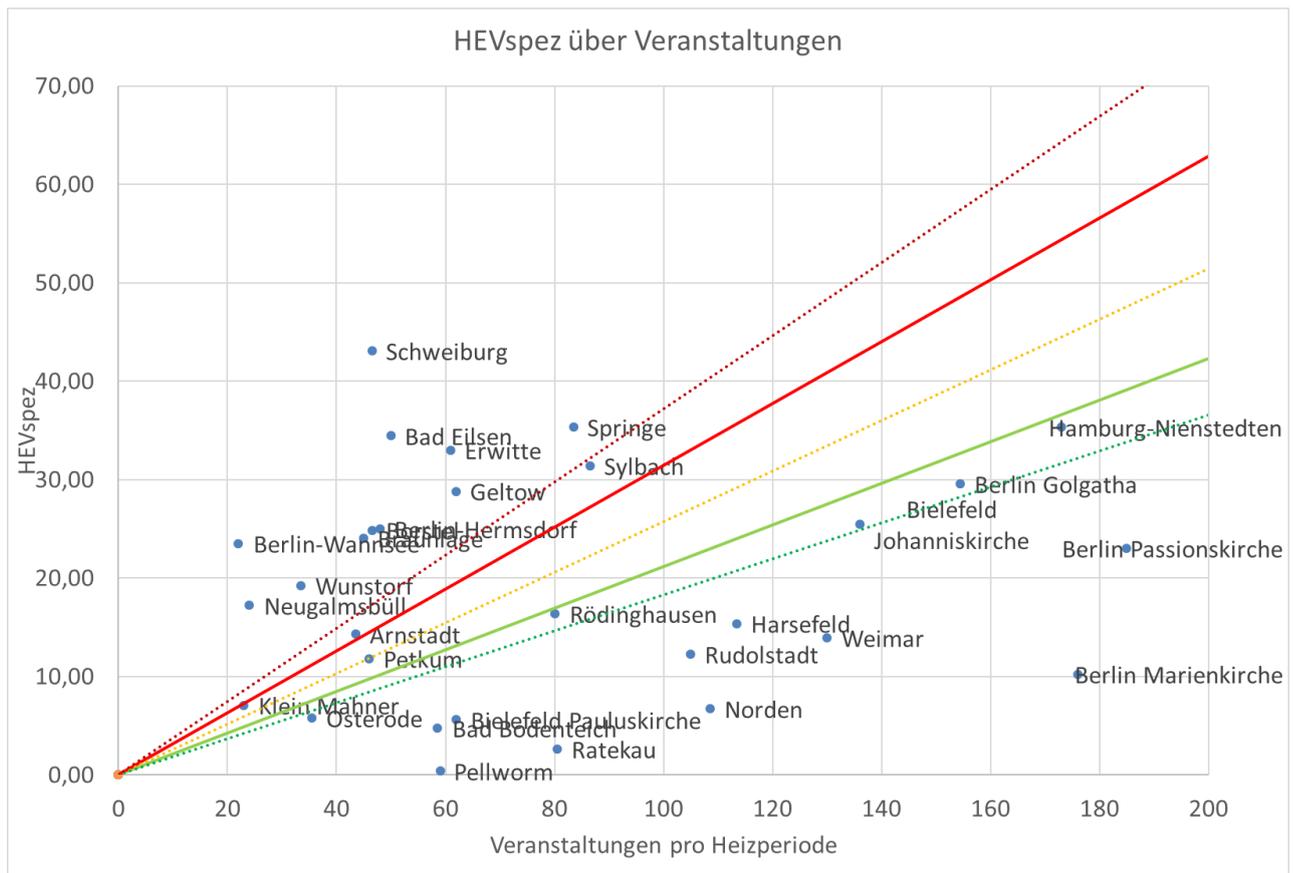


Abbildung 12: Spezifischer Heizenergieverbrauchskennwert in Abhängigkeit der Anzahl der Veranstaltungen Z_V pro Heizperiode

In der Tabelle 5 werden die Einzelwerte zusammengefasst. Legt man nun Bereiche für die energetische Qualität des Gebäudes einschließlich der Fahrweise der technischen Anlagen und der Nutzung fest, so kann man

- Kirchen mit geringem Energieverbrauch: 0-20 kWh/(m³·a·Z_V) → grün markiert
- Kirchen mit mittlerem Energieverbrauch: 20-50 kWh/(m³·a·Z_V) → gelb markiert
- Kirchen mit hohem Energieverbrauch: >50 kWh/(m³·a·Z_V) → rot markiert

grob voneinander unterscheiden. Es ergeben sich

- 13 Kirchen mit geringem relativen Verbrauch
- 8 Kirchen mit mittlerem relativen Verbrauch
- 9 Kirchen mit hohem relativen Verbrauch.

Nr.	Ort Kirche	Volumen /m ³	Z _V	HEV _{spez} / kWh/(m ³ ·a)	EVK/ kWh/(m ³ ·a·Z _V)
01	Wunstorf	2997	33	19,26	57,50
02	Petkum	1850	46	11,83	25,72
03	Osterode	3813	35	5,79	16,32
04	Norden	16500	108	6,73	6,21
05	Bad Bodenteich	7474	58	4,77	8,15
07	Harsefeld	10640	113	15,40	13,56
10	Springe	4587	83	35,35	42,34
11	Borstel	1989	46	24,88	53,50
12	Stölpchensee	1500	22	23,53	106,95
15	Golthakirche B-Mitte	15349	154	29,58	19,15
16	Geltow	2100	62	28,84	46,51
17	Berlin-Hermsdorf	2790	48	25,00	52,08
19	Marienkirche B-Mitte	23000	176	10,25	5,82
20	Passionskirche B-Kreuzberg	26415	185	23,04	12,45
21	Braunlage	4732	45	24,05	53,45
22	Klein Mahner	2377	23	7,10	30,85
25	Pellworm	1800	59	0,40	0,68
26	Neugalmsbüll	3000	24	17,23	71,80
27	HH-Nienstedten	3136	173	35,33	20,42
28	Ratekau	1700	80	2,64	3,28
29	Rödinghausen	3200	80	16,40	20,50
30	Pauluskirche Bielefeld	7898	62	5,61	9,04
31	Johanniskirche Bielefeld	5750	136	25,44	18,71
33	Erwitte	991	61	33,02	54,13
34	Schweiburg	650	46	43,09	92,67
36	Arnstadt	6831	43	14,30	32,88
39	Weimar	8170	130	13,94	10,73
40	Rudolstadt	3404	105	12,28	11,70
41	Bad Eilsen	2200	50	34,46	68,91
42	Sylbach	1900	86	31,42	36,32

Tabelle 5: Spezifischer Heizenergieverbrauchskennwert und Energieverbrauchskennwert für den Zeitraum 2016 – 2021

5.3 Sozialwissenschaftliches Monitoring

Das Berliner Institut für Sozialforschung GmbH begleitete alle Projektphasen durch ein sozialwissenschaftliches Monitoring. Es untersuchte die Raumklima-Wahrnehmung in 30 evangelisch-lutherischen Kirchen. Das Ziel der Untersuchung war es, die Behaglichkeit der Kirchenbesucherinnen und Kirchenbesucher in Sakralräumen zu analysieren und zu erfassen, wie sie die Temperierung und Luftqualität in ihrer Kirche wahrnehmen sowie ihre Einstellungen, Erfahrungen und Akzeptanz der Heiz- und Lüftungssysteme zu untersuchen.

Die subjektive Bewertung des Raumklimas, insbesondere der thermischen Behaglichkeit und Raumluftqualität, stand im Mittelpunkt der Untersuchung. Dabei wurden nicht nur soziale, technische und ökologische Faktoren berücksichtigt, sondern auch entscheidende Einflussgrößen wie die Raumlufttemperatur, die Temperatur der Wandoberflächen, die relative Luftfeuchte und die Luftbewegung im Raum. Zusätzlich spielten individuelle Merkmale der Kirchenbesucher – darunter Verweildauer, Aktivitätsgrad, Alter, körperliche Fitness und Bekleidungsgehnheiten – eine zentrale Rolle für ihre Wahrnehmung und Einstellung zum Raumklima.

5.3.1 Methodisches Vorgehen

Die Untersuchung wurde in zwei Phasen durchgeführt, um sowohl die subjektiven Erfahrungen der Kirchenbesucher als auch objektive Daten zum Raumklima zu erfassen.

Zunächst wurden zwei Fokusgruppen durchgeführt, die sich intensiv mit der Wahrnehmung der Raumtemperatur und Luftqualität in Kirchenräumen auseinandersetzten. Die erste Fokusgruppe fand am 14. August 2019 in der Golgatha-Kirche (Stadtkirche) in Berlin statt. Die zweite Fokusgruppe wurde am 17. November 2020 in der Kirche am Stölpchensee (freistehende Dorfkirche) in Berlin-Wannsee durchgeführt.

Die zweite Phase der Untersuchung bestand aus umfangreichen Fragebogenerhebungen. Ziel war es, nicht nur die subjektiven Wahrnehmungen der Kirchenbesucherinnen und -besucher zu erfassen, sondern auch ihr Wissen über den Energieverbrauch ihrer Kirche sowie grundlegende Sozialdaten, die ihre Einstellungen zum Raumklima beeinflussen könnten.

Der Fragebogen wurde auf Basis der Erkenntnisse aus den Fokusgruppen entwickelt. Die Themen des Fragebogens sind:

- Subjektive Zufriedenheit mit der thermischen Behaglichkeit (Raumlufttemperaturen und Luftqualität) im Moment und retrospektiv
- Akzeptanz der Raumluftqualität (CO₂-Konzentration, Gerüche, u.a.)
- Wahrnehmung von Luftbewegungen, Zegerscheinungen
- Gewöhnliche Bekleidung beim Gottesdienstbesuch, Bedarf an zusätzlichen Decken, Kissen
- Behaglichkeit (Frieren, Schwitzen, trockene Augen etc.)
- Akzeptanz der Nutzer*innen zum Energiesparen in Kirchen
- Allgemeine Umwelteinstellung der Besucher*innen
- Häufigkeit und Anzahl der Besucher*innen
- Durchschnittliche Dauer des Aufenthalts der Besucher*innen in der Kirche
- Personenspezifische Fragen (Geschlecht, Alter etc.)

Er gliederte sich damit in drei zentrale Bereiche:

1. Subjektive Wahrnehmung der Temperatur und Luftfeuchtigkeit im Kirchenraum – Erfasst wurde, wie die Besucher die Raumtemperatur und die Luftfeuchte empfanden und ob sie sich während ihres Aufenthalts in der Kirche wohlfühlten.
2. Wissen über den Energieverbrauch der Kirche bzw. Veränderungsbereitschaft in der Kirchengemeinde (Bereitschaft)
3. Sozialdaten – Geschlecht, Alter, Schulbildung, Erwerbsstatus, Kirchenzugehörigkeit und Technikaffinität wurden erhoben, um mögliche Zusammenhänge zwischen individuellen Merkmalen und der Wahrnehmung des Raumklimas zu analysieren.

An der ersten Befragung Anfang 2020 nahmen 595 Kirchenbesucherinnen und -besucher aus 30 Kirchen teil. Die zweite Befragung, durchgeführt Ende 2020, erreichte 591 Personen und untersuchte zusätzlich die Auswirkungen der Corona-Pandemie sowie Anpassungen in Optimierungskirchen, in denen technische Verbesserungen umgesetzt worden waren.

5.3.2 Ergebnisse der Fokusgruppen zur Wahrnehmung des Raumklimas

In den Gesprächen wurde schnell deutlich, dass die Temperatur und Luftqualität in Kirchenräumen stark von verschiedenen Faktoren abhängen. Dazu zählen nicht nur die Jahreszeit und die Bauweise der Kirche, sondern auch die technische Ausstattung und die Art der Nutzung. Während einige Teilnehmerinnen und Teilnehmer in der Golgatha-Kirche die Raumtemperatur als zu warm empfanden, klagten Besucherinnen und Besucher der Kirche am Stölpchensee über eine spürbare Kälte während der Gottesdienste. Die Wahrnehmung der Luftqualität fiel ebenfalls unterschiedlich aus: Während in der Stadtkirche bei größeren Veranstaltungen über trockene Luft und unangenehme Gerüche berichtet wurde, spielte dieses Thema in der Dorfkirche kaum eine Rolle.

Ein besonders wichtiger Aspekt, der in beiden Gruppen besprochen wurde, war die Bedeutung der Raumtemperatur für die Nutzung der Kirche. In der Golgatha-Kirche wurde befürchtet, dass die konstante Wärme zu Unwohlsein führe und sich negativ auf die Atmosphäre bei Gottesdiensten oder anderen Veranstaltungen auswirke. In der Kirche am Stölpchensee hingegen wurde deutlich, dass die niedrige Temperatur viele Besucherinnen und Besucher dazu veranlasse, sich besonders warm zu kleiden oder sich sogar zu überlegen, ob sie in den Wintermonaten an Gottesdiensten teilnehmen sollten.

Neben der allgemeinen Temperaturwahrnehmung wurde auch über individuelle Anpassungsstrategien gesprochen. Alle Teilnehmerinnen und Teilnehmer beider Gruppen gaben an, ihre Kleidung der jeweiligen Raumtemperatur anzupassen. Besonders auffällig war die Rückmeldung aus der Golgatha-Kirche, dass die Pfarrerin im Talar häufig unter der Wärme litt, während ältere Kirchenbesucherinnen und -besucher besonders empfindlich auf Temperaturschwankungen reagierten. In der Kirche am Stölpchensee hingegen war es üblich, dass Gemeindeglieder dicke Mäntel oder Schals mitbrachten, um sich gegen die Kälte zu schützen.

Ein weiterer zentraler Punkt war die Frage, wie die Heizsysteme gesteuert und verbessert werden könnten. In der Golgatha-Kirche sprachen sich die Teilnehmenden dafür aus, die Raumtemperatur unter der Woche auf etwa 18°C zu regulieren, um eine übermäßige Erwärmung zu vermeiden und Energiekosten zu senken. In der Kirche am Stölpchensee hingegen wurde gefordert, die vorhandene Heizung effizienter zu nutzen, da viele Gottesdienstbesucher sie als nicht ausreichend empfanden. Auch die Idee einer besseren Steuerung des Heizungssystems wurde diskutiert, um gezielter auf die Bedürfnisse der Gemeindeglieder eingehen zu können. Beide Gruppen waren sich einig, dass eine angenehme Raumtemperatur ein wichtiger Faktor für die Attraktivität des Gottesdienstbesuchs ist.

Zum Abschluss der Diskussionen wurde die Einstellung zu Nachhaltigkeit und Energieeinsparungen beleuchtet. Während einige Teilnehmerinnen und Teilnehmer der Golgatha-Kirche weniger auf Heizkosten und Energieverbrauch achteten, zeigte sich in der Kirche am Stölpchensee ein höheres Bewusstsein für diese Themen. Besonders auffällig war,

dass die meisten Anwesenden wenig über den Energieverbrauch ihrer Kirche wussten, sich aber grundsätzlich mehr Informationen dazu wünschten.

Die Ergebnisse der Fokusgruppen flossen direkt in die Gestaltung der quantitativen Befragung ein. Sie bestätigten, dass Kirchenräume je nach Bauweise und Nutzung sehr unterschiedliche Herausforderungen in Bezug auf Temperatur und Luftqualität mit sich bringen. Gleichzeitig wurde klar, dass die Akzeptanz für nachhaltige Heizlösungen steigt, wenn diese verständlich erklärt und sinnvoll umgesetzt werden.

5.3.3 Ergebnisse der standardisierten Befragung

Ein Vergleich der sozio-demographischen Daten beider Befragungen zeigt, dass sich die Zusammensetzung der Teilnehmenden ähnelt. Die Mehrheit der Befragten war über 60 Jahre alt (47 % in der ersten und 46 % in der zweiten Befragung), mit einem hohen Anteil an Rentnern (35 % bis 39 %) sowie Vollerwerbstätigen (36 % bis 37 %). Auffällig war der hohe Bildungsgrad: 45 Prozent hatten einen Hochschulabschluss, deutlich über dem bundesweiten Durchschnitt von 27 Prozent. Ehrenamtliche stellten mit 42 Prozent die größte Gruppe, gefolgt von Gemeindefmitgliedern (31 % bis 34 %). Hauptamtlich Tätige machten 11 bis 14 Prozent aus, während Besucher und Gäste konstant bei 10 Prozent lagen. Der Anteil der Konfirmanden stieg leicht von 1 auf 4 Prozent.

Temperaturerfahrungen und Luftqualität in Kirchenräumen

Die Art und Weise, wie Kirchen geheizt und gelüftet werden, bestimmt maßgeblich das Wohlbefinden der Besucherinnen und Besucher. Dabei ist es nicht nur eine Frage der Temperatur, sondern auch der Luftqualität, die sich durch Faktoren wie Feuchtigkeit, Luftbewegung und Sauerstoffgehalt auszeichnet.

Die Befragungen zeigen, dass eine beträchtliche Anzahl von Kirchenbesuchern regelmäßig friert. In der ersten Erhebung gaben 21 Prozent der Teilnehmenden an, „oft“ zu frieren, in der zweiten Befragung waren es 17 Prozent. Ähnlich verhält es sich mit kalten Füßen: 25 Prozent der Befragten kreuzten „oft“ an, in der zweiten Erhebung lag dieser Wert bei 24 Prozent.

Trotz dieser Herausforderungen kann die Mehrheit der Besucher mit den Raumtemperaturen umgehen. 91 Prozent in der ersten Befragung und 86 % in der zweiten Befragung gaben an, dass sie durch angemessene Kleidung ihre Behaglichkeit in der Kirche selbst regulieren können.

Die allgemeine Zufriedenheit mit der Raumtemperatur ist dennoch begrenzt. In der ersten Befragung äußerten sich 25 Prozent „sehr zufrieden“ und 42 Prozent „eher zufrieden“, während die Werte in der zweiten Befragung bei 43 Prozent „zufrieden“ und 37 Prozent „eher zufrieden“ lagen. Damit nimmt die Zufriedenheit mit der Temperatur den niedrigsten Rang unter den verschiedenen Aspekten des Wohlbefindens in der Kirche ein – hinter Geruch (52 %), Lichtverhältnissen (62 %), Akustik (66 %) und Luftqualität (56 %).

Die Luftqualität in Kirchen wird insgesamt positiv wahrgenommen. 87 Prozent der Befragten in der ersten Erhebung bewerteten sie als „genau richtig“. In der zweiten Befragung, die speziell auf Luftfeuchtigkeit und Luftqualität ausgerichtet war, zeigten sich 58 Prozent „zufrieden“ und 29 Prozent „eher zufrieden“.

Dennoch bleibt ein Problem bestehen: Jeder fünfte Befragte (20 %) gab an, oft Zugluft zu spüren. Besonders in den kälteren Monaten kann dies zu einem zusätzlichen Unwohlsein führen, das nicht allein durch Kleidung ausgeglichen werden kann.

Die Jahreszeiten haben einen entscheidenden Einfluss darauf, wie Kirchenräume wahrgenommen werden.

Im Winter empfinden viele Kirchenbesucherinnen und -besucher die Kirche als zu kalt. Gleichzeitig berichten 35 Prozent über störende Zugluft. Besonders ältere Menschen und Personen, die längere Zeit in der Kirche verweilen, leiden unter den niedrigen Temperaturen. 31 Prozent der Befragten gaben an, oft zu frieren, und 35 Prozent berichteten von störender

Zugluft.

Im Sommer zeigt sich ein gegenteiliges Bild: Durch die massive Bauweise bleiben viele Kirchen angenehm kühl. Nur 3 Prozent der Befragten fühlten sich zu kalt, und 4 Prozent empfanden die Kirche als zu warm. Dennoch wurde die Luftqualität in gut besuchten Kirchen manchmal als muffig beschrieben.

In den Übergangszeiten Herbst und Frühling berichten viele Besucherinnen und Besucher über Temperaturschwankungen, die sich mit der Witterung verändern. 12 Prozent klagen über Kälte, und 21 Prozent fühlen sich durch Zugluft beeinträchtigt.

Diese Erkenntnisse zeigen, dass Kirchengemeinden ihre Heizstrategie an die Jahreszeiten und Nutzung der Kirche abstimmen sollten. Statt einer gleichbleibenden Temperatur könnte eine gezielte Steuerung dazu beitragen, sowohl Energieeffizienz als auch Behaglichkeit für die Besuchenden zu verbessern.

Einschätzung der Heiz- und Lüftungssysteme

Obwohl viele Gemeindemitglieder mit den Raumtemperaturen zurechtkommen, indem sie sich entsprechend kleiden, zeigen die Befragungen deutlich, dass die Heiz- und Lüftungssysteme in zahlreichen Kirchen nicht optimal reguliert sind. Sowohl die gefühlte Kälte im Winter als auch die eingeschränkte Luftzirkulation bei gut besuchten Gottesdiensten führen zu wiederkehrenden Beschwerden.

In der Befragung zeigte sich, dass viele Kirchenmitglieder kaum technisches Wissen über die Heizung ihrer Kirche haben, aber dennoch eine klare Einschätzung darüber, ob sie als funktional oder problematisch wahrgenommen wird.

Die Steuerbarkeit der Heizsysteme stellt sich als großes Problem dar. Viele Kirchen haben keine Möglichkeit, die Temperatur kurzfristig an Gottesdienste oder Veranstaltungen anzupassen, sodass entweder Kälte oder unnötig hoher Energieverbrauch entsteht.

Einige Heizsysteme laufen ineffizient oder sind nicht bedarfsgerecht eingestellt, wodurch sowohl die Behaglichkeit als auch die Energiebilanz negativ beeinflusst werden.

Fast 18 Prozent der Befragten wünschen sich eine deutliche Veränderung, da sie die aktuelle Heizsituation als unzureichend empfinden. Für sie sind grundlegende Anpassungen erforderlich, sei es durch eine effizientere Wärmeverteilung oder eine modernisierte Steuerung der Heizsysteme.

Weitere 33 Prozent sehen Optimierungsmöglichkeiten, die keine umfassende Neuinstallation erfordern, sondern gezielte Anpassungen an bestehenden Systemen umfassen. Besonders für die Wintermonate wünschen sich viele eine gleichmäßige Wärme ohne abrupte Schwankungen, damit Gottesdienste und Veranstaltungen unabhängig von der Außentemperatur angenehm erlebbar sind.

Neben der Temperatur spielt auch die Luftqualität eine zentrale Rolle. Gerade bei gut besuchten Gottesdiensten oder Konzerten wird die Luft oft als schwer und stickig empfunden, wodurch das Wohlbefinden beeinträchtigt werden kann. Eine gezielte Lüftungsstrategie könnte dazu beitragen, die Raumluftqualität zu verbessern, ohne dabei die Raumtemperatur unnötig zu beeinflussen. Dafür wäre eine präzisere Steuerung von Lüftungssystemen nötig, die auf die Besucherzahlen und die jeweilige Nutzung der Kirche abgestimmt wird.

Diese Ergebnisse machen deutlich, dass Kirchengemeinden ihre Heiz- und Lüftungssysteme nicht nur aus wirtschaftlicher Sicht optimieren sollten, sondern auch die Bedürfnisse ihrer Besucherinnen und Besucher stärker einbeziehen können.

Dauer des Aufenthalts und Anpassungsstrategien der Kirchenbesucher

Die Temperatur in einem Kirchenraum beeinflusst maßgeblich, wie lange sich Menschen dort aufhalten und ob sie sich während Gottesdiensten oder Veranstaltungen wohlfühlen. Besonders in den Wintermonaten zeigt sich, dass niedrige Temperaturen das Wohlbefinden von Kirchenbesuchern beeinträchtigen können. Dennoch zeigen die Befragungen, dass die meisten

Besucher sich aktiv auf die Temperaturverhältnisse einstellen und verschiedene Strategien nutzen, um sich trotz möglicher Unannehmlichkeiten wohlzufühlen.

Die Mehrheit der Kirchenbesucher verbringt weniger als eine Stunde in der Kirche. 63 Prozent (vor Corona 24 %) der Befragten gaben an, dass ihr Aufenthalt meist in dieser Zeitspanne liegt. Nur 5 Prozent (12 % vor Corona) bleiben länger als zwei Stunden, was insbesondere in kälteren Kirchen als problematisch empfunden wird.

Die Mehrheit der Kirchenbesucher reagiert auf kalte Raumtemperaturen, indem sie ihre Kleidung anpassen. 92 Prozent der Befragten gaben an, sich durch entsprechende Kleidung vor Kälte oder Wärme zu schützen, um ihre Behaglichkeit in der Kirche zu verbessern. 94 Prozent der Befragten bleiben gelassen und warten ab, wenn sie die Raumtemperatur als unangenehm empfinden.

Trotz dieser individuellen Anpassungen gibt es den Wunsch nach zusätzlichen Maßnahmen seitens der Kirchengemeinde. Besonders in der kalten Jahreszeit zeigen sich Besucher offen für praktische Lösungen: 38 Prozent der Befragten begrüßen die Bereitstellung von Decken, um sich während Gottesdiensten besser vor der Kälte zu schützen. Dies verdeutlicht, dass sich viele aktiv an niedrige Raumtemperaturen anpassen, aber dennoch nach weiteren Möglichkeiten suchen, sich wohler zu fühlen.

Bemerkenswert ist, dass die Temperatur nur für wenige Kirchenbesucher ein Grund ist, den Gottesdienst frühzeitig zu verlassen. Lediglich 3 Prozent gaben an, die Kirche aufgrund der Raumtemperatur vorzeitig zu verlassen, was zeigt, dass Anpassungsstrategien in den meisten Fällen ausreichen, um mit den Temperaturschwankungen umzugehen.

Diese Ergebnisse machen deutlich, dass Kirchenbesucher Temperaturschwankungen akzeptieren, wenn sie durch eigene Maßnahmen oder Unterstützung der Gemeinde ausgleichbar sind. Gerade im Winter könnten kleine Maßnahmen wie beheizte Sitzflächen oder die Bereitstellung von Decken das Wohlbefinden der Besucher erheblich steigern.

Energieverbrauch in Kirchen – Wissen, Transparenz und Kommunikation

Der Energieverbrauch von Kirchengebäuden ist ein Thema, das viele Gemeindemitglieder interessiert, doch die meisten haben darüber kaum Informationen.

Kirchen sind oft große, historische Gebäude mit speziellen Anforderungen an Heizung und Beleuchtung. Dennoch bleibt ihr Energieverbrauch für die meisten Gemeindemitglieder unsichtbar. Die Befragung zeigt, dass nur wenige Kirchenbesucher wissen, wie viel Energie ihre Kirche tatsächlich verbraucht und welche Kosten damit verbunden sind. 95 Prozent der Kirchenbesucher hat keine Kenntnis über den Energieverbrauch ihrer Kirche, 59 Prozent fanden dies auch (eher) unwichtig („wichtig“ 13 %, „eher wichtig“ 28 %,). 51 Prozent äußerten kein Interesse daran, darüber informiert zu werden.

Allerdings zeigen die Ergebnisse auch, dass viele Kirchenbesucher (41 %) sich eine bessere Informationspolitik wünschen. 49 Prozent der Befragten möchten regelmäßig über den Energieverbrauch ihrer Kirche informiert werden, um die Auswirkungen von Heiz- und Lüftungssystemen besser zu verstehen.

Besonders gefragt sind regelmäßige Berichte in Gemeindeblättern (44 % Zustimmung) sowie auf der Kirchenwebsite (24 % Zustimmung), wo Maßnahmen und Verbrauchsdaten nachvollziehbar dargestellt werden können.

Diese Unkenntnis führt dazu, dass viele Kirchenmitglieder keinen direkten Bezug zu den Energieeinsparmaßnahmen ihrer Gemeinde haben. Eine gezielte Kommunikation könnte helfen, das Bewusstsein für nachhaltige Heizstrategien zu schärfen und die Akzeptanz für notwendige Maßnahmen zu erhöhen. Transparente Berichterstattung hilft, Sensibilität für Einsparpotenziale zu entwickeln und die Bereitschaft zur Beteiligung zu fördern.

Auswirkungen der Corona-Pandemie auf Kirchenbesuche und Heizstrategien

Die Corona-Pandemie hatte erhebliche Auswirkungen auf das Verhalten von Kirchenbesuchern und die Nutzung kirchlicher Räume. Die Befragung zeigt, dass sich die Aufenthaltsdauer in Kirchen signifikant reduziert hat: 63 Prozent der Besucher hielten sich weniger als eine Stunde in der Kirche auf, während es vor der Pandemie nur 24 Prozent waren. Nur 5 Prozent blieben länger als zwei Stunden, im Vergleich zu 12 Prozent vor der Pandemie.

Diese Veränderungen sind besonders relevant für das Heiz- und Energieverbrauchsmanagement von Kirchen. Da sich die Verweildauer verkürzt hat, könnte eine flexiblere Heizstrategie helfen, den Energieverbrauch effizienter zu gestalten.

Wie hat sich die Wahrnehmung des Raumklimas durch gezielte Veränderungen verbessert?

In 10 Kirchen („Optimierungskirchen“) wurden gezielte Anpassungen an den Heiz- und Lüftungssystemen nach Abschnitt 5.2.4 vorgenommen. Die zweite Befragung zeigte, dass sich das Wohlbefinden der Kirchenbesucherinnen und -besucher dadurch erheblich verbessert hat. Die Zufriedenheit mit der Raumtemperatur stieg von 71 auf 80 Prozent.

Vor der Anpassung gaben 34 Prozent der Besuchenden an, regelmäßig zu frieren. Nach der Einführung neuer Heizkonzepte sank dieser Wert auf 11 Prozent. Besonders bemerkenswert war die Veränderung in der Kirche am Stölpchensee, wo Besucherinnen und Besucher nach der Umstellung auf ein besser steuerbares Heizsystem deutlich weniger über Kälte klagten.

Trotz dieser Verbesserungen blieb die Wahrnehmung von Zugluft nahezu unverändert. 25 Prozent der Befragten gaben weiterhin an, dass sie regelmäßig Zugluft spüren, was darauf hinweist, dass neben der Heizung auch die Lüftungskonzepte optimiert werden müssen.

Diese Ergebnisse unterstreichen, dass gezielte Maßnahmen zur Verbesserung der Heizsituation effektiv sind. Durch eine bessere Steuerung und gezielte Anpassung der Heiz- und Lüftungskonzepte können Kirchengemeinden sowohl die Behaglichkeit ihrer Räume steigern.

Akzeptanz von Energieeinsparmaßnahmen in Kirchen

Die Frage nach nachhaltigem Energieverbrauch in Kirchen gewinnt zunehmend an Bedeutung. Dennoch zeigt die Befragung, dass viele Kirchenmitglieder wenig Wissen über den Energieverbrauch ihrer Kirche haben. Fast alle Befragten (95 %) besitzen im Jahr 2020 keine Informationen darüber. Gleichzeitig gibt es eine Gruppe, die sich mehr Transparenz wünscht. Die Ergebnisse der zweiten Befragung zeigen, dass verschiedene nachhaltige Maßnahmen zur Verbesserung des Raumklimas diskutiert und teilweise positiv aufgenommen wurden.

Besonders das Absenken der Raumtemperatur zur Energieeinsparung stößt auf die größte Zustimmung. Rund ein Fünftel (20 %) der Befragten stimmt dem klar zu, weitere 30 Prozent sehen es als sinnvolle Maßnahme. Ein Viertel bleibt unentschieden, während insgesamt 27 Prozent dagegen sind.

Weniger Zustimmung gibt es für die Idee, niedrigere Temperaturen zum Schutz von Ausstattung und Kunstwerken einzuführen. Hier unterstützen 44 Prozent die Maßnahme, während 46 Prozent skeptisch oder dagegen sind.

Am wenigsten akzeptiert wird der Vorschlag, die Heizung nur vor Gottesdiensten einzuschalten, um Luftbewegungen zu reduzieren. Hier sind sich viele uneinig: Nur ein Drittel (35 %) befürwortet die Maßnahme, während 39 Prozent sie ablehnen und der Rest unschlüssig bleibt.

Empfehlungen für Kirchengemeinden zur Optimierung von Heiz- und Lüftungssystemen

Durch eine bedarfsgerechte Anpassung der Heiz- und Lüftungssysteme können Kirchengemeinden sowohl die Zufriedenheit der Besuchenden als auch die Energieeffizienz nachhaltig verbessern. Eine transparente Kommunikation über den Energieverbrauch und gezielte Maßnahmen zur Verbesserung der Raumtemperatur tragen dazu bei, dass

Kirchenbesucher sich wohlfühlen und gleichzeitig Ressourcen geschont werden.

Heizsysteme bedarfsgerecht steuern:

Viele Kirchen haben Heizsysteme, die nicht flexibel an Gottesdienste oder Veranstaltungen angepasst werden können. Eine bedarfsgerechte Steuerung kann helfen, Energie effizienter zu nutzen und gleichzeitig das Wohlbefinden der Besucher zu verbessern.

- Temperaturregelung nach Nutzung: Die Heizung sollte gezielt für Gottesdienste und Veranstaltungen aktiviert werden, um unnötigen Energieverbrauch zu vermeiden.
- Optimierung bestehender Systeme: Eine bessere Steuerung der vorhandenen Heiztechnik kann helfen, Temperaturschwankungen zu reduzieren und Behaglichkeit zu erhöhen.

Luftqualität gezielt verbessern:

Neben der Temperatur spielt auch die Luftqualität eine zentrale Rolle. Besonders bei gut besuchten Gottesdiensten oder Konzerten wird die Luft oft als schwer und stickig empfunden.

- Gezielte Lüftung vor und nach Veranstaltungen kann helfen, die Luftqualität zu verbessern, ohne die Raumtemperatur unnötig zu beeinflussen.
- Anpassung der Lüftungssysteme an die Besuchszahlen

Transparenz über den Energieverbrauch schaffen:

Die Befragung zeigt, dass 2020 fast alle Kirchenbesucherinnen und -besucher keine Informationen über den Energieverbrauch ihrer Kirche haben, obwohl fast die Hälfte regelmäßige Berichte darüber befürwortet.

- Regelmäßige Berichte im Gemeindeblatt oder auf der Kirchenwebsite können helfen, das Bewusstsein für nachhaltige Entscheidungen zu schärfen.
- Informationsveranstaltungen zur Heizstrategie und Energieeinsparung können die Akzeptanz für notwendige Maßnahmen erhöhen.

Praktische Maßnahmen zur Steigerung des Wohlbefindens:

Neben technischen Anpassungen gibt es einfache Lösungen, die das Wohlbefinden der Besuchenden verbessern können.

- Bereitstellung von Decken in den Wintermonaten wird von vielen Kirchenbesuchenden begrüßt und kann helfen, die Aufenthaltsdauer zu verlängern.

5.3.4 Behaglichkeitsindizes – Kälte und Zugluft als zentrale Faktoren

Die Untersuchung zeigt, dass die Raumtemperatur und Luftqualität in Kirchen einen erheblichen Einfluss auf das Wohlbefinden der Besucher haben. Die thermische Behaglichkeit in einem Kirchenraum ist eine subjektive Wahrnehmung, die von zahlreichen Faktoren abhängt. Aufgrund individueller Empfindungen und der natürlichen Anpassungsfähigkeit des menschlichen Körpers lässt sich das Gefühl von Behaglichkeit nicht einheitlich messen. Dennoch ist es möglich, die Wahrnehmung des Raumklimas in verschiedenen Zuständen zu analysieren und zu ermitteln, unter welchen Bedingungen sich die Mehrheit besonders wohl fühlt. Zur Erfassung der thermischen Behaglichkeit – also des Raumklimas und der Raumluftqualität – wurden die Teilnehmenden gebeten, ihre Wahrnehmung der Raumlufttemperatur sowie die Intensität von Luftbewegungen bzw. Zugluft in den Kirchenräumen zu bewerten.

Hierzu wurden fünf zentrale Fragen in den Befragungen integriert: Es wurde ermittelt, wie viele der Befragten die Raumtemperatur – unter Einbeziehung der verwendeten Bekleidung – als „sehr angenehm“ empfinden. Ebenso wurde der Anteil erfasst, der sich generell im Kirchenraum wohl fühlt (Wohlbehagen), ebenso wie der Prozentsatz, der die Luftqualität als „genau richtig“

bewertet. Weiterhin wurde ermittelt, wie viele Teilnehmende angeben, „oft“ störende Zugluft wahrzunehmen, sowie der Anteil derjenigen, die „oft“ Kälte empfinden oder frieren.

Auf Basis der gewonnenen Angaben wurden spezifische Kennzahlen, die sogenannten Behaglichkeitsindizes, entwickelt. Dabei flossen unterschiedliche, inhaltlich zusammenhängende Fragen in jeweils einen Index ein, um einen gemeinsamen Skalenwert zu erhalten.¹ Für den Bereich des Temperaturempfindens wurde ein Kälteindex und für die Wahrnehmung von Zugluft ein separater Index gebildet. Diese Indizes quantifizieren, wie häufig die empfundene Kälte oder Zugluft von den Besucher*innen wahrgenommen wird, und ermöglichen so einen Vergleich zwischen den Kirchen.

Der Kälteindex setzt sich aus fünf Fragen zusammen. Die Befragten wurden unter anderem gebeten, zu beurteilen, ob das Raumklima in der jeweiligen Kirche über die verschiedenen Jahreszeiten hinweg als zu kalt empfunden wird. Ergänzt wird diese Dimension durch direkte Aussagen wie „Ich bekomme kalte Füße“ und „Ich friere“. Analog dazu basiert der Zugluftindex auf vier Fragen, bei denen erfasst wurde, inwiefern in den verschiedenen Jahreszeiten störende Luftbewegungen wahrgenommen werden und ob während des Aufenthalts in der Kirche spürbare Zugluft vorhanden ist.

Für die Berechnung der Indizes wurden die Antwortkategorien numerisch codiert – beispielsweise wurde „oft“ mit 1, „kaum“ mit 2 und „selten“ mit 3 bewertet². Die Antworten aus den einzelnen Fragen wurden aufaddiert und anschließend normiert, sodass für jede Person ein Wert zwischen 0 und 1 entstanden. Dabei drückt ein Wert von 1 aus, dass die betreffende Person die störenden Faktoren (wie Kälte oder Zugluft) durchweg nur selten wahrnimmt, während ein Wert von 0 signalisiert, dass diese Bedingungen häufig als unangenehm empfunden werden. So lassen sich die subjektiven Eindrücke zur Behaglichkeit systematisch erfassen und zwischen verschiedenen Kirchen miteinander vergleichen.

Die Ergebnisse zeigen, dass sich das Wohlbefinden in den meisten Kirchen verbessert hat. In 25 von 30 Kirchen blieb der Mittelwert der beiden Indizes entweder stabil oder stieg an. Besonders deutlich wurde dies in den Optimierungskirchen, in denen gezielte Anpassungen an Heiz- und Lüftungssystemen vorgenommen wurden. Hier erhöhte sich der Mittelwert der beiden Indizes von 0,66 auf 0,78, was auf eine spürbare Verbesserung des Raumklimas hinweist.

Die Veränderungen sind besonders beim Index für Zugluft sichtbar. In den Optimierungskirchen stieg dieser Wert von 0,63 auf 0,83, was darauf hindeutet, dass störende Luftbewegungen deutlich seltener wahrgenommen wurden. Auch der Index für Kälte verbesserte sich, wenn auch weniger stark – von 0,69 auf 0,74.

Einige Kirchen zeigen besonders hohe Verbesserungsraten. In der Ludgerikirche in Norden stieg der Mittelwert von 0,44 auf 0,79, was auf gezielte bauliche Anpassungen zurückzuführen ist. Auch in der Kirche am Stölpchensee in Berlin-Wannsee verbesserte sich das Wohlbefinden deutlich, insbesondere in Bezug auf die Zugluft. Hier stieg der Mittelwert von 0,62 auf 0,80, was auf eine optimierte Luftzirkulation hinweist.

Diese Ergebnisse verdeutlichen, dass gezielte Maßnahmen zur Verbesserung der Heiz- und Lüftungssysteme einen direkten Einfluss auf das Wohlbefinden der Kirchenbesucher haben. Besonders die Reduktion von Zugluft und eine gleichmäßigere Wärmeverteilung tragen dazu bei, dass sich Besucher wohler fühlen. Die positiven Veränderungen in den Optimierungskirchen zeigen, dass technische Anpassungen eine nachhaltige Verbesserung des

¹ Zur Indexbildung werden in einem ersten Schritt die inhaltlich relevanten Fragen definiert. Anschließend wird darauf geachtet, dass die Antwortkategorien auch eine einheitliche Richtung haben, d.h. in diesem Fall, dass höhere Werte auch eine höhere Behaglichkeit bedeuten. Dann werden die Antwortkategorien aufaddiert und die Skalenwerte einheitlich normiert, so dass eine Vergleichbarkeit mit anderen Indizes, unabhängig von der Anzahl der verwendeten Fragen, möglich ist.

² Bei der Berechnung der Indizes wurden nur diejenigen Befragten aufgenommen, die zu allen Fragen eines Index Angaben machten, da sonst unterschiedlich häufig beantwortete Fragen mehr Gewicht bekommen würden, was die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zwischen den Kirchen erschweren würde.

Raumklimas bewirken können.

Der Behaglichkeitsindex dient als wertvolles Instrument, um die thermische Behaglichkeit in Kirchen zu bewerten und gezielte Maßnahmen zur Verbesserung des Raumklimas zu entwickeln.

5.4 Zusammenführung der technischen und sozialwissenschaftlichen Daten und Erkenntnisse

Das Ziel besteht in der Gesamtbeurteilung der Kirchen bzgl. der Energieeffizienz, des Schutzes von wertvollem Kulturgut und der Nutzerzufriedenheit. Die Ergebnisse der subjektiven Bewertungen des sozialwissenschaftlichen Monitorings und der Messergebnisse des technischen Monitorings werden zu einer Gesamtbewertung entsprechend Tabelle 6 zusammengefasst. Die Kennwerte

- A, B_{pos}, B_{neg}, EVK_{rel}, Kälte, Zugluft

werden in jeder Kategorie zwischen dem kleinsten und größten Wert in Prozent 0% - 100% umgerechnet und je für Klima, Verbrauch und Behaglichkeit zu einem Wert gemittelt. Da der Energieverbrauch und damit die TLG-Emissionen über eine Priorität im Projekt verfügen, wird der Energieverbrauch nach

Variante	Raumklima	Energieverbrauch	Behaglichkeit
1	30%	40%	30%
2	20%	60%	20%

im Endergebnis stärker gewichtet. Für die Gesamteinschätzung werden die ermittelten Kennzahlen nach Variante 1 30% - 40% - 30% gewichtet.

Gute und sehr gute Lösungen von Anlagentechnik und deren Betriebsweise wurden gefunden und für die Transformation in die Breitenanwendung bewertet. Die Teilergebnisse zum Raumklima, zum Energieverbrauch und zur Nutzerzufriedenheit liefern:

- gute und sehr gute Beispiele: 14 Kirchen
- befriedigende und ausreichende Beispiele: 12 Kirchen

Bei den guten und sehr guten Beispielen gibt es interessante Kombinationen aus Grund- und körpernaher Heizung. Der Einfluss der Anlagentechnik auf das Gesamtergebnis ist individuell abhängig vom Anlagentyp, von der Verteilung der Wärmeübergabe, von der Auslegung der Anlagen, von der Regelung, vom Denkmalschutz und von der Nutzung, u.a.. Fußbodenheizungen haben sich als körpernahe Heizung bewährt.

Für alle 30 Kirchen wurden Steckbriefe nach Anhang 1 mit einer einheitlichen Gliederung

- Technische Ausstattung und Nutzung
- Raumklima
- Energieverbrauch
- Sozialwissenschaftliches Monitoring
- Zusammenfassung

erarbeitet.

Die Steckbriefe und der damit entstehende Überblick über die untersuchten umfangreichen Varianten dienen der Festlegung energieeffizienter Heizungskombinationen von Grundheizung, körpernaher Heizsysteme und der verbesserten Anlagenautomation für die Planungen in der Transformationsphase.

Nr.	Kirche	Ort	Raumklima						Verbrauch		Behaglichkeit			Bewertung	
			Bpositiv	%	Bnegativ	%	A	%	EVKrel	%	Kälte	Zugluft	%	30-40-30	20-60-20
											%	%	%	%	%
1	Stadtkirche	Wunstorf	0,654	93%	0,311	94%	0,006	94%	57,50	4%	0,78	0,73	74%	52%	36%
2	Kirche	Petkum	30,854	0%	0,017	100%	0,056	44%	25,72	57%	0,71	0,73	88%	64%	61%
3	St. Aegidien	Osterode	0,345	97%	0,089	98%	0,059	41%	16,32	73%	0,52	0,46	79%	76%	75%
4	Ludgerikirche	Norden	1,929	81%	0,040	99%	0,076	24%	6,21	90%	0,5	0,38	81%	81%	84%
5	St. Petri	Bad Bodent.	0,025	100%	0,133	97%	0,029	71%	8,15	86%	0,58	0,53	83%	86%	86%
7	Kirche	Harsefeld	0,678	93%	1,059	79%	0,001	99%	13,56	77%	0,89	0,61	88%	84%	82%
10	St. Andreas	Springe	2,981	70%	0,621	88%	0,007	93%	42,34	29%	0,69	0,68	79%	61%	50%
11	St. Nikolai	Borstel	3,886	61%	2,432	51%	0,032	68%	53,50	11%	0,74	0,81	79%	46%	34%
12	Kirche Stölpch.	Berlin-Wanns.	0,345	97%	3,445	31%	0,027	73%	106,95	0%	0,6	0,64	83%	45%	30%
15	Golgathakirche	Berlin-Mitte	0,000	100%	20,159	0%	0,000	100%	19,15	68%	0,69	0,65	39%	59%	62%
16	Dorfkirche	Geltow	0,191	98%	2,224	56%	0,000	100%	46,51	22%	0,85	0,82	86%	60%	48%
17	Apostel-Paulus	Berlin-Hdf.	0,150	99%	0,459	91%	0,020	80%	52,08	13%	0,71	0,46	72%	54%	40%
19	St. Marienkirche	Berlin	0,004	100%	0,032	99%	0,000	100%	5,82	90%	0,62	0,47	76%	89%	89%
20	Passionskirche	Berlin	0,022	100%	13,794	0%	0,020	80%	12,45	79%	0,71	0,8	77%	73%	75%
21	Trinitatiskirche	Braunlage	0,808	92%	2,750	45%	0,009	91%	53,45	11%	0,49	0,57	75%	50%	37%
22	St. Trinitatis	Klein Mahner	30,595	0%	0,000	100%	0,004	96%	30,85	49%	0,48	0,68	69%	60%	56%
25	St. Salvator	Pellworm	73,835	0%	0,000	100%	0,000	100%	0,68	99%	0,52	0,73	88%	86%	90%
26	St. Gallus	Neugalmsbüll	23,124	0%	0,045	99%	0,048	52%	71,80	0%	0,76	0,3	76%	38%	25%
27	Kirche	Hamburg-Nien.	0,142	99%	5,865	0%	0,002	98%	20,42	66%	0,64	0,63	88%	72%	70%
28	Vicelin-Kirche	Ratekau	1,102	89%	1,459	71%	0,002	98%	3,28	95%	0,47	0,75	80%	88%	90%
29	Bartholomäusk.	Rödinghausen	0,552	94%	0,006	100%	0,022	78%	17,35	71%	0,89	0,89	85%	79%	75%
30	Pauluskirche	Bielefeld	6,592	34%	0,120	98%	0,003	97%	9,04	85%	0,61	0,47	79%	81%	82%
31	Johanniskirche	Bielefeld	0,003	100%	31,383	0%	0,001	99%	18,71	69%	0,89	0,67	87%	74%	72%
33	Christuskirche	Erwitte	0,004	100%	13,775	0%	0,000	100%	54,13	10%	0,6	0,5	78%	47%	35%
34	Vitus-Kirche	Schweiburg	8,709	13%	2,457	51%	0,040	60%	92,67	0%	0,63	0,74	72%	34%	23%
36	Bachkirche	Arnstadt	0,000	100%	4,896	2%	0,058	42%	32,88	45%	0,7	0,82	84%	58%	54%
39	Herderkirche	Weimar	0,029	100%	0,654	87%	0,013	87%	8,05	87%	0,57	0,57	85%	86%	85%
40	Lutherkirche	Rudolstadt	0,199	98%	0,379	92%	0,049	51%	11,70	81%	0,8	0,81	87%	82%	82%
41	Christuskirche	Bad Eilsen	0,490	95%	2,516	50%	0,087	13%	68,91	0%	0,62	0,49	77%	39%	26%
42	Kirche	Sylbach	0,021	100%	0,154	97%	0,035	65%	36,32	39%	0,81	0,85	84%	67%	58%

Tabelle 6: Zusammenfassung der Ergebnisse des technischen und des sozialwissenschaftlichen Monitorings

Zusammenfassung zu den Kennzahlen

Raumklima

Berechnung: Abbildung der Ergebnisse aus den Raumklimamessungen in eine einheitliche vergleichbare prozentuale Skala

Ergebnis: ein Kennwert für die Beurteilung des Raumklimas

Energieverbrauch

Berechnung: Umrechnung der relativen Energieverbrauchskennwerte in eine einheitliche vergleichbare prozentuale Skala, die Auswirkung beider Kennwerte auf das Gesamtergebnis wird beurteilt

Ergebnis: der relative Heizenergieverbrauchskennwert wird klein bei großem Bezugsvolumen, geringem Verbrauch und/oder intensiver Nutzung

Nutzerzufriedenheit

Auswahl: aus den Antworten der Nutzerbefragung werden die Indizes „zu kalt“ und „Zugluft“ gebildet, für die Gesamteinschätzung ausgewählt und in eine einheitliche vergleichbare prozentuale Skala umgerechnet

Ergebnis: ein Kennwert für die Beurteilung der Nutzerzufriedenheit

Gesamtbewertung

Berechnung: Gewichtete Zusammenführung aller Teilergebnisse zum Raumklima, Energieverbrauch und Nutzerzufriedenheit, wobei das Kriterium der Energieeffizienz hervorgehoben wird

Ergebnis: gute und sehr gute Beispiele 14 Kirchen
befriedigende und ausreichende Beispiele 12 Kirchen
gute Kombinationen aus Grund- und körpernaher Heizung vorhanden

Umsichtig betriebene Kombinationen aus Grund- und körpernaher Heizung können zu einem verringerten Energieverbrauch, zur Zufriedenheit der Nutzer und zum Schutz von wertvollem Kulturgut beitragen. Eine maßvolle Reduzierung der Solltemperaturen für Nutzung und Nichtnutzung ist unter diesen Gesichtspunkten zeitgemäß. Mit Aufklärungsarbeit sowie dem Verständnis für Energieeffizienz und Nachhaltigkeit tolerieren Nutzer ein zumutbares Maß an Einbuße des Komforts.

5.5 Bewährte Systeme von Grundheizung und körpernaher Heizung

Mit dem Abschluss der Projektphase 1 wurden eine Reihe von Übersichten zusammengestellt, die für die 30 Kirchen Systemvergleiche zulassen. Als Kriterien wurden die beheizten Volumina (3 Kategorien), die Qualität des Raumluftzustandes, der Energieverbrauch und die Behaglichkeit gewählt.

5.5.1 Beste Lösungen in Abhängigkeit des Raumvolumens

In der Tabelle 7 werden die 14 Kirchen mit guten und sehr guten Lösungen nach dem Raumvolumen geordnet. In jeder Kategorie der Kirchengröße gibt es empfehlenswerte Kombinationen von Grundheizung und körpernaher Heizung, geringem Energieverbrauch und guter Behaglichkeit. 3 Beispiele sollen auszugsweise genannt werden. Weitere Informationen findet man in den Steckbriefen im Anhang 1.

Nr. im Projekt	Landeskirche	Ort	Kirche	Raumvolumen /m ³	A bis 2000 /m ³	B bis 5.000 /m ³	C über 5.000 /m ³
3	Ev.-luth. Landeskirche Hannovers	Osterode	St. Aegidien	3.813		1	
4	Ev.-luth. Landeskirche Hannovers	Norden	Ludgerikirche	16.500			1
5	Ev.-luth. Landeskirche Hannovers	Bad Bodenteich	St. Petri	4.494		1	
7	Ev.-luth. Landeskirche Hannovers	Harsefeld	Kirche	7.895			1
19	Ev. Kirche Berlin-Brandenburg-schlesische Oberlausitz	Berlin	St. Marienkirche	23.000			1
20	Ev. Kirche Berlin-Brandenburg-schlesische Oberlausitz	Berlin	Passionskirche	7.320			1
25	Ev.-luth. Kirche in Norddeutschland	Pellworm	St. Salvator	1.800	1		
27	Ev.-luth. Kirche in Norddeutschland	Hamburg-Nienstedten	Kirche	2.842		1	
28	Ev.-luth. Kirche in Norddeutschland	Ratekau	Vicelin-Kirche	1.700	1		
29	Ev. Kirche von Westfalen	Rödinghausen	Bartholomäuskirche	2.000		1	
30	Ev. Kirche von Westfalen	Bielefeld	Pauluskirche	6.590			1
31	Ev. Kirche von Westfalen	Bielefeld	Johanniskirche	6.148			1
39	Ev. Kirche in Mitteldeutschland	Weimar	Herderkirche	9.085			1
40	Ev. Kirche in Mitteldeutschland	Rudolstadt	Lutherkirche	3.404		1	

Gesamt

2	5	7
---	---	---

Tabelle 7: Kirchen mit guten und sehr guten Lösungen nach dem Raumvolumen geordnet

Kleine Kirchen A bis 2.000 m³

Nr.	Kirche	Ort	Wärmeerzeuger	Grundheizung	Körpernahe Heizung	Sonstiges / Lüftung
25	St. Salvator	Pellworm	keiner	Keine Grundbeheizung	Elektrische Sitzkissenheizung	manuelle Fensterlüftung
28	Vicelin-Kirche	Ratekau	15 Erdwärmesonden, Wärmepumpe, Pufferspeicher mit elektrischer Zusatzheizung	WW-Fußbodenheizung WW-Unterflurkonvektoren statische WW-Heizung	Elektrische Sitzkissenheizung	natürliche Infiltration

25 Pellworm: Minimalausstattung, Energieverbrauch im Vergleich zu allen anderen Kirchen vernachlässigbar, hohe rel. Feuchte durch Lage am Wasser;
unterschiedliche Akzeptanz der niedrigen Temperaturen im Winter;
Fazit: ausschließlich elektrische Sitzkissenheizung in Einzelfällen geeignet

28 Ratekau: modernes Heizungssystem auf Basis von Geothermienutzung mit Wärmepumpe, Pufferspeicher;
Kombination von WW-Fußbodenheizung mit elektrischer Sitzkissenheizung;
WW-Unterflurkonvektoren und statische WW-Heizung;
nach Pellworm geringste CO₂-Emmision
Fazit: empfehlenswerte zukunftsfähige Lösung

Große Kirchen C über 5.000 m³

Nr.	Kirche	Ort	Wärmeerzeuger	Grundheizung	Körpernahe Heizung	Sonstiges / Lüftung
19	St. Marienkirche	Berlin	Fernwärmestation	Wärmestationen (WW-Luft) und WW-Unterflur-Gebälsekonvektoren	WW-Fußbodenheizung WW-Bankheizkörper	keine

19 Berlin Marienkirche:
mit Fernwärme beheizte Kirche; Grundheizsystem sind verteilte Wärmequellen
mit WW-Wärmestationen und WW-Unterflur-/Gebälsekonvektoren, das körpernahe Heizsystem besteht aus WW-Fußbodenheizung und WW-Bankheizkörpern;
mit als weitere Systeme sind statische Heizung, Oberflurkonvektoren, Luftschleier
Befeuchter auf Orgelempore sowie Heizstrahler unter Chorfenstern verteilt; sehr gutes Raumklima, keine Schäden an wertvoller Ausstattung und Orgel
Behaglichkeit etwa am Beginn des oberen Drittels unter Berücksichtigung des großen Raumvolumens und der intensiven Nutzung vergleichsweise geringer Energieverbrauch
Fazit: gute Kombination aus verteilten Wärmestationen/Konvektoren und Fußbodenheizung/Bankheizkörpern und weiteren verteilten Systemen

5.5.2 Beste Lösungen in Abhängigkeit des Raumklimas und der Erhaltung von Kunstwerken

Da es in diesem Abschnitt nur um das Raumluftklima, aber nicht um den Energieverbrauch und die Behaglichkeit geht, gehören auch Kirchen zu dieser Kategorie, die neben sehr guten und guten Gesamtnoten auch befriedigend und ausreichend erhalten.

In 8 Kirchen, das sind 26% der evaluierten Kirchen, werden die untere und die obere Grenze der zulässigen Raumluftfeuchte kaum unter- und überschritten. Das maßgebende Kriterium dazu wird mit über 90% erfüllt.

Für die Einhaltung der Kriterien für den Raumluftzustand ist neben der Anordnung und Auslegung der Gebäudetechnik auch deren Fahrweise entscheidend, d.h. die Funktion der Gebäudeautomation mit eingestellten Sollwerten, Spreizung der Sollwerte zwischen Nutzung und Nichtnutzung sowie der Temperaturgradient.

Bezüglich der Erhaltung von Kunstwerken und des Zustandes der Orgel werden in dieser Kategorie kaum sichtbare Schäden festgestellt.

Allgemeiner Zustand:

- i. Allg. hochwertige Ausstattung und Kirchenbau in einem stabilen guten und gepflegten Erhaltungszustand
- aktuelles Raumklima akzeptabel
- Raumklima ist gut und durch umfangreiche Messtechnik nachgewiesen, durch örtlichen Restaurator bestätigt

Sichtbare Schäden:

- vorhandene Schäden hängen untergeordnet mit der Kirchentemperierung zusammen
- alte Putz- und Anstrichschäden
- älteres partielles Schimmelwachstum aufgrund von Staubablagerung und hoher Luftfeuchtigkeit, vermutlich durch mangelnde Lüftung
- auf Sockel Nord- und Westwand Salzkristallisation sichtbar, partielle Farbblockierungen
- ältere Trocknungsrisse an Holz-Kirchenbänken und Wandbildern
- aktiver geringer Anobienbefall an Prinzpalstücken
- Malschichtschäden am Altar, vermutlich nicht feuchtebedingt

Zustand der Orgel:

- keine aktuellen Schäden aufgrund des Raumklimas (z.B. Schrumpfen der Hölzer)
- guter und gepflegter Zustand
- auf den Oberflächen sehr geringe Verstaubungen
- in einer Kirche sorgfältige Schimmelpilzbekämpfung
- ausreichende Luftzirkulation
- in einem Fall Schimmelflecken am Dach des Orgelgehäuses und Pfeifenbrettern (organische Farbe) und geringer mikrobieller Befall

Fahrweise der Gebäudetechnik:

- relative Feuchte weitgehend in den empfohlenen Grenzen, seltene Grenzwertverletzungen
- erhöhte, tolerierbare, geringe bis sehr geringe dynamische Abweichungen der rel. Feuchte von der historischen Variabilität
- Empfohlener Auf- und Abheizgradient von ± 1 K/h wird meist über-/unterschritten, in einem Fall Einhaltung $\pm 0,5$ K/h
- in den meisten Kirchen funktionierende Feuchtevorrangschaltungen vorhanden
- Temperaturregelung funktionieren sehr gut, tlw. exakte Einhaltung der Sollwerte
- Lüftungsvorgänge sind nicht zu erkennen

eingestellte Sollwerte, Differenz (Spreizung) zwischen Sollwerten, zulässiger Temperaturgradient:

- geringe Solltemperaturen T_i für Nutzung und T_0 für Nichtnutzung sind maßgebend für einen geringen Heizenergieverbrauch
- günstige Werte: $T_0 \approx 5^\circ\text{C} - 8^\circ\text{C}$
 $T_i \approx 12^\circ\text{C} - 14^\circ\text{C}$, bei Konzerten höher
- relativer Heizenergieverbrauchskennwert wird klein bei großem Bezugsvolumen, geringem Verbrauch und intensiver Nutzung
- bei möglichst geringer Spreizung $T_i - T_0$ und geringer Änderungsgeschwindigkeit der Temperatur < 1 K/h funktionieren die Regelungen gut, Grenzwerte für die relative Feuchte lassen sich einhalten, Feuchtespitzen werden gedämpft
- Nachweis der positiven Auswirkung der Feuchtevorrangschaltung erbracht; Feuchtevorrangschaltung funktioniert, wenn diese sorgfältig eingestellt ist

Beispiel:

Nr.	Kirche	Ort	Wärmeerzeuger	Grundheizung	Körpernahe Heizung	Sonstiges / Lüftung
17	Apostel-Paulus-Kirche	Berlin-Hermsdorf	moderne Gasheizung	WW-Heizung Statische Heizung	Bankheizkörper Flachheizkörper	manuelle Fensterlüftung

17 Berlin-Hermsdorf, Apostel-Paulus-Kirche:

moderne Gasheizung versorgt statische WW-Heizung mit Heizkörpern als Grundheizung und WW-Bankheizung (Flachheizkörper) als körpernaher Heizung;
 manuelle Fensterlüftung;
 körpernahes Heizsystem (Flachheizkörper) mit erhöhter lokaler Temperatur; Oberflächen von Wänden und Ausstattungsstücken in einem sehr guten Zustand;
 zu trockenes Raumklima; im Sommer muss Feuchtevorrangschaltung durch Koordination mit der Heizung aktiviert werden;
 hohe Heizenergieverbrauchskennwerte unter Berücksichtigung des mittleren Raumvolumens und der geringen Nutzung;
 Behaglichkeit im oberen Bereich im Vergleich mit allen betrachteten Kirchen

Fazit: abgestuftes modernes Heizungssystem entspricht dem Stand der Technik

5.5.3 Beste Lösungen in Abhängigkeit des Energieverbrauchs

Betrachtet man nur den Energieverbrauch, aber nicht das Raumluftklima und die Behaglichkeit, so werden diejenigen 16 Kirchen ausgewählt, die einen Energieverbrauchskennwert von EVK > 80% aufweisen. Als Beispiel wird die Pauluskirche Bielefeld herangezogen.

Nr.	Kirche	Ort	Wärmeerzeuger	Grundheizung	Körpernahe Heizung	Sonstiges / Lüftung
30	Pauluskirche	Bielefeld	Fernwärme, Strom	Indirekt befeuerter WLE (WW-Luft)	Elektrische Sitzkissenheizung	Fenster manuell zu öffnen

30 Bielefeld Pauluskirche:

Fernwärme versorgt dezentrale WW-Wärmestationen;
elektrische Sitzkissenheizung und elektrische Bankheizkörper als körpernahe Heizungen;
Fenster manuell zu öffnen;
zu hohe relative Feuchte mit tlw. Schäden;
geringer relativer Heizenergieverbrauch;
Behaglichkeit für die meisten der Befragten gut

Fazit: gute Kombination aus Wärmestationen und Bankheizung mit Optimierungspotential

5.5.4 Beste Lösungen in Abhängigkeit der Behaglichkeit

Betrachtet man nur die Bewertung der Behaglichkeit aber nicht Raumluftklima und Energieverbrauch, so werden diejenigen Kirchen erfasst, die ein aggregiertes Behaglichkeitsmaß von > 80% aufweisen. Man findet auch 2 Kirchen in dieser Kategorie, die mit der Gesamtnote schlechter abschneiden.

Nr.	Kirche	Ort	Wärmeerzeuger	Grundheizung	Körpernahe Heizung	Sonstiges / Lüftung
29	Bartholomäuskirche	Rödinghausen	Erdgas - Heizkessel	Wärmestationen (WW-Luft) und WW-Heizung (stat. Heizung im Querschiff)	WW-Fußbodenheizung	keine

29 Rödinghausen:

gasbefuerter Heizkessel mit 3 gut verteilten Wärmestationen,
statische Warmwasserheizung mit Heizkörpern im Querschiff;
wassergeführte Fußbodenheizung als körpernahe Heizung;
keine Schäden aufgrund des akzeptablen Raumklimas bei geringem Energieverbrauch

Fazit: Kombination verteilter Wärmestationen mit Fußbodenheizung wirkt positiv

5.5.5 Gute und sehr gute Kombinationen von Systemen der Grundheizung und der körpernahen Heizung

Die nachfolgende Grafik stellt die verschiedenen Kombinationen aus Wärmeerzeugung, Grundheizung und körpernaher Heizung dar. Die Dicke der Pfeile steht für die Häufigkeit der jeweiligen Kombination in den untersuchten Kirchen.

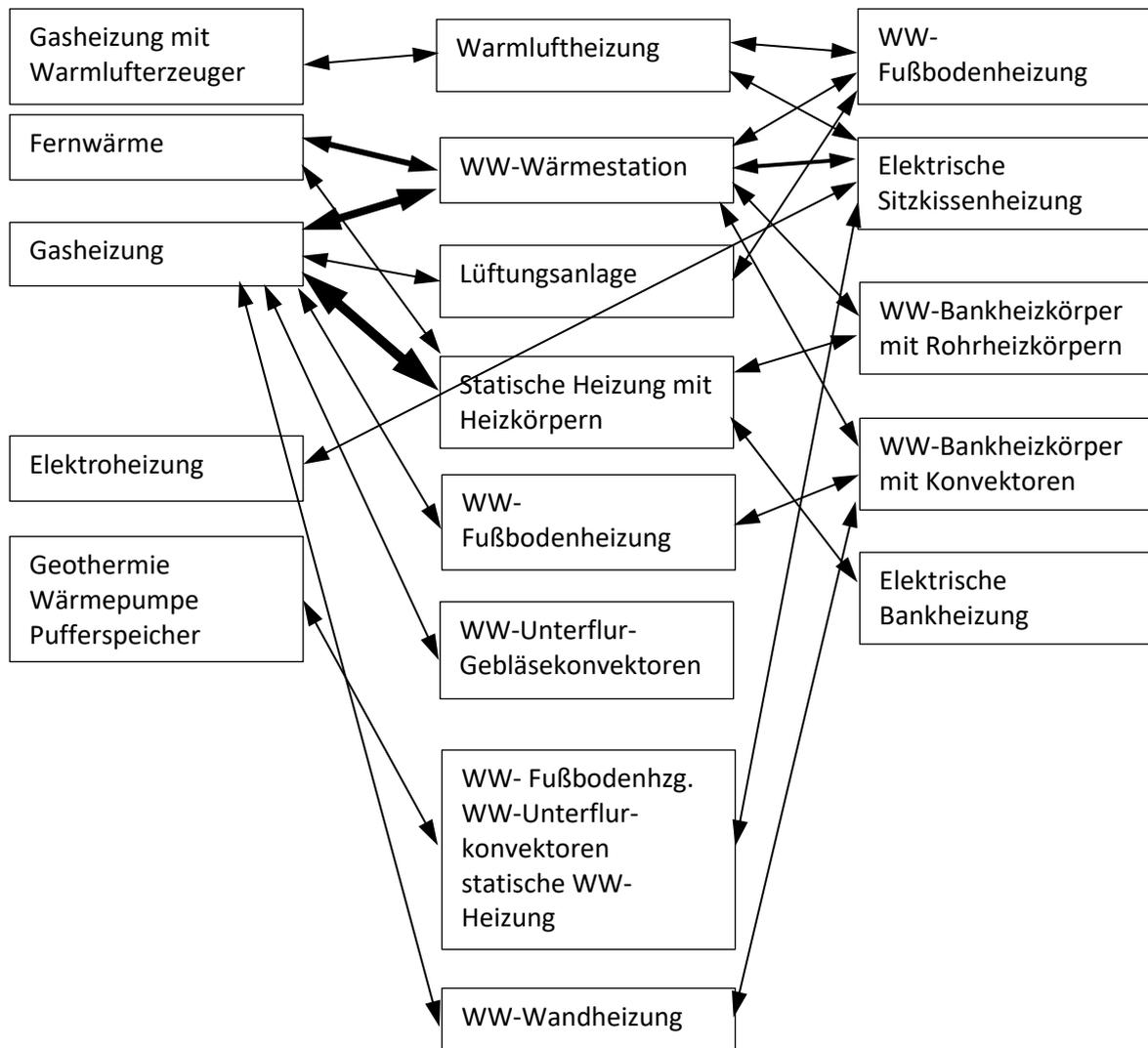


Abbildung 13: Insgesamt gefundene Kombinationen aus Wärmeerzeugung, Grundheizung und körpernaher Heizung

Interessant sind nun diejenigen Kombinationen und die Anzahl von verschiedenen Systemen der Grundheizung und der körpernahen Heizung mit guten und sehr guten Gesamtbewertungen.

Jede der 14 Kirchen weist eine andere Kombination aus Grundheizung und körpernahem Heizsystem auf. Jede Kombination kommt nur einmal vor. Das ist zwar bei der Vielzahl der untersuchten Kirchen überraschend aber auch nicht erstaunlich, weil jede Kirche ein Unikat ist [Arendt 1992]. Die Kombinationen aus Wärmeerzeugung, Grundheizung und körpernaher Heizung, der Anlagentyp, die Verteilung der Wärmeübergabe und damit die Auslegung der Anlage sowie die Steuer- und Regelstrategie sind abhängig von der Lage des Gebäudes, der Gebäudegeometrie, den Anforderungen des Denkmalschutzes und von der Nutzung.

Nr. Kombination	Grundheizung	körpernahe Heizung	Anzahl
1.1	Warmluftheizung	WW-Fußbodenheizung	1
1.2		Elektr. Sitzkissenheizung	1
2.1	WW-Wärmestation	WW-Fußbodenheizung	1
2.2		Elektr. Sitzkissenheizung	1
2.3		WW-Bankheizkörper mit Konvektoren	1
3.1	WW-Wärmestation +Statische Heizung	WW-Fußbodenheizung	1
3.2	WW-Wärmestation +Konvektoren (Unterflur-, Gebläse-)	WW-Bankheizkörper mit Rohrheizkörpern	1
4.1	Statische Heizung	WW-Bankheizkörper mit Rohrheizkörpern	1
4.2		Elektr. Bankheizung	1
4.3		WW-Fußbodenheizung	1
5.1	WW- Fußbodenheizung	WW-Bankheizkörper mit Konvektoren	1
5.2	WW- Fußbodenheizung + Konvektoren (Unterflur-, Gebläse-)	Elektr. Sitzkissenheizung	1
6.1	WW-Wandheizung	WW-Bankheizkörper mit Konvektoren	1
6.2		Elektr. Sitzkissenheizung	1

Tabelle 8: Die besten Lösungen

Häufig vorhandene und bewährte Systeme der Grundheizung:

- WW-Wärmestationen ohne oder mit
 - Statische Heizung
 - Unterflurkonvektoren
 - Unterflurgebläsekonvektoren
- Statische Heizung
- WW- Fußbodenheizung ohne oder mit
 - Unterflurkonvektoren
 - Unterflurgebläsekonvektoren

Häufig vorhandene und bewährte Systeme der körpernahen Heizung:

- WW- Fußbodenheizung
- WW-Bankheizkörper mit Konvektoren oder Rohrheizkörpern
- Elektr. Sitzkissenheizung

6 Investition und Transformation in der Projektphase 2

In der Projektphase 2 sollten die Erkenntnisse aus der 1. Projektphase im Rahmen eines Transformationsprozesses auf etwa 10 Kirchen in Norddeutschland übertragen werden. Dies bedeutete, dass die Projektbeteiligten zentral Vorplanungen erstellen, die in Abstimmung mit den örtlichen Akteuren - also Kirchengemeinden, Architekten und Fachplanern - in diesen Kirchen umgesetzt werden. Die Annahme war, dass etwa 30 % der sonst üblichen THG-Emissionen eingespart werden und die geforderte Behaglichkeit durch körpernahe Komponenten der Temperierung sichergestellt werden könne. Vor allem sollten durch eine koordinierte Fahrweise der technischen Anlagen Schäden an den wertvollen Ausstattungen und an den Orgeln vermieden werden.

Mit der Weiterentwicklung der Zielstellung des Projektes in 2021 wurde der Wechsel von fossilen hin zu erneuerbaren Energieträgern für die Wärmeerzeugung mit vorwiegend erneuerbaren Energien, wie Geothermie mit Wärmepumpen, Pelletheizungen, Photovoltaik und Fernwärme geplant. Das ließ

– ein Einsparpotential von bis zu vorausberechneten 66 % an THG-Emissionen

erwarten und verlangte nun einen Austausch der konventionellen Wärmeerzeuger in den Kirchen. Die Lagerung der Energieträger, die Verteilung der Wärme im Raum und die Übergabe der Wärme waren meist komplett neu zu konzipieren. Weiterhin ließen

- die geschickte Kombination von Grundheizung und körpernaher Heizung,
- innovative Regelungsstrategien für Heizung und Lüftung und
- die maßvolle Anpassung und Reduzierung der Solltemperaturen

für die kalkulierte Vorzugsvariante der Vorplanung

– ein Einsparpotential von bis zu vorausberechneten 30 % am Wärmeenergieverbrauch

erwarten.

Damit werden auch die Ziele des integrierten Klimaschutzkonzeptes der Landeskirche Hannovers und der Beschlüsse der anderen Landeskirchen übertroffen. Die nun anspruchsvollere Zielstellung zog eine Reihe von erschwerenden Konsequenzen nach sich, die nicht nur mit der aufwendigeren Fachplanung und Umsetzung zu tun hatten und die zu zeitlichen Verzögerungen im Bauablauf führten, sondern die auch durch die Corona-Pandemie, die Energiekrise, den Fachkräftemangel, den starken Preisanstieg, usw. bedingt waren.

Änderung im ursprünglichen Planungsansatz

Das grundsätzliche Ziel, einen Wissenstransfer durch Weitergabe der Vorplanungen an örtliche Planungsbüros zu erwirken, wurde erreicht. Durch den Übergang von fossilen zu erneuerbaren Energieträgern und den gestiegenen Kosten war es 4 ausgewählten Kirchengemeinden nicht mehr möglich, die erforderlichen finanziellen Mittel aufzubringen. Weitere Kirchen mussten einbezogen werden. Eine neue Kirche wurde gefunden und final sind 7 Kirchen im Projekt verblieben. Die Fördermittel für die innovativen Kosten verteilten sich nunmehr auf 7 Kirchen und werden nach Tabelle 10 fast ausgeschöpft.

Für die 7 Kirchen wurden

- Vor- und Entwurfskonzepte durch das Projektteam erstellt,
- eine Gesamtübersicht energetischer Daten und innovativer Kosten erstellt,
- die CO₂-Emission vom Bestand und von der Vorzugsvariante ermittelt,
- die Realisierung der Konzepte von 2022 – 2023 geplant und
- die Evaluierung durch technisches und sozialwissenschaftliches Monitoring organisiert.

Der ursprüngliche geplante Projektablauf der Projektphase 2 des Transformationsprojektes gestaltete sich folgendermaßen:

- 04/2021 Start der Projektphase 2
- 04-05/2021 Bestandsaufnahme von TGA, Bauklimatik und Denkmalschutz
- Start 04/2021 Sozialwissenschaftliches Monitoring vor den Baumaßnahmen
- 07-08/2021 Installation der Messtechnik für das Raumklima
- 04 – 12/2021 Vorkonzept, Entwurfskonzepte, Genehmigungsplanung, Übergabe an lokale Planungsbüros
- 10/2021 – 05/2022 Ausführungsplanung, Ausschreibungen, Angebotsauswertung
- 07/2021 – 06/2022 Wissenschaftlich-Technische Evaluation vor den Baumaßnahmen
- 06 – 09/2022 Bauphase
- 10/2022 – 09/2023 Wissenschaftlich-Technische Evaluation nach den Baumaßnahmen
- Start 02/2023 Sozialwissenschaftliches Monitoring – ex ante
- 10-12/2023 Auswertung

Im Verlauf des Projektes stellte sich heraus, dass der Betreuungs- und Planungsaufwand erheblich höher war als ursprünglich angenommen. Mehrere unvorhergesehene Gründe trugen zu dieser Situation bei, die sich wie folgt darstellen:

1. **Corona:**

Die COVID-19-Pandemie hat die Kommunikation und Koordination zwischen allen Beteiligten erheblich erschwert. Die daraus resultierenden Verzögerungen haben zu erhöhtem Betreuungsaufwand geführt.

2. **Energiekrise durch den Ukraine-Krieg:**

Dieser unvorhergesehene geopolitische Konflikt hat zu einer globalen Energiekrise geführt, die die Energiepreise in die Höhe getrieben hat. Dies hat direkte Auswirkungen auf die Kosten des Projekts gehabt.

3. **Lieferkettenprobleme:**

Aufgrund von Störungen in der globalen Lieferkette war die Verfügbarkeit von Materialien und Dienstleistungen eingeschränkt. Dies hat zu Verzögerungen im Projektverlauf geführt und die Kosten erhöht, da alternative Quellen oder Anbieter gefunden oder höhere Preise für Materialien und Dienstleistungen gezahlt werden mussten.

4. **GEG-Änderung:**

Die Finanzierung des Projekts war generell eine Herausforderung. Die Änderung des Gebäudeenergiegesetzes (GEG) hat jedoch die Landschaft der Fördermöglichkeiten grundlegend verändert und die Kirchengemeinden bei der Finanzierung vor neue Herausforderungen gestellt. Dies hat zu einem erhöhten Betreuungsaufwand geführt, da zusätzliche Zeit und Ressourcen für die Beratung und die Anpassung an diese neuen Anforderungen aufgewendet werden mussten.

5. **Beständige Erhöhung der Baukosten:**

Zwischen der ersten Kostenschätzung und dem tatsächlichen Beginn des Projekts sind die Baukosten stetig gestiegen. Dies hat zu einer Diskrepanz zwischen dem ursprünglich geplanten Budget und den tatsächlichen Kosten geführt, was eine Überarbeitung des Budgets und eine Anpassung der Finanzierungsstrategie erforderlich machte.

6. **Absage und Akquise von Kirchen:**

Aufgrund der gestiegenen Kosten und dem Wegfall von zusätzlichen Fördermöglichkeiten war es einigen Kirchen nicht mehr möglich an dem Projekt ETiK teilzunehmen. Dies wurde durch die Neuakquise von Kirchen aufwendig kompensiert. Die verbliebenen Kirchen benötigten eine umfangreiche Unterstützung, um das Projekt unter den erschwerten Bedingungen durchzuführen.

7. **Fehlende Verfügbarkeit von Firmen und Fachplanenden:**

Die Verfügbarkeit von qualifizierten Firmen und Fachplanenden war eine Herausforderung. Dies hat zu Verzögerungen im Projektverlauf geführt.

Aufgrund der geschilderten ergab sich der tatsächliche Projektablauf wie folgt:

- 04/2021 Start Projektphase 2
- 03-08/2021 Bestandsaufnahme
- Start 04/2021 Sozialwissenschaftliches Monitoring vor den Baumaßnahmen
- 07-08/2021 Installation der Messtechnik für das Raumklima
- 07/2021 – 09/2022 Vorkonzept, Entwurfskonzepte, Genehmigungsplanung, Übergabe an lokale Planungsbüros
- 09/2021 – 08/2023 Ausführungsplanung, Ausschreibungen, Angebotsauswertung
- 08/2021 – 07/2022 Wissenschaftlich-Technische Evaluation vor den Baumaßnahmen
- 08/2022 – 10/2023 Bauphase
- 10/2023 – 03/2024 Wissenschaftlich-Technische Evaluation nach den Baumaßnahmen
- Start 02/2024 Sozialwissenschaftliches Monitoring – ex ante
- 04-06/2024 Auswertung

Die Bauarbeiten in 7 Kirchen waren weitgehend bis Ende Oktober 2023 abgeschlossen. Mit den Messungen des Raumluftzustandes unter Berücksichtigung der neuen Technik und der Energieverbräuche konnte erst nach Abschluss der Bauarbeiten begonnen werden. Die Messungen endeten vorerst am Ende des 1. Quartals 2024. Die sozialwissenschaftlichen Befragungen für die Situation im Winterhalbjahr musste im 1. Quartal 2024 stattfinden. Die Auswertungen erfolgten bis zum Ende des 2. Quartals 2024.

RAHMENTERMINPLAN - SOLL				RAHMENTERMINPLAN - IST						
				KG03	KG09	KG11	KG12	KG13	KG16	KG20
				Budehude	Muls um	Alt-Reinickendorf	St. Jacobi B-Kreuzberg	B-Zion	Bleicherode	Horn
15.04.2021	Projektstart			15.04.2021	15.04.2021	01.12.2021	15.04.2021	15.04.2021	15.04.2021	15.04.2021
bis 31.05.2021	Bestandsaufnahme	IB N-B		23.06.2021	23.06.2021	10.03.2022	19.08.2021	19.08.2021	16.08.2021	17.08.2021
bis 31.07.2021	Vorkonzept	IB N-B		30.07.2021	30.07.2021	08.12.2021	30.07.2021	30.07.2021	30.07.2021	30.07.2021
	Vorabstimmungen mit Kirchbaupflege, Denkmalschutz, Objektplanem									
bis 30.09.2021	Entwurfskonzept	IB N-B		21.01.2022	21.12.2021	25.05.2022	27.01.2022	11.04.2022	17.01.2022	20.12.2021
bis 31.10.2021	Genehmigungsplanung	IB N-B		16.12.2022	21.12.2021	25.05.2022	16.09.2022	15.11.2021	28.02.2022	20.12.2021
	Einholen Zustimmung BSFM, Denkmalschutz									
bis 30.11.2021	Übergabe Planungen an lokale Ingenieurbüros	IB N-B + lokale Ingenieurbüros		11.02.2022	27.05.2022	12.09.2022	03.02.2022	15.11.2021	20.01.2022	30.01.2022
bis 28.02.2022	Ausführungsplanung	lokale Ingenieurbüros		29.09.2022	03.07.2023	24.05.2023	21.08.2023	31.05.2022	21.08.2023	12.12.2022
bis 31.03.2022	Erstellen Ausschreibungsunterlagen	lokale Ingenieurbüros		05.09.2022	27.03.2023	24.05.2023	10.03.2023	15.06.2022	22.05.2022	18.07.2022
bis 15.05.2022	Kalkulation Firmen, Angebotsabgabe Firmen									
31.05.2022	Angebotsauswertung	lokale Ingenieurbüros		24.10.2022	15.04.2023	11.07.2023	12.05.2023	28.06.2022	06.06.2023	18.08.2022
15.06.2022	Vergabe Bauleistungen, Bauanlaufberatung	lokale Ingenieurbüros								
bis 30.06.2022	Baubeginn, Bauzeit ca. 3 Monate	lokale Ingenieurbüros		06.12.2022	12.06.2023	26.07.2023	07.06.2023	01.08.2022	26.07.2023	01.10.2022
bis 30.09.2022	Fertigstellung Bauleistungen	lokale Ingenieurbüros		20.04.2023	19.10.2023	06.10.2023	19.10.2023	10.05.2023	13.10.2023	31.05.2023
bis 30.09.2022	Einrichtung und Inbetriebnahme	lokale Ingenieurbüros		09.05.2022	19.10.2023	06.10.2023	19.10.2023	10.05.2023	13.10.2023	31.05.2023
bis 15.10.2022	Übergabe und Betriebsbeginn	lokale Ingenieurbüros + IB N-B		10.05.2023	26.10.2023	13.10.2023	26.10.2023	22.06.2023	20.10.2023	01.06.2023

Tabelle 9: Rahmenterminplan SOLL und IST für 7 Transformationskirchen

	1. Kostenschätzung ohne bauseitige Leistungen		1. Kostenberechnung ohne bauseitige Leistungen		2. Kostenberechnung ohne bauseitige Leistungen		3. Kostenberechnung ohne bauseitige Leistungen		max. Fördersummen ohne bauseitige Leistungen		Kostenfeststellung ohne bauseitige Leistungen	
	16.09.2021	davon ETIK	xx.12.2021 14.02.2022 13.04.2022	davon ETIK	xx.xx.2022 xx.xx.2023	davon ETIK	xx.xx.2023	davon ETIK	Stand per 28.02.2023	Mögliche Zusage an Kirchengemeinde	29.11.2024	davon ETIK
	brutto	brutto	brutto	brutto	brutto	brutto	brutto	brutto		brutto		brutto
KG 03 Petrikirche Buxtehude	142.443,00 €	88.179,00 €	140.517,12 €	82.951,60 €	154.865,13 €	100.656,51 €				100.656,51 €	219.704,40 €	100.656,51 €
KG 09 St. Petrikirche Mulsum - A	235.977,00 €	78.944,60 €	252.766,83 €	94.794,33 €	296.110,08 €	105.373,26 €				105.373,26 €	409.250,69 €	105.373,26 €
KG 11 B-Reinickendorf	182.546,00 €	39.080,00 €	167.744,63 €	48.295,34 €	193.311,43 €	62.221,35 €				62.221,35 €	287.089,90 €	62.221,35 €
KG 12 St. Jakobikirche B-Kreuzberg*	471.240,00 €	89.273,80 €	556.404,51 €	95.834,79 €	631.093,56 €	111.795,68 €				111.795,68 €	1.011.329,82 €	111.795,68 €
KG 13 Zionskirche Berlin	485.639,00 €	94.557,00 €	542.909,17 €	161.048,58 €	542.909,17 €	161.048,58 €				161.048,58 €	283.925,15 €	161.048,58 €
KG 16 St. Marienkirche Bleicherode	339.983,00 €	79.920,40 €	366.188,31 €	88.901,43 €	142.044,91 €	110.442,99 €	99.532,97 €	85.439,58 €		85.439,58 €	115.621,95 €	85.439,58 €
KG 20 Stadtkirche Horn	474.929,00 €	114.835,00 €	506.255,06 €	162.387,64 €	517.807,24 €	162.387,64 €				162.387,64 €	926.787,78 €	162.387,64 €
1 01 Summen	2.332.757,00 €	584.789,80 €	2.532.785,63 €	734.213,71 €	2.478.141,52 €	813.926,01 €				788.922,60 €	3.253.709,69 €	788.922,60 €
Index				8,57%		6,23%					39,48%	
Abweichung vom max. zulässiger Summe				-8,22%		1,74%				-1,38%		-1,38%
1 02 Summen, max. zulässig		800.000,00 €		800.000,00 €		800.000,00 €				800.000,00 €		800.000,00 €
1 03 Reserven		215.210,20 €		65.786,29 €		-13.926,01 €				11.077,40 €		11.077,40 €

Tabelle 10: Kostenschätzung und Entwicklung der Kostenberechnung für 7 Transformationskirchen

6.1 Bauliche Lösungen

Mit dem Abschluss der Projektphase 1 wurden eine Reihe von Übersichten zusammengestellt, die für die 30 Kirchen Systemvergleiche bzgl. Wärmeerzeugung, Grundheizsystem und körpernahe Heizsystem darstellen. Die Einordnung, die Systematisierung und die Kategorisierung der verschiedenen Varianten wurde weiter verfeinert. Die besten Lösungen wurden herausgearbeitet. In jeder Kategorie bildet sich die gesamte Vielfalt an technischen Anlagen ab. Es kommt daher auf die sorgfältige Planung, die optimale Verteilung der Wärmeübergabe und die Fahrweise der technischen Anlagen an. Die besten verschiedenen Kombinationen von Grundheizung und körpernaher Heizung nach Tabelle 11 wurden für 7 Transformationskirchen realisiert und für 4 Kirchen mit erneuerbaren Energieträgern gekoppelt.

Nr. Kombination	Grundheizung	körpernahe Heizung	Anzahl
3.2	WW-Wärmestation +Konvektoren (Unterflur-, Gebläse-)	WW-Bankheizkörper mit Rohrheizkörpern	5
4.1	Statische Heizung	WW-Bankheizkörper mit Rohrheizkörpern	2
4.3		WW-Fußbodenheizung	2
5.2	WW- Fußbodenheizung +Konvektoren (Unterflur-, Gebläse-)	Elektr. Sitzkissenheizung	1

Tabelle 11: Realisierung der besten Lösungen, Kombinationen von Grundheizung und körpernaher Heizung

Für die in der Tabelle 12 aufgeführten Transformationskirchen werden Steckbriefe im Anhang 2 bereitgestellt, die die Situationen vor den Baumaßnahmen, aus der Vorplanung und nach den Baumaßnahmen für jede Kirche ausführlich erfassen und bewerten. Die baulichen Lösungen werden in Kurzform in der nachfolgenden Tabelle 12 dargestellt.

Mit der Überzeugung, die CO₂-Emissionen für die Transformationskirchen deutlich zu senken, wurden folgende Lösungen vorgeschlagen:

- 4 Kirchen werden auf erneuerbare Energieträger umgestellt, wie Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Erdsonden und Pufferspeicher und Pelletkessel mit Pufferspeicher,
- 1 Kirche erhält als Energieträger Fernwärme,
- 2 Kirchen behalten die vorhandene Gasheizung.

Nr.	Name	Bestand	Plan				
		Energie-träger	Energieträger	Wärmeerzeuger	Grundheizung	Körpernahe Heizung	Lüftung
3	St. Petri Buxtehude	Erdgas	Erdgas + Strom	vorhandener Gasbrennwertkessel wird weitergenutzt	Ergänzung von Unterflurkonvektoren entlang der Außenwände	Ergänzung von Sitzkissenheizung, fest angeschlossen und akkubetrieben	Lüftungsfenster mit Abluftanlage
9	St. Petri Mulsum	Heizöl	Pellets	Pelletkessel mit Pufferspeicher	Wärmestationen + Thermofußleisten entlang der Außenwände	Bankheizkörper, Rohr-in-Rohr	Lüftungsfenster
11	Dorfkirche Alt-Reinickendorf	Erdgas	Strom	Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Erdsonden und Pufferspeicher	Wärmestation + Heizkörper entlang der Außenwände + Unterflurkonvektoren	Bankheizkörper, Rohr-in-Rohr	Lüftungsfenster
12	St.-Jacobi Berlin	Heizöl + Strom	Fernwärme	Fernwärmeübergabestation	Wärmestationen + Oberflurkonvektoren + stat. Heizflächen	Fußboden-heizung im Gestühl	Lüftungsfenster
13	Zionskirche Berlin	Erdgas	Erdgas + Strom	Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Erdsonden und Pufferspeicher + vorhandener Gasbrennwertkessel	Unterflurkonvektoren und stat. Heizflächen entlang der Außenwände	Fußboden-heizung im Mittelschiff	Lüftungsfenster mit Abluftanlage
16	St. Marien Bleicherode	Erdgas	Pellets	Pelletkessel mit Pufferspeicher	Wärmestationen + Thermofußleisten entlang der Außenwände	Bankheizkörper, Rohr-in-Rohr	Lüftungsfenster mit Abluftanlage
20	Stadtkirche Horn	Erdgas	Pellets + Strom	Pelletkessel mit Pufferspeicher	Wärmestationen + Oberflurkonvektoren und stat. Heizflächen entlang der Außenwände	Flachbankheizkörper im Gestühl + elektrische Bankheizkörper im Chorraum	Lüftungsfenster mit Abluftanlage

Tabelle 12: Geplante bauliche Lösungen für 7 Transformationskirchen

Die Heizung der St. Petri – Kirche in Buxtehude wird weiter mit dem vorhandenen Gasbrennwertkessel betrieben, der nicht erneuerungsbedürftig und ausreichend dimensioniert ist. Für die St. Marien – Kirche in Bleicherode war ursprünglich eine Pelletheizung mit Pufferspeicher, Wärmestationen, Thermofußleisten entlang der Außenwände sowie Bankheizkörper als körpernahe Heizung nach Tabelle 12 geplant. Da leider Fördermittel nicht zur Verfügung standen, verbleibt die Gasheizung mit Flachheizkörpern im Altarraum und Oberflurkonvektoren. Allerdings kann eine körpernahe Heizung mit akkubetriebenen elektrischen Sitzkissen ergänzt werden. Für die Zionskirche in Berlin ist Geothermie mit Sole-Wasser-Wärmepumpe für die Grundlast vorgesehen, die allerdings erst in 2025 realisiert wird. Die Spitzenlast soll über die vorhandene Gasbrennwerttherme abgedeckt werden.

Alle Kirchen erhalten eine automatisierte Lüftung mit steuerbaren Lüftungsfenstern und in 4 Fällen mit koordinierten Abluftanlagen. Die Abluftanlagen werden in den Fällen installiert, in denen die Querschnitte der Lüftungsfenster nicht ausreichen. Alle Kirchen werden mit zeitgemäßen Systemen der Gebäudeleittechnik ausgestattet, die einen Zugriff auf alle Messwerte sowie auf die Steuerungen/Regelungen erlauben.

Details der baulichen Lösungen enthalten die Steckbriefe für die 7 Transformationskirchen in Anlage 2, deren Gliederung im Folgenden beschrieben wird.

Beschreibung des Istzustandes

- Zustand von Technik, Ausstattung und Nutzung vor der Maßnahme
- Raumklima vor der Maßnahme aufgrund der Messungen über 1 Jahr
- Energetische Bewertung vor der Maßnahme mit Energieverbrauchskennwerten
- Sozialwissenschaftliches Monitoring vor der Maßnahme mit der verbalen Beurteilung durch die Nutzer
- Darstellung der Messwerte für das Raumklima vor der Maßnahme von 10/2021 – 09/2022

Energetische Kennwerte, innovative Kosten und Ansätze aus der Vorplanung

- Energetische Daten aus dem Bestand und der Vorzugsvariante der Vorplanung
- Zusammenstellung der innovativen Kosten
- Begründungen der innovativen Ansätze der einzelnen Positionen
- Schaubild für die technische Lösung

Beschreibung der Situation nach der Baumaßnahme

- Bewertung des Raumklimas nach der Maßnahme aufgrund der Messungen von 01/2024 – 12/2024
- Energetische Bewertung nach der Maßnahme mit Energieverbrauchskennwerten
- Sozialwissenschaftliches Monitoring nach der Maßnahme mit der verbalen Beurteilung durch die Nutzer
- Darstellung der Messwerte für das Raumklima nach der Baumaßnahme von 01/2024 – 12/2024
- Beurteilung und Bewertung der neuen Funktionen der Gebäudeleittechnik
- je 9 Bilder der technischen Anlagen

Die Veränderung von Schadensbildern an der Orgel und klimabedingten Schäden an wertvollen Artefakten kann nach den Baumaßnahmen noch nicht beurteilt werden, weil der Zeithorizont vom Abschluss der Baumaßnahmen bis zum Abschluss der Messungen viel zu gering ist. Hier sollten nach ca. 2 – 3 Jahren die entsprechenden Fachleute eine fundierte Beurteilung vornehmen.

Zusammenfassung und Vergleich von Kennwerten vor und nach den Baumaßnahmen

- Energetischer Vergleich
- Vergleich des Raumklimas
- Sozialwissenschaftlicher Vergleich

6.2 Technisches Monitoring

6.2.1 Raumklima

Die Auswertung des Raumklimas vor und nach den Baumaßnahmen erfolgte nach der gleichen Strategie wie in der Projektphase 1 nach Abschnitt 5.2.5.

Folgende Kennwerte bewerten wiederum das Raumklima:

- die zulässige Änderungsgeschwindigkeit A für die Temperatur,
- die Einhaltung B_{pos} des oberen Grenzwertes der relative Feuchte von 70%,
- die Einhaltung B_{neg} des unteren Grenzwertes der relative Feuchte von 45%.

In Tabelle 13 sind die Kennwerte für den Raumlufzustand vor und nach der Baumaßnahme dargestellt, wobei der Wert 0 die Einhaltung des zulässigen Grenzwertes beschreibt. Je größer der Wert ist, um so größer ist die Abweichung vom empfohlenen Raumklima, d.h. die Über- oder Unterschreitung des empfohlenen Grenzwertes.

Stand 05/2024: Meßzeitraum 10/2023 – 03/2024

Stand 05/2025: Meßzeitraum 01/2024 – 12/2024

In den Kirchen St. Petri Buxtehude und St. Petri Mulsum wurde nach der Baumaßnahme eine deutliche Überschreitung des oberen Grenzwertes der relativen Feuchte von 70% gemessen, was auch durch die Nähe zur See mit bedingt sein kann. Es ist bekannt, dass der Herbst 2023 sehr feucht war. Das zeigt auch die Berechnung der absoluten Feuchte in der Außenluft gegenüber der Raumluf. Diese Tatsache geht in die Berechnung mit ein. In St. Jacobi Berlin wurde nach der Maßnahme der untere Grenzwert der relativen Feuchte deutlich unterschritten, was durch die Inbetriebnahme von Heizkreisen, speziell für die neue Fußbodenheizung zur Trocknung der Estriche bedingt war. Vergleicht man nun den Stand 05/2024 und 05/2025 mit dem Stand vor der Baumaßnahme, dann haben sich auch diese Kenngrößen deutlich verbessert.

Folgende Schwierigkeiten für die Auswertung wurden erkannt (Stand 05/2024):

- Ein regelmäßige eingespielter Betriebszustand von Nichtnutzung und Nutzung ist noch nicht zu sehen. Die Phasen von Inbetriebnahme, Erprobung der Funktionalität der Gebäudeleittechnik bis zum Normalbetrieb wechseln sich ab.
- Der begrenzte Messhorizont und damit auch das begrenzte Normierungsintervall ist problematisch. Verlässliche Werte, die auch mit den Ergebnissen der Projektphase 1 vergleichbar sind, können erst nach einem Messintervall von mindesten 1 Jahr, also mit der Auswertung 05/2025 beurteilt werden.
- Problematisch ist die Anbringung der GLT-Raumsensoren auf Wänden oder Holz. Der Sensor koppelt thermisch an den Untergrund an und wird dynamisch träge. So entstehen Unterschiede für die Änderungsgeschwindigkeit und damit für das Maß A zwischen frei liegenden testo-Loggern und GLT-Messgliedern, wie schon in Abschnitt 5.2.4 ausgeführt wurde.

Nr.	Landeskirche	Name der Kirche	Auswertung Messdaten vor Baumaßnahme				Bem.	Baum.	Auswertung Messdaten nach Baumaßnahme // testo Logger // Mittelwert Altar-Orge // Stand: Mai 2024 // Vergleich mit Auswertung vor Baumaßnahmen					Auswertung Messdaten nach Baumaßnahme // testo Logger // Mittelwert Altar-Orge // Stand: Mai 2025 // Vergleich mit Auswertung vor Baumaßnahmen					
			Zeitraum Bewertung Klimamaße	Gradient	Feuchte Obergrenze	Feuchte Untergrenze			Zeitraum Baumaßnah.	Ausgelesen am	Zeitraum Bewertung Klimamaße	Gradient	Feuchte Obergrenze	Feuchte Untergrenze	Ausgelesen am	Zeitraum Bewertung Klimamaße	Gradient	Feuchte Obergrenze	Feuchte Untergrenze
				A	B+	B-						A	B+	B-			A	B+	B-
3	Ev.-luth. Landeskirche Hannovers	St. Petri Buxtehude	09/2021 - 10/2022	0,00	0,31	1,52		12/22-05/23	30.04.2024	11/2023 - 04/2024	0,00	0,57	0,00	09.05.2025	01.03.2024 - 28.02.2025	0,00	0,24	0,12	
9	Ev.-luth. Landeskirche Hannovers	St. Petri Mulsum	10/2021 - 09/2022	0,02	5,05	0,12		06/23-10/23	11.05.24	11/2023 - 04/2024	0,04	21,02	0,00	28.04.2025	01.03.2024 - 28.02.2026	0,03	10,35	0,00	
11	Ev. Kirche Berlin-Brandenburg-schlesische Oberlausitz	Dorfkirche Alt-Reinickendorf	05/2022 - 04/2023	0,00	18,00	0,01	seit Sommer 2020 Kirche unbeheizt	07/23-10/23	06.05.2024	11/2023 - 04/2024	0,12	0,35	1,92	17.03.2025	01.03.2024 - 28.02.2027	0,06	0,22	1,63	
12	Ev. Kirche Berlin-Brandenburg-schlesische Oberlausitz	St.-Jacobi Berlin	09/2021 - 08/2022	0,04	0,00	9,07		06/23-10/23	04.06.2024	11/2023 - 04/2024	0,02	0,00	9,30	07.05.2025	01.03.2024 - 28.02.2028	0,01	0,00	1,82	
13	Ev. Kirche Berlin-Brandenburg-schlesische Oberlausitz	Zionskirche Berlin	09/2021 - 08/2022	0,00	0,16	4,70		08/22-06/23	06.05.2024	11/2023 - 04/2024	0,01	3,48	0,64	19.03.2025	01.03.2024 - 28.02.2029	0,01	2,90	0,40	
16	Ev. Kirche in Mitteldeutschland	St. Marien Bleicherode	09/2021 - 08/2022	0,00	3,64	0,02		07/23-10/23	05.05.2024	11/2023 - 04/2024	0,00	7,10	0,00	23.03.2025	01.03.2024 - 28.02.2030	0,00	5,78	0,00	
20	Lippische Landeskirche	Stadtkirche Horn	09/2021 - 08/2022	0,00	0,22	1,27		10/22-06/23	10.05.24	11/2023 - 04/2024	0,11	3,04	0,00	31.03.2025	01.03.2024 - 28.02.2031	0,03	2,28	0,00	
				0,01	3,91	2,39					0,04	5,08	1,70			0,02	3,11	0,57	
											besser oder gleich	minimal schlechter	schlechter			besser oder gleich	minimal schlechter	schlechter	

Tabelle 13: Aggregierte Kennwerte für den Raumluftzustand vor und nach der Baumaßnahme mit verschiedenen Messsystemen (Bearbeitungsstand: 05/2025)

Bestand, Messwerte Raumklima, testo-Datenlogger vor der Baumaßnahme

Messwerte Raumklima, testo-Datenlogger nach der Baumaßnahme

Messwerte Raumklima, GLT-Messwerte nach der Baumaßnahme

testo: separate Datenlogger von testo des ETiK-Projektes

GLT: Gebäudeleittechnik

blau: Verbesserung gegenüber Bestand,

orange: Verschlechterung gegenüber Bestand

blau-orange: geringfügige Verschlechterung gegenüber Bestand

Betrachtet man für den Messhorizont das gesamte Jahr 2024 (Stand 05/2025), dann hat sich

- das Maß A für die Änderungsgeschwindigkeit der Raumtemperatur in 3 Kirchen verbessert, in 3 Kirchen unwesentlich verschlechtert, in 1 Kirche verschlechtert; allerdings wird der Grenzwert zum Stand 05/2025 generell in allen Kirchen besser eingehalten als zum Stand 05/2024
- das Maß B_{pos} für die Überschreitung des oberen Grenzwertes der relativen Feuchte hat sich i. Vgl. zu vor der Maßnahme in 3 Kirchen verbessert, in 4 Kirchen verschlechtert; allerdings wird der Grenzwert zum Stand 05/2024 generell in allen Kirchen besser eingehalten als zum Stand 05/2024, dieser hat sich generell verbessert;
- das Maß B_{neg} für die Unterschreitung des unteren Grenzwertes der relativen Feuchte i. Vgl. zu vor der Maßnahme in 6 Kirchen verbessert; im Vergleich zu 05/2024 hat sich per 05/2025 nur eine Kenngröße verschlechtert

Im Gesamtüberblick aller 21 Kenngrößen von 7 Kirchen haben sich gegenüber dem Zustand vor der Maßnahme

- 12 von 21 Kriterien verbessert,
- 3 von 21 Kriterien unwesentlich verschlechtert und
- 6 von 21 Kriterien verschlechtert.

Gegenüber dem Bearbeitungsstand 05/2024 haben sich 05/2025

- 20 Kriterien verbessert, nur 1 Wert hat sich verschlechtert.

6.2.2 Energieverbrauch und THG-Emissionen

Die Auswertung des Energieverbrauchs und der CO₂-Emissionen vor und nach den Baumaßnahmen ist von der Vorgehensweise vergleichbar zur Projektphase 1. Zum Bearbeitungsstand 05/2025 liegen für alle Kirchen die Energieverbräuche für das komplette Jahr 2024 noch nicht vor.

Bei der Bewertung des Energieverbrauchs nach der Baumaßnahme wurde deshalb aufgrund des kürzeren Messzeitraumes zum Bearbeitungsstand 05/2024 der Verbrauch der Wintermonate linear auf den Verbrauch der gesamten Heizperiode konservativ hochgerechnet. Es wird unterstellt, dass sich die intensive Nutzung und der damit einhergehende Wärmeenergieverbrauch des 4. Quartals 2023 mit Beginn 2024 fortsetzt.

Der Energieverbrauch wurde klimabereinigt auf das langjährige Mittel mittels Gradtagszahlen korrigiert. Die Energieverbrauchskennwerte für jede Kirche wurden mit dem maximalen Verbrauch aller 7 Kirchen und dem mittleren Verbrauch aller 7 Kirchen in den Steckbriefen verglichen.

Als energetische Kennziffern nach Tabelle 15 werden

- die erfasste verbrauchte Menge des Energieträgers HEV,
- der spezifischer Heizenergieverbrauchskennwert HEV_{spez} ,
- der relativer Heizenergieverbrauchskennwert EVK_{rel} ,
- die berechnete CO₂-Emission unter Hinzunahme des Emissionsfaktors für CO₂ nach Tabelle 14

herangezogen.

CO ₂ -Emissionsfaktoren	
Erdgas	0,201 tCO ₂ /MWh
Strom (Energieträgerwechsel zu Strom)	0,366 tCO ₂ /MWh
Strom (Erneuerbare Quelle)	0 tCO ₂ /MWh
Pellets	0,036 tCO ₂ /MWh

Tabelle 14: CO₂-Emissionsfaktoren
(Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, 30.11.2022)

Nr.	Kirche	Ort	Bestand			kalkulierte Vorzugsvariante			nach der Maßnahme Stand 7/2024		
			HEV	HEV _{spez}	CO ₂	HEV	HEV _{spez}	CO ₂	HEV _{GTZ} Hochrechnung	HEV _{spez}	CO ₂ Hochrechnung
			kWh/a	kWh/a/m ³	kg/a	kWh/a	kWh/a/m ³	kg/a	kWh/a	kWh/a/m ³	kg/a
3	St. Petri	Buxtehude	191.854	19,4	38.755	139.793	14,2	28.238	123.546	12,5	24.833
9	St. Petri	Mulsum	30.719	13,2	8.171	29.156	12,5	787	9.276	4,0	334
11	Dorfkirche	Alt-Reinickendorf	27.680	50,7	5.591	6.146	11,3	2.249	5.622	10,3	2.057
12	St.-Jacobi	Berlin	279.634	33,7	81.933	250.306	30,2	19.374	45.439	5,5	3.499
13	Zionskirche	Berlin	124.780	7,3	25.206	82.684	4,8	19.260	86.058	5,0	17.298
16	St. Marien	Bleicherode	47.190	13,9	9.532	11.901	3,5	1.274	55.432	16,3	11.142
20	Stadtkirche	Horn	251.949	52,0	50.894	167.538	34,6	4.524	60.942	12,6	2.194
Einsparung						28%	42%	66%	59%	65%	72%
Einsparung spezifische CO ₂ -Emission											73%
100% Strom aus erneuerbaren Energien für WP in Alt-Reinickendorf und Zionskirche Berlin Einsparung						28%	42%	66%	59%	65%	78%
Einsparung spezifische CO ₂ -Emission											83%

Tabelle 15: Energetische Kennziffern und erreichte THG-Emissionen vor der Baumaßnahme, als kalkulierte Vorzugsvariante der Vorplanung und nach der Baumaßnahme (Bearbeitungsstand: 7/2024)

Einsparung an Energieverbrauch

Nimmt man nun für den Energieträger nur die erfasste verbrauchte Menge, so wird in der Summe über alle 7 Kirchen

- eine **Einsparung an Wärmeenergie von 59% gegenüber der Prognose von 28%** festgestellt. Betrachtet man den spezifischen Heizenergieverbrauchskennwert in kWh/a/m³, so stellt man
- eine **normierte Einsparung von 65% gegenüber der Prognose von 42%** nach Abbildung 14 fest.

Einsparung an THG-Emissionen

- Die THG-Emissionen reduzieren sich um 72% gegenüber der Prognose von 66%, sofern für die Dorfkirche Alt-Reinickendorf und für die Zionskirche Berlin der Bundestrommix für den Betrieb der Wärmepumpe angesetzt wird. Für die Zionskirche wird dazu auch noch die Heizung mit Erdgas angenommen. Wenn nun allerdings für beide Kirchen für den Betrieb der Wärmepumpen Strom aus erneuerbaren Energien vereinbart wird, so gilt:
- THG-Emissionen reduzieren sich um 78% gegenüber der Prognose von 66%.

Diese Ergebnisse übertreffen die Zielstellung der Klimaschutzziele und die Reduktionspfade im kirchlichen Kontext von [FEST 2021], die für die THG-Reduktion 60 % zwischen 2019 bis 2025 empfiehlt. Die geplante Einsparung an Wärmeenergie und CO₂-Emission wird gegenüber der Planung also deutlich übertroffen.

Allerdings sind die Ergebnisse noch nicht endgültig belastbar. Aufgrund von massiven Verzögerungen im Bauablauf, der Inbetriebnahme der technischen Anlagen, der Erprobungen und des geringen Messhorizontes zum Stand 05/2024 kann trotz der Klimabereinigung der Messwerte eine gewisse Sicherheit noch nicht hergestellt werden. Erst nach mindestens einem Jahr Messintervall kann ein Nachweis glaubwürdiger gelingen.

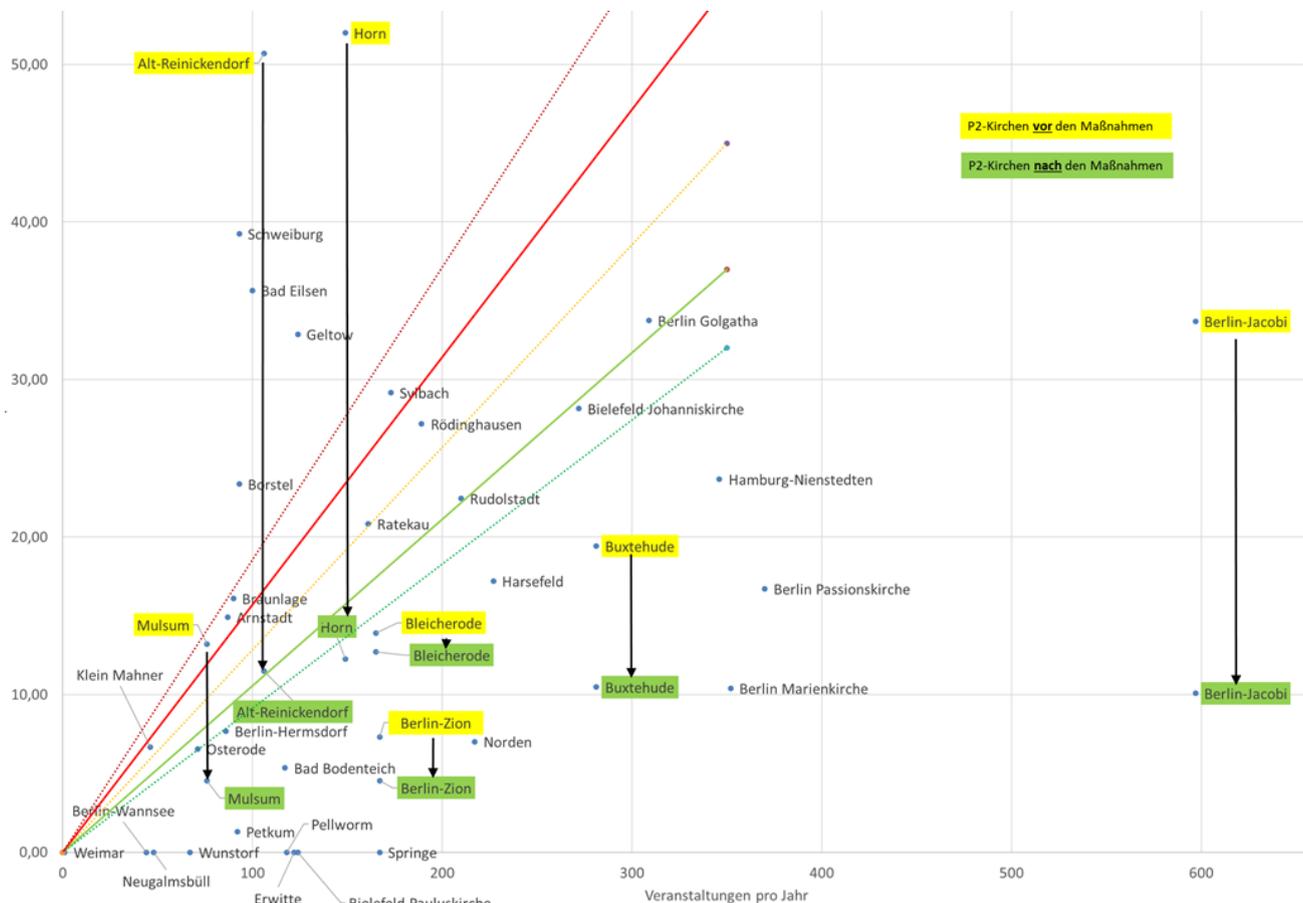


Abbildung 14: HEV_{spez} (kWh/a/m³) in Abhängigkeit der Anzahl der Veranstaltungen pro Heizperiode

Man überträgt nun die spezifischen Heizenergieverbrauchskennwerte HEV_{spez} vor und nach der Baumaßnahme in den 7 Transformationskirchen in die Abbildung 12 der Projektphase 1 und erhält so die Abbildung 14, in dem die Kennwerte aller messtechnisch begleiteten 37 Kirchen eingetragen sind. Die Verbrauchskennwerte werden durch die Maßnahme in den „grünen Bereich“ aller Kirchen transformiert, so dass die 7 Transformationskirchen zu denjenigen der 30 Kirchen mit guten und sehr guten Verbrauchswerten gehören. Das Diagramm zeigt eindrucksvoll, wie auch Kirchen mit hohem spezifischen Energieverbrauch durch umsichtige Planung und Baumaßnahmen energieeffizient betrieben werden können.

6.2.3 Zusammenfassung

Die Gesamtzielstellung des Transformationsprojektes mit der Pilotumsetzung von dauerhaften und zukunftsfähigen Lösungen zur Beheizung und Lüftung von Kirchbauten unter ökonomischen, ökologischen und konservatorischen Aspekten wird nach Auffassung der Kooperationspartner erfüllt. Der Grundgedanke bestand darin,

- die Wärmeerzeugung mit erneuerbaren Energieträgern zu realisieren,
- die Temperaturdifferenz zwischen Grund- und Nutzungstemperatur maßvoll zu reduzieren sowie
- ein körpernahes Heizsystem für die örtliche Behaglichkeit zu ergänzen.

Damit reduzieren sich die zu installierende Heizleistung und der Wärmeverbrauch. Das Ziel war eine flächendeckende erhebliche Energieeinsparung von bis zu 30 %, die aufgrund der Praxiserfahrung eines der Projektpartner realistisch zu sein schien. Damit sollten sich zunächst auch die THG-Emissionen in dieser Größenordnung reduzieren. Diese ursprünglich angestrebten Ziele wurden deutlich überschritten.

- Auf erneuerbare Energieträger wurde die Wärmeerzeugung in 4 von 7 Kirchen umgestellt.
- Die Transformation des Gedankengutes der Projektpartner in die Fläche, insbesondere der Ideen der Vorplanung, war für alle 7 Kirchen erfolgreich.
- Trotz massiver Belastungen von Planung, Baumaßnahme und Inbetriebnahme durch äußere Einflüsse wurden das technische und sozialwissenschaftliche Monitoring erfolgreich abgeschlossen.
- Die vorläufigen Messergebnisse für das Raumklima, den Energieverbrauch und die CO_2 -Emissionen stimmen sehr optimistisch, obwohl die Messergebnisse erst nach mindestens einem Jahr Messintervall belastbar sind.

Zwischen der Erzeugung von Wärme mittels erneuerbarer Energieträger, einer damit einhergehenden deutlichen Reduktion von CO_2 -Emissionen, einer Reduzierung des Energieverbrauchs durch Temperaturabsenkung, der Zufriedenheit der Nutzer und dem Schutz von wertvollem Kulturgut gibt es keinen Widerspruch. Diese unterschiedlichen Belange können bei kundiger Planung gleichermaßen berücksichtigt werden.

6.3 Sozialwissenschaftliches Monitoring

Für das sozialwissenschaftliche Monitoring wurden im Rahmen des ETiK-Projekts in sechs Kirchengemeinden zwei quantitative Befragungen durchgeführt – einmal zwischen Ostern und Pfingsten 2022 und erneut im selben Zeitraum 2024 – um die subjektive Wahrnehmung des Raumklimas und die thermische Behaglichkeit in Sakralbauten vor und nach baulichen Maßnahmen zu ermitteln. Ergänzend hierzu wurde in der Evangelisch Luther-Kirchengemeinde Alt-Reinickendorf und in Buxtehude eine Fokusgruppe eingesetzt, um die technischen, organisatorischen und kommunikativen Herausforderungen sowie potenzielle Hemmnisse und Chancen bei der Umsetzung energieeffizienter Temperierungsstrategien eingehender zu beleuchten

6.3.1 Methodisches Vorgehen

In diesem Kapitel wird kurz und prägnant der Ablauf der quantitativen Nutzerbefragungen dargestellt. Es umfasst die Entwicklung und Anpassung des Fragebogens, den Pretest sowie die praktische Durchführung der Befragungen in den beteiligten Kirchengemeinden.

Die Untersuchung basiert auf einer quantitativen Befragung der Kirchenbesucher*innen, die zu zwei Zeitpunkten durchgeführt wurde. Die erste Erhebung fand zwischen Ostern und Pfingsten 2022 statt, die zweite zwischen Ostern und Pfingsten 2024.

Im Rahmen der ersten Projektphase des ETiK-Projekts wurde ein Fragebogen konzipiert, der bereits in zwei Erhebungswellen eingesetzt wurde. Dieser Fragebogen wurde im Anschluss mit wenigen Ergänzungen – insbesondere zur Erweiterung des Umweltbewusstseins – übernommen und angepasst. Inhaltlich gliederte sich der Fragebogen in drei zentrale Bereiche:

1. Subjektive Wahrnehmung der Temperatur und Luftfeuchtigkeit im Kirchenraum – Erfasst wurde, wie die Besucher die Raumtemperatur und die Luftfeuchte empfanden und ob sie sich während ihres Aufenthalts in der Kirche wohlfühlten.
2. Wissen über den Energieverbrauch der Kirche bzw. Veränderungsbereitschaft in der Kirchengemeinde (Bereitschaft)
3. Sozialdaten

Der Fragebogen wurde umfassend getestet und anschließend an die beteiligten Kirchengemeinden verteilt. Alle Verantwortlichen erhielten detaillierte Informationen zu Ablauf, erforderlichen Unterlagen sowie organisatorischen Rahmenbedingungen, um einen reibungslosen Start in den Gottesdiensten und Veranstaltungen zu gewährleisten.

Während der ersten Befragung (Ostern bis Pfingsten 2022) wurden in sechs Kirchengemeinden sowohl gedruckte Fragebögen als auch eine Online-Lösung bereitgestellt. Ausgedruckte Formulare, ergänzt durch Flyer und Plakate mit QR-Code und Link, wurden vor Ort ausgelegt, und Pastorinnen wurden per Rundschreiben dazu angehalten, die Besuchenden gezielt auf die Umfrage aufmerksam zu machen. Die ausgefüllten Papierfragebögen wurden in den Gemeinden gesammelt und an das Berliner Institut für Sozialforschung (BIS) übermittelt. Dort erfolgten eine sorgfältige Codierung, Dateneingabe und Bereinigung, bevor die statistische Auswertung durchgeführt wurde. Ziel war es, mindestens 50 Fragebögen von jeder Kirchengemeinde zu erhalten. Insgesamt nahmen 286 Personen an der Befragung 2022 teil.

Aufbauend auf diesen Erfahrungen wurde die zweite Befragung (Ostern bis Pfingsten 2024) als Follow-up konzipiert. Der Fragebogen blieb weitgehend unverändert. Die Durchführung erfolgte erneut in enger Zusammenarbeit mit den Kirchengemeinden, diesmal überwiegend als Online-Umfrage, wobei weiterhin auch eine schriftliche Ausfüllmöglichkeit bestand. Unterstützt durch gezielte Erinnerungs- und Nachfassaktionen des BIS nahmen insgesamt 251 Personen aus sieben Kirchengemeinden an der zweiten Befragung teil.

Diese methodische Herangehensweise sorgt dafür, dass die Daten vor und nach den baulichen Maßnahmen auf vergleichbarer Basis erhoben und ausgewertet werden können –

eine essentielle Voraussetzung für fundierte Empfehlungen an Fachleute und Kirchengemeinden.

Insgesamt wurden in sechs Kirchengemeinden zwei Befragungen durchgeführt (vgl. Tabelle 16). In der Dorfkirche Alt-Reinickendorf wurde im Jahr 2024 ausschließlich eine quantitative Befragung realisiert, während im Jahr 2022 zusätzlich mit Kirchengliedern und dem Pastor eine Fokusgruppe zur qualitativen Erfassung der Ausgangsbedingungen und zur Diskussion von Argumenten für oder gegen bauliche Maßnahmen durchgeführt wurde.

Name Kirche	Anzahl Befragte 2022	Anzahl Befragte 2024
St. Petri Kirche in Buxtehude	71	51
St. Petri Kirche in Mulsum	47	29
St. Jakobikirche in Berlin-Kreuzberg	51	39
Zionskirche in Berlin-Mitte	33	21
St. Marienkirche in Bleicherode	22	27
Stadtkirche Horn in Horn-Bad Meinberg	52	36
Dorfkirche Alt-Reinickendorf	Fokusgruppe	40

Tabelle 16: Befragte Kirchengemeinden

6.3.2 Ergebnisse der Befragung

Die beiden quantitativen Befragungen wurden so konzipiert, dass in jeder beteiligten Kirchengemeinde vor und nach den baulichen Maßnahmen die Wahrnehmung des Raumklimas gemessen werden konnte. Ziel war es, die von den Besucher*innen erlebte Veränderung des Raumklimas – eine rein subjektive Bewertung, die zwar nicht ausschließlich auf die baulichen Maßnahmen zurückzuführen sein muss, jedoch als signifikanter Einflussfaktor gilt – systematisch zu erfassen. Für jede Kirchengemeinde wurde eine ausführliche individuelle Auswertung der Befragungen aus den Jahren 2022 und 2024 erstellt.

Im Folgenden werden die zentralen Aspekte der Raumklima-Bewertung vor und nach den Maßnahmen vergleichend dargestellt.

Veränderungen nach der Maßnahme

Nach den baulichen Maßnahmen in den untersuchten Kirchen wurde das subjektiv empfundene Raumklima detailliert dokumentiert. In Abbildung 15 werden die Veränderungen der Behaglichkeit illustriert, basierend auf zwei Erhebungszeitpunkten: der ersten Befragung im Jahr 2022 (vor den Maßnahmen) und der zweiten Befragung im Jahr 2024 (nach der Umsetzung). Die in Abbildung 16 und Abbildung 17 dargestellten Mittelwerte erlauben auch bei unterschiedlich großen Befragungsstichproben belastbare Vergleiche.

Anhand der Ergebnisse lassen sich die Kirchen in drei Kategorien einteilen:

- besser
- schlechter
- Teils / teils / gleichbleibend

Der Vergleich zeigt, dass in drei Kirchen das Raumklima besser bewertet wird. In einer Kirche wird das Raumklima schlechter bewertet. In zwei Kirchen beobachtet man keine eindeutige Tendenz.

Die Veränderungen bei der Wahrnehmung der Temperatur deuten generell auf eine Verbesserung hin und sind ein Zeichen für angenehmere Temperaturen im Kirchenraum während eines Gottesdienstes oder bei Veranstaltung nach den baulichen Maßnahmen.

Die Zugluft hat sich bei einer Kirche (Bleicherode) deutlich verbessert, während sie sich bei zwei Kirchen (Mulsum, Horn) verschlechtert hat.

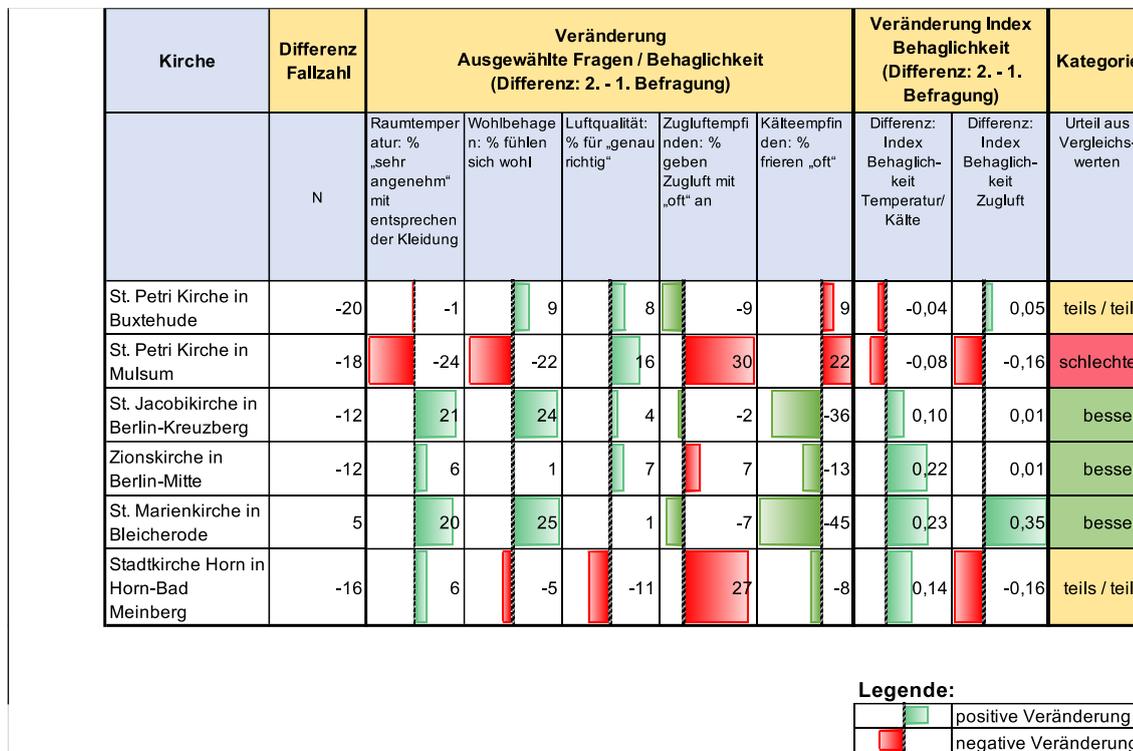


Abbildung 15: Vergleich der Behaglichkeit Raumklima (1. und 2. Befragung)

Um die Wirkung der baulichen Maßnahmen richtig bewerten zu können, ist es unerlässlich, die Veränderungen im direkten Vergleich zur ursprünglichen Situation zu betrachten. Das zentrale Ziel bestand darin, ein energieeffizientes Temperierungskonzept zu entwickeln, das sowohl kostensparend als auch CO₂-neutral arbeitet – und dabei den hohen Ansprüchen an Behaglichkeit in kirchlichen Räumen gerecht wird.

Die Ausgangsdaten verdeutlichen, dass in fünf der sechs untersuchten Kirchen bereits vor den Maßnahmen die Temperaturen als deutlich zu kühl empfunden wurden – wie die rot markierten, niedrigen Indexwerte in Abbildung 16 zeigen. Im Anschluss an die baulichen Eingriffe ergab sich in nahezu allen Fällen ein positiver Wandel: Abbildung 17 illustriert mittels gelb markierter, moderaterer Indexwerte, dass sich die subjektive Behaglichkeit in fast allen Kirchen verbessert hat, sodass die Raumtemperatur nun als gleichbleibend oder angenehm empfunden wird.

Den Ergebnissen liegt jedoch auch die Erkenntnis zugrunde, dass die baulichen Maßnahmen naturgemäß begrenzte Spielräume besitzen: Das Raumklima konnte optimiert, aber nicht grundlegend revolutioniert werden. Zwar zeigten die Indexwerte teilweise signifikante Veränderungen, diese erfolgten jedoch stufenweise – ein abrupter Sprung von der kühl empfundenen roten Kategorie in eine durchweg angenehme grüne Kategorie blieb aus. Eine bemerkenswerte Ausnahme bildet hierbei die Kirche in Bleicherode, in der die wahrgenommene Zugluft deutlich reduziert werden konnte.

In Buxtehude ließ sich im Vergleich der Befragungsergebnisse keine signifikante Verschiebung im subjektiven Behaglichkeitsempfinden feststellen. Dennoch sind die Maßnahmen auch hier als Erfolg zu werten, da die optimierte, energieeffizientere

Temperierung langfristig zu einer kostengünstigen und CO₂-neutralen Nutzung des Kirchengebäudes führt.

Kirche	N (1. Bef.)	Ausgewählte Fragen / Behaglichkeit (1. Befragung)					Index Behaglichkeit (1. Befragung)	
		Raumtemperatur: % „sehr angenehm“ mit entsprechen der Kleidung	Wohlbehagen: % fühlen sich wohl	Luftqualität: % für „genau richtig“	Zugluftempfinden: % geben Zugluft mit „oft“ an	Kälteempfinden: % frieren „oft“	Index Behaglichkeit Temperatur/ Kälte	Index Behaglichkeit Zugluft
St. Petri Kirche in Buxtehude	71	87	75	84	29	13	0,63	0,55
St. Petri Kirche in Mulsum	47	85	60	70	22	37	0,41	0,52
St. Jakobikirche in Berlin-Kreuzberg	51	64	55	93	13	52	0,41	0,63
Zionskirche in Berlin-Mitte	33	84	84	93	3	23	0,49	0,71
St. Marienkirche in Bleicherode	22	68	62	79	16	60	0,35	0,47
Stadtkirche Horn in Horn-Bad Meinberg	52	72	70	94	23	40	0,36	0,59

Legende:

	Mittelwert Index
●	Wert ab 0,75
●	Wert 0,50 bis 0,74
●	Wert kleiner 0,50

Abbildung 16: Behaglichkeit Raumklima (1. Befragung)

Im Folgenden werden exemplarisch Ergebnisse der Befragungen zum subjektiven Raumklima vorgestellt – differenziert nach positiven, negativen und unveränderten Wahrnehmungen. Die Auswertung erfolgte saisonal und liefert somit einen detaillierten Einblick in die Wirkung der baulichen Maßnahmen auf das thermische Empfinden und das Zugluftphänomen in den Kirchen. Dabei standen neben der Verbesserung des Komforts auch Kriterien der Energieeffizienz und Nachhaltigkeit im Fokus.

Kirche	N (2. Bef.)	Ausgewählte Fragen / Behaglichkeit (2. Befragung)					Index Behaglichkeit (2. Befragung)	
		Raumtemperatur: % „sehr angenehm“ mit entsprechen der Kleidung	Wohlbehagen: % fühlen sich wohl	Luftqualität: % für „genau richtig“	Zugluftempfinden: % geben Zugluft mit „oft“ an	Kälteempfinden: % frieren „oft“	Index Behaglichkeit Temperatur/ Kälte	Index Behaglichkeit Zugluft
St. Petri Kirche in Buxtehude	51	86	84	92	20	22	0,59	0,60
St. Petri Kirche in Mulsum	29	61	38	86	52	59	0,33	0,36
St. Jakobikirche in Berlin-Kreuzberg	39	85	79	97	11	16	0,51	0,64
Zionskirche in Berlin-Mitte	21	90	85	100	10	10	0,71	0,72
St. Marienkirche in Bleicherode	27	88	87	80	9	15	0,58	0,82
Stadtkirche Horn in Horn-Bad Meinberg	36	78	65	83	50	32	0,50	0,43
Ev. Luther-Kirchengemeinde Alt-Reinickendorf	40	86	82	98	6	11	0,72	0,86

Legende:

	Mittelwert Index
	Wert ab 0,75
	Wert 0,50 bis 0,74
	Wert kleiner 0,50

Abbildung 17: Behaglichkeit Raumklima (2. Befragung)

Positive Entwicklungen: Verbesserte Raumklimawahrnehmung

In der Zionskirche in Berlin-Mitte zeigt sich ein besonders hoher Behaglichkeitsindex bei der Temperatur. Die durch die Maßnahmen erzielte Optimierung der Heizsysteme gelang vor allem in den Wintermonaten zu deutlich angenehmeren Raumtemperaturen. Wie in Abbildung 18 zum Kälteempfinden pro Jahreszeit ersichtlich, berichten die Befragten, dass das zu kalte Raumklima nahezu vollständig überwunden wurde.

Ein weiteres positives Beispiel liefert die St. Marienkirche in Bleicherode. Nach Abschluss der baulichen Maßnahmen nahm die wahrgenommene Zugluft signifikant ab. Die Befragungsergebnisse aus dem Jahr 2024 belegen, dass es in allen Jahreszeiten zu einem spürbaren Rückgang an als störend empfundenem Luftzug kam (vgl. Abbildung 19). Diese Verbesserung wirkt sich nachhaltig auf das allgemeine Behaglichkeitsempfinden aus und unterstreicht den Erfolg der durchgeführten Maßnahmen.

Auch in der Kirche in Berlin-Kreuzberg konnten ähnliche positive Trends festgestellt werden. Die Optimierung der Temperierung führte zu einer Reduktion der als zu kalt wahrgenommenen Raumtemperatur, was insbesondere während der Wintermonate zu einem angenehmeren Innenklima beitrug.

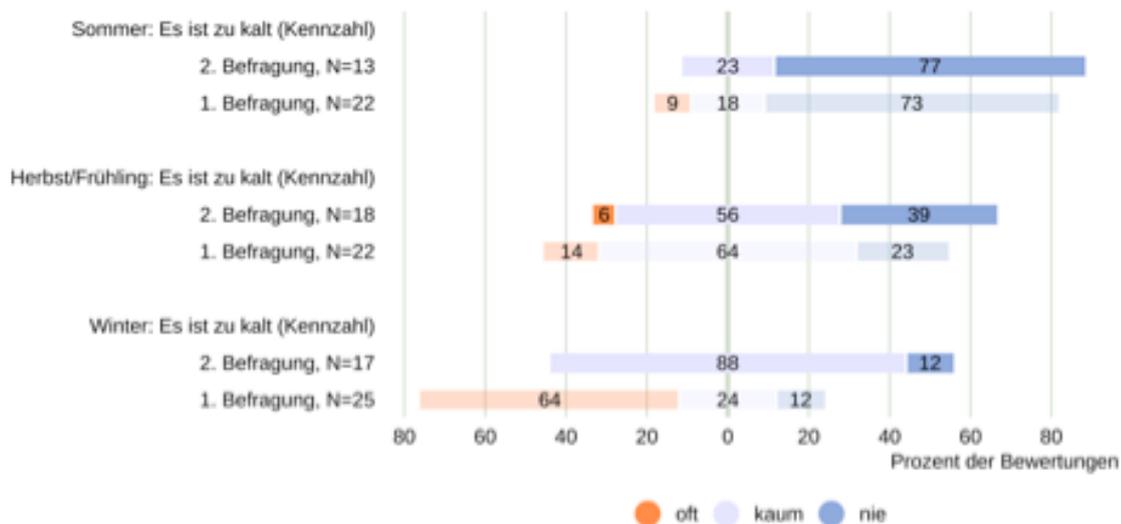


Abbildung 18: Kälteempfinden (es ist zu kalt) pro Jahreszeit in der Zionskirche in Berlin-Mitte

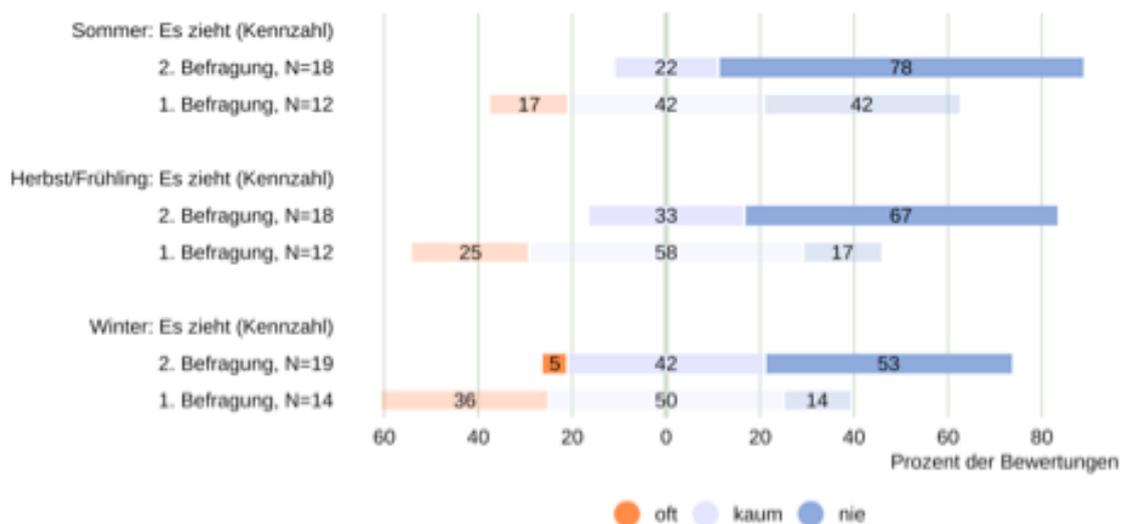


Abbildung 19: Zugluftempfinden (es zieht) pro Jahreszeit in St. Marien in Bleicherode

Negative Entwicklungen: Verschlechterte Wahrnehmung in Mulsum

Im Gegensatz zu den zuvor genannten Beispielen zeigt die St. Petri Kirche in Mulsum eine Verschlechterung des subjektiv empfundenen Raumklimas. Sowohl die Temperaturwahrnehmung als auch das Empfinden von Zugluft verschlechterten sich nach den Maßnahmen. Über alle Jahreszeiten hinweg gaben etwa ein Viertel der Befragten im Sommer und fast drei Viertel im Winter an, dass es ihnen zu kalt sei (vgl. Abbildung 20). Zudem verzeichnete man eine Zunahme der als störend empfundenen Zugluft (vgl. Abbildung 21). Dieses Beispiel verdeutlicht, dass bauliche Maßnahmen nicht zwangsläufig in allen Kontexten zu positiven Ergebnissen führen und eine individuelle Situationsanalyse unerlässlich ist.

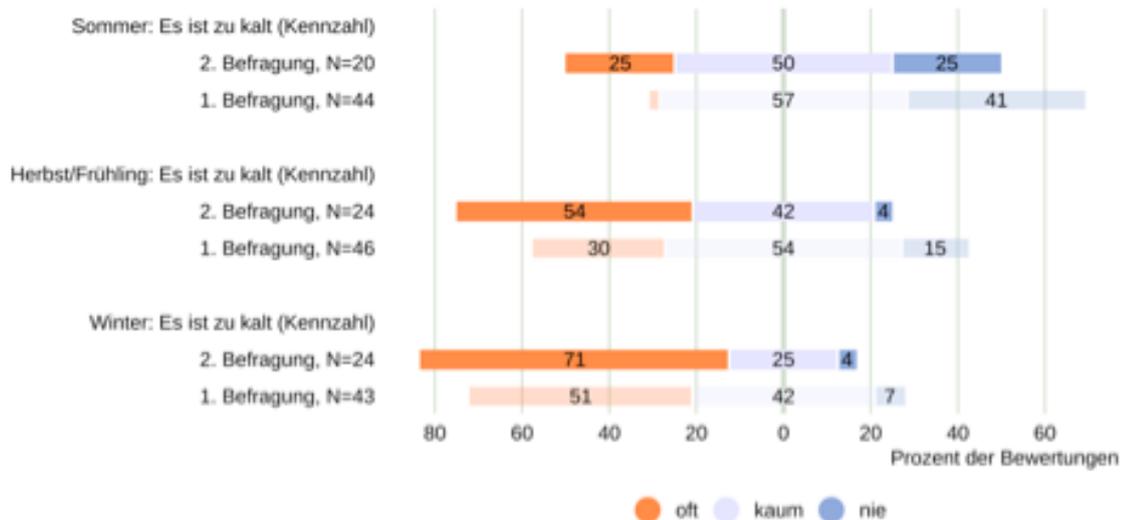


Abbildung 20: Kälteempfinden (es ist zu kalt) pro Jahreszeit in der St. Petri Kirche in Mulsum

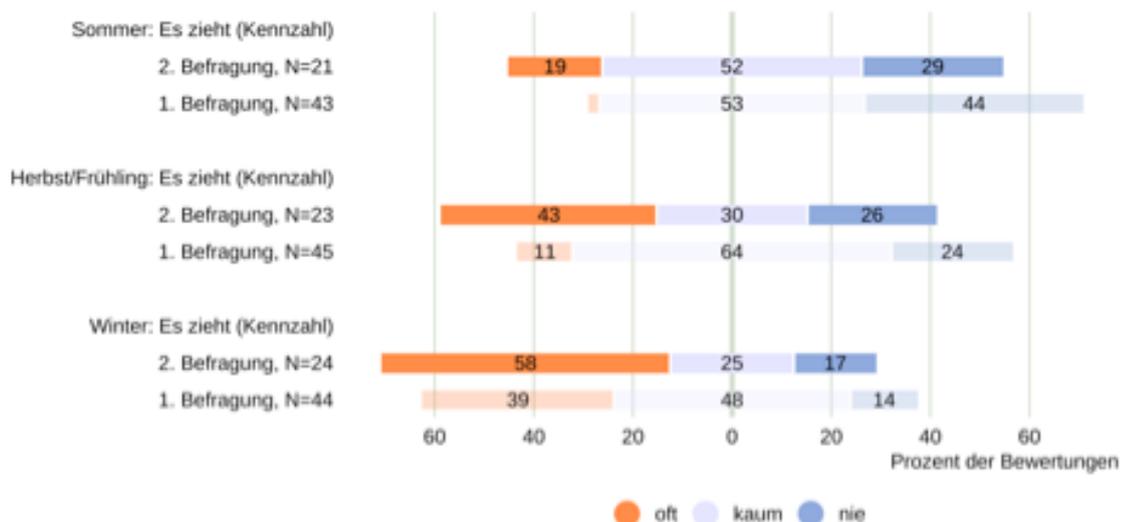


Abbildung 21: Zugluftempfinden (es zieht) pro Jahreszeit in der St. Petri Kirche in Mulsum

Unveränderte Wahrnehmung: Stabile Klimabedingungen in Buxtehude und Horn

In den Kirchen in Buxtehude und Horn konnten trotz der Umstellungen kaum signifikante Veränderungen im Empfinden der Temperatur oder im Zugluftgefühl festgestellt werden. Dies ist zu betrachten als einen Erfolg für die Behaglichkeit, da es neben der Verbesserung der Behaglichkeit vor allem um die energieeffiziente Temperierung des Kirchenraumes ging, was z.T. mit Absenkungen der Raumtemperatur und einem schonenderem Heizkonzept einherging.

In der St. Petri Kirche in Buxtehude sieht man keine nennenswerten Veränderungen bei der Zufriedenheit oder dem Temperaturempfinden der Befragten. Insgesamt wird schon vor den Maßnahmen eine relativ hohe Zufriedenheit vor allem bei den Temperaturverhältnissen gemessen. Die Temperatur wird als etwas kühler wahrgenommen, allerdings wird weniger häufig Zugluft empfunden (vgl. Abbildung 16). Die Temperatur wird als etwas kühler wahrgenommen, allerdings wird weniger häufig Zugluft empfunden (vgl. Abbildung 23).

In der Stadtkirche in Horn lässt sich ein gemischtes Bild beobachten: Während weniger Befragte angeben, dass ihnen zu kalt sei (vgl. Abbildung 22 und Abbildung 24) – was auf eine geringfügige Verbesserung der Temperaturwahrnehmung hindeutet – wird jedoch gleichzeitig häufiger eine störende Zugluft berichtet (vgl. Abbildung 15). Dieses Paradox unterstreicht,

dass energetische Optimierungen oftmals einen Kompromiss zwischen thermischem Komfort und anderen raumklimatischen Faktoren darstellen.

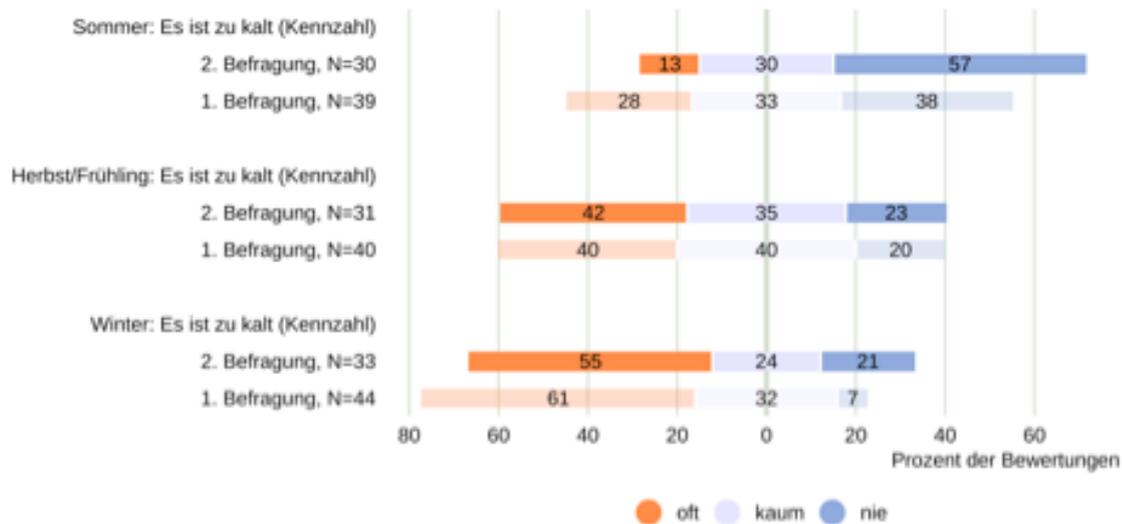


Abbildung 22: Kälteempfinden (es ist zu kalt) pro Jahreszeit in der Stadtkirche Horn

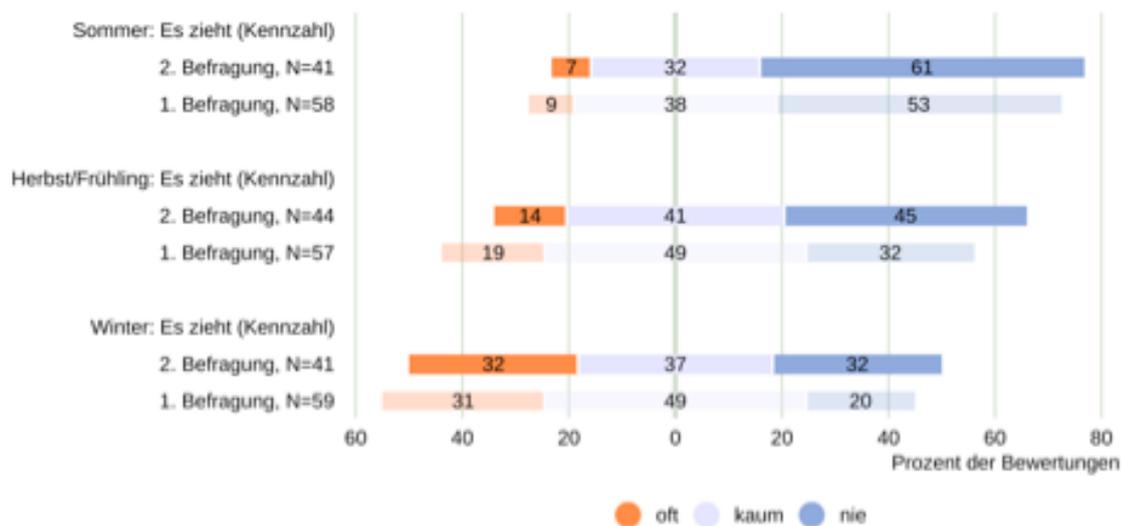


Abbildung 23: Zugluftempfinden (es zieht) pro Jahreszeit in der St. Petri Kirche in Buxtehede

Anteil der Unzufriedenheit als Indikator der Veränderung

Ein zusätzlicher Indikator für das Wohlbefinden in Bezug auf die Raumtemperatur ist die Veränderung des Anteils der Gemeindemitglieder, die mit den Temperaturverhältnissen unzufrieden sind. Vor den baulichen Maßnahmen zeigte sich in Buxtehede mit nur 8 Prozent der niedrigste Anteil an Unzufriedenheit, während in Berlin-Kreuzberg bereits 40 Prozent eine negative Bewertung abgaben. Im Durchschnitt drückte ein Drittel der Befragten aller betrachteten Kirchen Unzufriedenheit aus.

Die zweite Befragung verdeutlicht einen erfreulichen Trend: In mehreren Kirchen hat sich der Anteil der unzufriedenen Personen mehr als halbiert, sodass in den meisten Fällen weniger als 20 Prozent der Befragten weiterhin an den Temperaturverhältnissen rütteln. Eine Ausnahme bildet dabei Mulsum, wo die Unzufriedenheit deutlich zugenommen hat und fast jede zweite Person die Temperatur als unzureichend empfindet.

Diese Ergebnisse legen nahe, dass die durchgeführten Maßnahmen insgesamt zu einer spürbaren Verbesserung des wahrgenommenen Raumklimas geführt haben.

Kirche	Unzufriedenheit Temperaturverhältnisse (% (eher) unzufrieden)		
	1. Befragung	2. Befragung	Differenz 2.- 1.Befragung
St. Petri Kirche in Buxtehude	8	12	4
St. Petri Kirche in Mulsum	35	45	10
St. Jakobikirche in Berlin-Kreuzberg	40	13	-27
Zionskirche in Berlin-Mitte	24	5	-19
St. Marienkirche in Bleicherode	32	15	-17
Stadtkirche Horn in Horn-Bad Meinberg	32	17	-15

Legende:

	unzufriedener
	wengier unzufrieden

Abbildung 24: Veränderung der Unzufriedenheit mit der Temperatur

6.3.3 Ergebnisse der Fokusgruppen

Ergänzend zu den quantitativen Erhebungen wurden zwei Fokusgruppen in St. Petri in Buxtehude und in Alt-Reinickendorf gewonnen, die vertiefte Einblicke in die praktischen Herausforderungen, Potentiale und Hemmnisse bei der energieeffizienten Temperierung von Kirchbauten gaben.

Fokusgruppe St. Petri (Buxtehude)

In dieser Gruppe berichteten die Teilnehmenden umfassend über organisatorische und technische Schwierigkeiten. Beispielsweise wurde hervorgehoben, dass die Bedienung und regelmäßige Wartung der Heizungsanlagen aufgrund unzureichender technischer Dokumentation und wechselnder Zuständigkeiten immer wieder herausfordernd sind. Es fehlte an einem kontinuierlichen Monitoring, sodass Optimierungspotenzial bislang nicht systematisch genutzt werden konnte. Zudem wurden teils widersprüchliche Anforderungen innerhalb der Gemeinde deutlich: Während ein hoher musikalischer Einsatz im Kirchenjahr eine intensivere Beheizung erfordere, ist gleichzeitig der Erhalt des historischen Ambientes und der Schutz wertvoller Kulturgüter wie der Orgel von großer Bedeutung. Auch improvisierte Lösungen, wie das gelegentliche Besprühen des Kirchenbodens zur Regulierung der Luftfeuchtigkeit, wurden als vorübergehende Maßnahmen genannt – diese können jedoch mit unerwünschten Nebenwirkungen wie Schimmelbildung einhergehen. Die Diskussion machte klar, dass technische Lösungen stets in einen breiteren organisatorischen Kontext eingebettet sein müssen, in dem klare Zuständigkeiten und eine systematische Kommunikation essenziell sind.

Fokusgruppe Alt-Reinickendorf

Die Teilnehmenden dieser Gruppe setzten sich intensiv mit den Vor- und Nachteilen eines umfassenden Umbaus der Heizungsanlage auseinander. In einem offenen Dialog konnten sowohl positive als auch kritische Aspekte erörtert werden. Die positiven Argumente umfassten signifikante Potenziale hinsichtlich Energieeinsparungen, nachhaltiger Reduktion der Heizkosten und einer insgesamt höheren Raumtemperatur, was zu gesteigerter Nutzung und Zufriedenheit führen könne. Moderne, benutzerfreundliche Systeme würden zusätzlich zur langfristigen CO₂-Neutralität beitragen. Auf der anderen Seite wurden auch Bedenken hinsichtlich hoher Investitions- und Betriebskosten geäußert. Ebenso bestand Sorge, dass bauliche Maßnahmen den historischen Charakter und das Innenraumambiente beeinträchtigen könnten. Ein zentrales Anliegen war zudem die Forderung nach transparenter Kommunikation und klaren Zuständigkeitsregelungen, um den Erfolg technischer Maßnahmen langfristig sicherzustellen.

Zusammenfassende Implikationen

Die Ergebnisse beider Fokusgruppen unterstreichen, dass die Umsetzung energieeffizienter Temperierungsstrategien in Kirchbauten nicht isoliert – also rein technisch – betrachtet werden darf. Vielmehr handelt es sich um einen komplexen, interdisziplinären Prozess, in dem technische, organisatorische und kulturelle Aspekte eng miteinander verknüpft sind. Daraus ergeben sich folgende Handlungsempfehlungen für Fachleute und Entscheidungstragende in Kirchengemeinden:

- **Klare Zuständigkeitsregelung und kontinuierliche Betreuung:**
Es sollte eine feste Ansprechperson mit entsprechender Expertise etabliert werden, um die Bedienung und Wartung der Heizsysteme zu optimieren und eine lückenlose Dokumentation zu gewährleisten.
- **Systematische Kommunikation:**
Alle technischen Änderungen und Betriebsanweisungen müssen transparent und kontinuierlich kommuniziert werden, um inkonsistente Handhabungen zu vermeiden.
- **Bedarfsorientierte Abstimmung:**
Technische Maßnahmen sollten so gestaltet sein, dass sie den vielfältigen Nutzungsanforderungen der Gemeinde gerecht werden – beispielsweise in Bezug auf Veranstaltungen mit hohem musikalischem Engagement, ohne dabei den Denkmalschutz zu vernachlässigen.
- **Integration von Feedback:**
Die Rückmeldungen der Gemeindeglieder sind essenziell, um Anwendungen zeitnah anzupassen und potenzielle negative Nebenwirkungen frühzeitig zu erkennen.

6.3.4 Fazit

Das Ziel der vorliegenden Befragung war es, die subjektive Wahrnehmung des Raumklimas und der Behaglichkeit in Kirchenräumen vor und nach baulichen Sanierungsmaßnahmen im Rahmen des ETiK-Projekts systematisch zu erfassen. Im Mittelpunkt stand die Umsetzung energieeffizienter und emissionsreduzierter Heizkonzepte, ohne dass der Komfort der Besucher*innen beeinträchtigt wird. Hierzu wurden in sechs Landeskirchen in den Jahren 2022 und 2024 Erhebungen durchgeführt – ergänzt durch eine Einmalbefragung in einer zusätzlichen Kirche – wobei Aspekte wie Zufriedenheit, Raumklimaempfinden und Akzeptanz der Veränderungen der Heiz- und Lüftungssysteme ermittelt wurden.

Das sozialwissenschaftliche Monitoring zeigte, dass sich in den meisten Kirchengemeinden die wahrgenommene Behaglichkeit nach den Maßnahmen verbessert hat. Die Mehrheit der Befragten berichtet, dass die Raumtemperaturen weniger kalt und das Empfinden von Zugluft

reduziert ist – was in den meisten Fällen zu moderateren Indexwerten führte. Besonders hervorzuheben ist, dass in einigen Gemeinden, wie etwa in Bleicherode, deutliche Verbesserungen im Bereich der Zugluft verzeichnet werden konnten. Gleichzeitig machen die offenen Antworten deutlich, dass die baulichen Maßnahmen von den Besucher*innen im Allgemeinen positiv aufgenommen werden.

Nichtsdestotrotz zeigt sich, dass die Umstellung nicht überall ohne Reibungsverluste verlief. In der St. Petri Kirche in Mulsum etwa wurde eine Verschlechterung des Raumklimas festgestellt. Einige Befragte kritisieren unerwartete technische Probleme, wie beispielsweise unvorhergesehene Fensteröffnungen, die zu einem vermehrten Kälteempfinden und erhöhter Zugluft führen. Dieser Befund unterstreicht die Notwendigkeit, bei baulichen Maßnahmen auch individuelle Gegebenheiten und technische Feinheiten noch stärker in den Blick zu nehmen.

Ergänzend zu den quantitativen Befragungsergebnissen liefern die Erkenntnisse der durchgeführten Fokusgruppen tiefere Einblicke in den Veränderungsprozess der Kirchengemeinden. Die qualitative Analyse zeigt, dass die Sanierungsmaßnahmen nicht nur zu einer energieeffizienteren und CO₂-neutralen Temperierung führen, sondern auch als Impulsgeber für einen umfassenden inneren und äußeren Erneuerungsprozess wahrgenommen werden. Die Gesprächsrunden legen nahe, dass sich die Gemeinden in einem intensiven Umstrukturierungsprozess befinden, in dem neben baulichen Aspekten auch die unterschiedlichen Bedürfnisse der Gemeindemitglieder – von gestalterischen Ideen bis hin zu technischen Forderungen – berücksichtigt werden müssen.

Wesentliche Erkenntnisse lassen sich zusammenfassen:

- Verbessertes Raumklima: In den meisten Kirchen empfinden Besucher*innen die Temperaturen als weniger kalt und berichten von geringerer Zugluft.
- Technische Herausforderungen: Fallbeispiele wie Mulsum verdeutlichen, dass unerwartete technische Probleme (bspw. unerwartete Fensteröffnungen) gezielt adressiert werden müssen.
- Ganzheitlicher Veränderungsprozess: Die Fokusgruppen betonen, dass die baulichen Maßnahmen Teil eines umfassenden Veränderungsprojekts sind, das den langfristigen Erhalt der Gemeinde und die Anpassung an die Bedürfnisse aller Akteursgruppen zum Ziel hat.
- Notwendigkeit kontinuierlicher Kommunikation: Eine regelmäßige, zielgruppengerechte Information und Evaluation des gesamten Transformationsprozesses ist essenziell, um alle Beteiligten nachhaltig einzubinden und zukünftige Sanierungsprojekte optimal auszurichten.

Insgesamt bestätigen die Ergebnisse, dass die umgesetzten baulichen Maßnahmen – neben ihrem Beitrag zur Energieeffizienz und CO₂-Neutralität – das thermische Wohlbefinden der Kirchenbesucher*innen maßgeblich verbessern können. Gleichzeitig unterstreicht die Integration der qualitativen Erkenntnisse aus den Fokusgruppen, wie wichtig ein kontinuierlicher Dialog und eine enge Abstimmung zwischen Fachleuten und Gemeindemitgliedern sind, um einen ganzheitlichen und nachhaltigen Entwicklungsprozess zu sichern. So bleiben nicht nur die Herzen, sondern auch die Füße und Gemüter der Gemeindeglieder in allen Jahreszeiten warm – im wahrsten Sinne eines sinnstiftenden, zukunftsorientierten Sanierungsansatzes.

6.4 Simulation der Raumluftrömung für die Kirche St. Petri Buxtehude

6.4.1 Zielstellung

Im Ergebnis der sozialwissenschaftlichen Befragungen sind in einigen Kirchen vor und nach den Baumaßnahmen Zugerscheinungen festgestellt worden. Obwohl mit der sehr sorgfältigen Planung an Stellen kalter Außenwände und hoher Kirchenfenster dem Kaltluftabfall durch Wärmequellen wie z.B. mit Unterflurkonvektoren entgegengewirkt wurde, können Zugerscheinungen nicht vermieden werden.

Luftströmungen haben verschiedene Ursachen. Sie entstehen durch Druckunterschiede, die vor allem aus Temperaturdifferenzen resultieren können. Die Erwärmung eines großen Raumes erfolgt durch Erwärmung der Luft. Mit steigender Temperaturdifferenz zwischen unbeheiztem und beheiztem Zustand werden die Luftbewegung, der Transport von Staub und die Austrocknung von Oberflächen durch die verschiedenen Heizungssysteme unterschiedlich beeinflusst. Häufig wird beobachtet, dass die intermittierende Fahrweise einer Heizung mit großer spezifischer Energieabgabe sowie die örtliche und zeitliche Überlagerung mit der Wärmeabgabe der Nutzer die größten Luftbewegungen und Schadenswirkung verursachen. Dies gilt umso mehr, je größer der Raum und je häufiger die Nutzung ist.

In der Literatur werden hierzu nur sehr vage Aussagen getroffen. Grund ist die Tatsache, dass die messtechnische Erfassung von Raumluftrömungen bisher äußerst aufwendig und kostenintensiv ist. Strömungsprofile wurden bisher

- in der Frauenkirche Dresden [Lauckner 2009b],
- in der Kreuzkirche Dresden [Hähnel 2010],
- in der Kirche „Zur frohen Botschaft“ Berlin-Karlshorst [Lauckner 2011],
- in der St. Sixtikirche Northeim [Lauckner 2020a],
- in der Bachkirche Arnstadt und
- in St. Aegidien Osterode

gemessen. Bei raumluftechnischen Anlagen bildet sich bei geringfügig höherer Zuluft- als Raumlufthtemperatur (Winterfall) eine Luftwalze durch das gesamte Kirchenschiff aus, während bei geringerer Zuluft- als Raumlufthtemperatur (Sommerfall) der Prozess umklappt und die Luft bodennah strömt, sodass in Gewölbehöhe der Luftaustausch zum Erliegen kommen kann.

Die beste Gleichmäßigkeit der Strömung ohne Zugerscheinungen ist nach [Arendt 1992] mit einer Warmluftheizung zu erreichen. Messungen zeigen hingegen, dass sich die zugeführte warme Luft an kalten Wand- und Fensteroberflächen abkühlt und zu unangenehmen Behaglichkeitseinbußen führen kann. Die Fußbodenheizung schneidet vor allem dann vergleichsweise positiv ab, wenn sie vollflächig den Bodenbereich erfasst und vorrangig der Deckung der örtlichen Behaglichkeit als der Deckung der Spitzenlast dient.

In der Kirche St. Petri Buxtehude mit Fußbodenheizung und Unterflurkonvektoren im Chorbereich wird beispielsweise trotz der Maßnahmen ein solcher Effekt festgestellt. Die Frage besteht grundsätzlich darin, welches die Ursachen sind und wie diesen entgegengewirkt werden kann. Dazu ist die Simulation der Raumluftrömung ein bewährtes Mittel, wenn auch mit einem hohem Aufwand verbunden.

6.4.2 Bestimmung der Wandoberflächentemperaturen

Das Modell zur Berechnung der Raumluftrömungen benötigt als Startbedingungen die Oberflächentemperaturen der Umfassungskonstruktion, also aller Wandbereiche, der Fenster- und Türoberflächen und der Boden- und Deckenflächen sowie der Wärmeübertrager. Dazu gibt es 2 Vorgehensweisen:

- Messung der Oberflächentemperaturen vor Ort, allerdings sind die meisten Abschnitte der Bauteile im Wand- und Deckenbereich nicht zugänglich,
- Simulation der Oberflächentemperaturen mit einem Simulationssystem für Kirchenbauten.

Diese Oberflächentemperaturen wurden mit dem Simulationssystem SimKi [SimKi 2011] für die St. Petri-Kirche Buxtehude für verschiedene Raumlufzustände ermittelt. Als Randbedingungen für die Simulation wurden die Wetterdaten als konstant angenommen, lediglich eine regelmäßige Nutzung des Kirchraumes wurde berücksichtigt. Als Simulationsparameter wurde der Sollwert für die Raumtemperatur variiert. Die Ergebnisse sind in Tabelle 17 ersichtlich.

Außentemperatur	0 °C, konstant			
Nutzung	regelmäßig; Andacht, Konzert, Gottesdienst			
	Oberflächentemperatur in °C			
Sollwert Raumtemperatur	6°C	8°C	12°C	15°C
	Oberflächentemperaturen			
Wand	5,8 - 6,3 °C	7,5 - 7,9 °C	10,8 - 11,6 °C	13,1 - 13,9 °C
Fenster	1,6 - 2,1 °C	2,2 - 2,6 °C	3,1 - 3,4 °C	3,8 - 4,0 °C

Tabelle 17: Simulationsergebnisse mit Simki

Die Simulationsergebnisse sind die Voraussetzung für die anschließende Simulation der Raumluftrömung:

- Oberflächentemperaturen der Umfassungskonstruktion für unterschiedliche Raumlufszzenarien, als Startparametersatz für die FEM-Simulation
- Untersuchungen zur Entstehung und Vermeidung von kritischen Raumklimazuständen

Das erstellte Simulationsmodell wurde für die Winterzeit mit Messdaten des Jahres 2021/22 abgeglichen. Außentemperatur und –feuchte wurden vor Ort gemessen, die Daten für die solare Strahlung sind als Tages- und Jahresgang mit Hilfe einer Approximationsformel für den Raum Norddeutschland berechnet worden. Nach Einstellung des Luftwechsels und der Einstellungen der technischen Anlagen ergab sich eine hohe Modellgenauigkeit.

6.4.3 Modell des Luftraumes

Mit der Finite-Elemente-Methode können Probleme aus verschiedenen physikalischen Disziplinen berechnet werden, da es sich grundsätzlich um ein numerisches Verfahren zur Lösung von Differentialgleichungen mit verteilten Parametern handelt. Folgende Arbeitsschwerpunkte sind Gegenstand der Strömungssimulation

- Übernahme von Kennwerten der Gebäudegeometrie für Fußboden, Wände, Fenster, Gewölbe
- Betriebsdaten, Leistungsbereich und Maße der vorhandenen und technischen Anlagen wie Fußbodenheizung und Unterflurkonvektoren, wie z.B. Wärmestrom, Wärmeleistung, Volumenstrom
- Randbedingungen (Oberflächentemperaturen und Raumtemperaturen aus Simulationen und Messungen)
- Oberflächentemperaturen im Bereich der Decke/Gewölbe aus Konstruktionsdaten sowie aus dem Wärmedurchgang

Resultierend ergeben sich die Aufgaben:

1. Vereinfachungen der Gebäudegeometrie (Symmetrien im Altarbereich, Treppen und Bestuhlung, Gewölbe und Fußbodenhöhe, Nordempore und Orgelempore, Rechtwinkligkeit)
2. Erzeugung eines ausreichend genauen Netzmodells des Luftraumes
3. Simulation der Raumluftrömung mit ANSYS und Festlegung der Antriebsquellen für die Raumluftrömung
4. Vergleich der berechneten Strömungsprofile mit den Aussagen aus dem sozialen Monitoring
5. Bewertung der Ergebnisse für Entscheidungshilfen für den Betrieb der technischen Anlagen

Zunächst wird das Berechnungsgebiet „Luftraum“ in eine große Anzahl von Elementen unterteilt und ausreichend fein gegliedert. Mit gemessenen Anfangs-, Rand- und Übergangsbedingungen erhält man ein Gleichungssystem, welches in der Regel numerisch gelöst wird.

Das Modell des Luftraumes wird in Abbildung 25 gezeigt und wird zunächst aus geometrischen Figuren zusammengesetzt. Maße und Parameter für die Modellierung des Luftraumes wurden daher aus Grundrissen der TGA-Planer und/oder historischen Zeichnungen ermittelt.

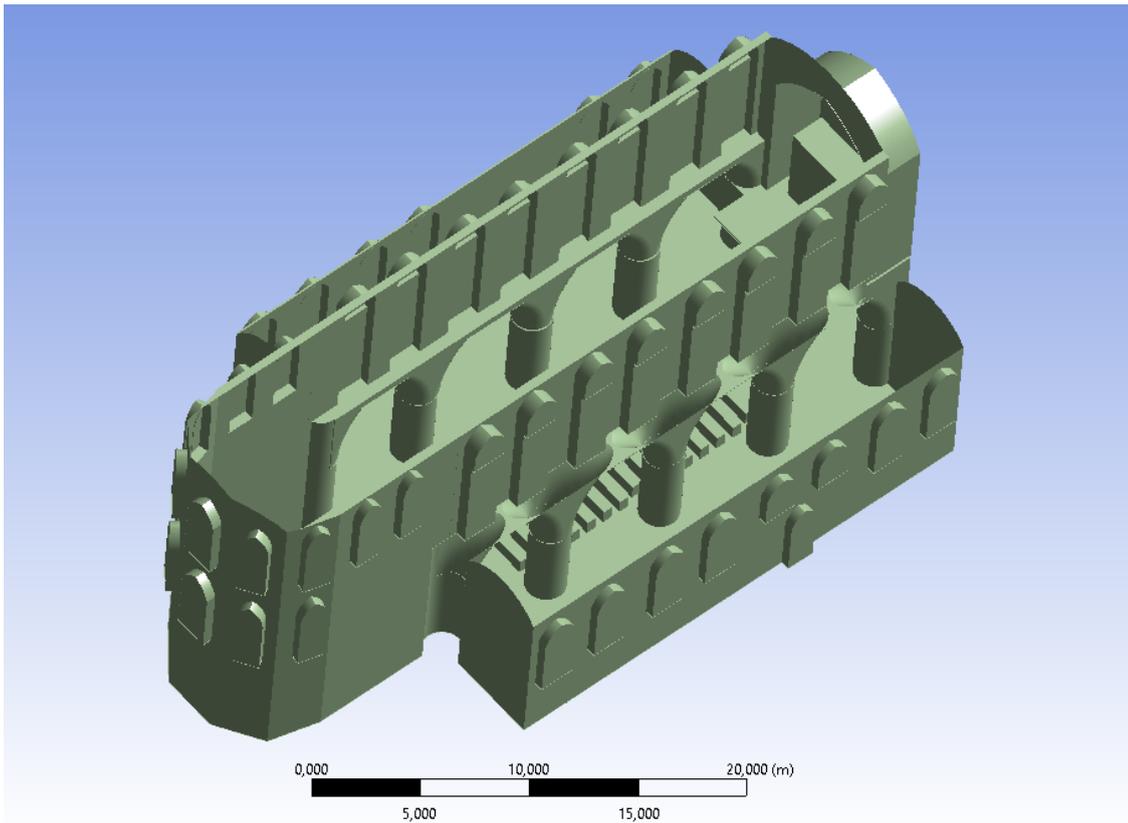


Abbildung 25: Modell des Luftraums - Schnittdarstellung

Die Genauigkeit der Simulation hängt von der Maschengröße des Netzes und der genauen Darstellung des Luftraums ab. Das Rechenmodell wird aus einer Figur mit ca. 2 Millionen Polygonen automatisch generiert (s. Abbildung 26). In Bereichen an Fensterflächen, Luftauslässen, Kanten, usw. ist die Polygondichte höher, im Luftraum ist die Polygondichte geringer.

Für die Kalibrierung der Strömungssimulation werden nun die simulierten Oberflächentemperaturen einbezogen. Dazu werden die Temperaturen der Umfassungskonstruktion, wie Wände, Fenster, Türen und Fußboden als Anfangswerte bzw. als Randbedingungen festgelegt.

Das Strömungsprofil kann sich schon während des Iterationsverfahrens und bei geringfügiger Änderung der Randbedingungen ändern. Schon geringe Temperaturunterschiede zwischen der Luft, Wand- und Fensteroberflächen können zu Änderungen in den Luftströmungen beitragen. Unter diesen Gesichtspunkten sind die nachfolgenden Ergebnisse zu bewerten.

Für jeden Punkt wird u.a. die Temperatur, Luftgeschwindigkeit und -richtung iterativ berechnet und durch einen Richtungspfeil dargestellt. Dies hat zur Folge, dass in der detaillierten Darstellungsform in einigen Bereichen scheinbar stärkere Luftbewegungen herrschen, was aber nur von der Polygondichte verursacht wird. Nur die Farbe der Pfeile gibt Auskunft über die Strömungsgeschwindigkeit.

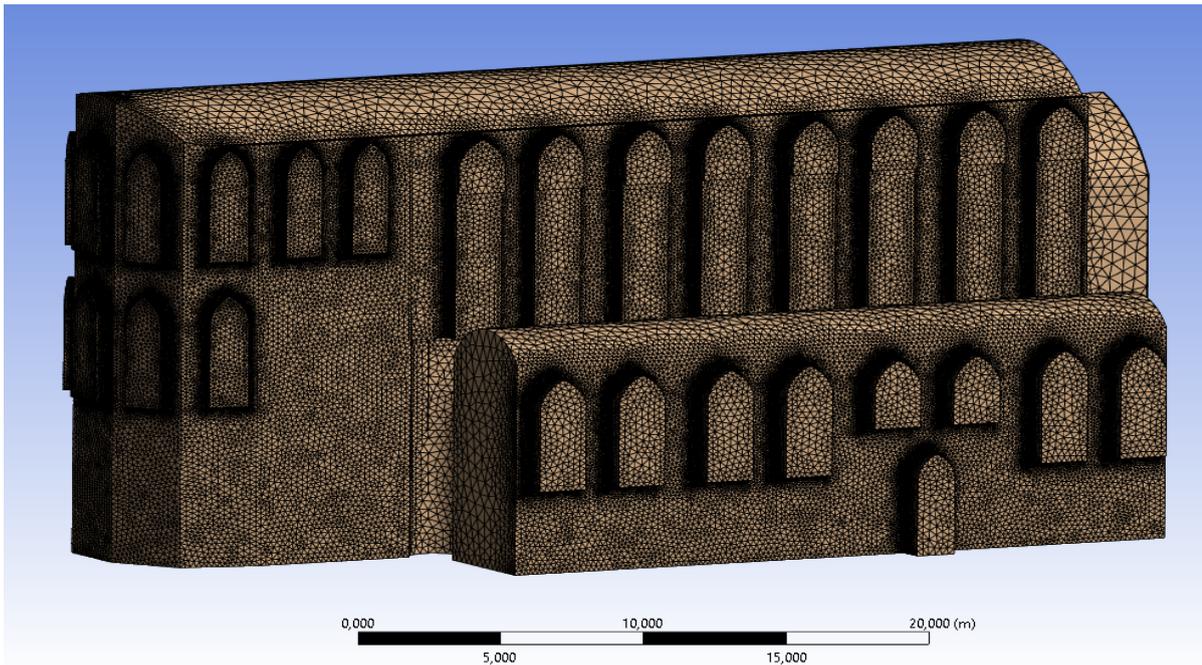


Abbildung 26: Polygonmodell des Luftraums, ca. 2 Millionen Polygone

6.4.4 Ausgewählte Ergebnisse

Ein Ergebnisse der Simulation ist in Abbildung 27 gezeigt. Für die detaillierte Analyse werden vier ausgewählte Bereiche als Schnittdarstellung des Kirchrums bestimmt und die Ergebnisse analysiert.

1. Seitenschiff Nord Wand
2. Seitenschiff Nord zentral
3. Kirchenschiff zentral
4. Säulen Nord und Obergadenfenster

Insbesondere in den Bereichen des Seitenschiffes Nord entstehen Wirbel als rotierende Strömung im Raum. Diese resultieren aus der erwärmten Luft durch darunterliegende Unterflurkonvektoren und die Abkühlung der Luft an den Fensterflächen. Im Wandbereich bricht die Strömung zudem in den Innenraum des Seitenschiffes aus.

Die Strömungsgeschwindigkeit liegt im gesamten Seitenschiff allerdings noch innerhalb des behaglichen Bereiches von $< 0,2\text{m/s}$.

Durch die Fußbodenheizung erwärmte Luft steigt über die Orgelempore (Westen) nach oben, strömt an der Decke des Kirchenschiffs in Richtung Chor/Altar und fällt dort mit hoher Geschwindigkeit $> 0,3\text{m/s}$ aufgrund der Abkühlung an den verhältnismäßig großen Fensterflächen im Chor ab (Osten). Am Boden bricht sie in den Chorraum aus mit ca. $0,35\text{m/s}$. Dies deckt sich mit Aussagen des sozialen Monitorings, welche von Zugscheinungen vor dem Altar sprechen.

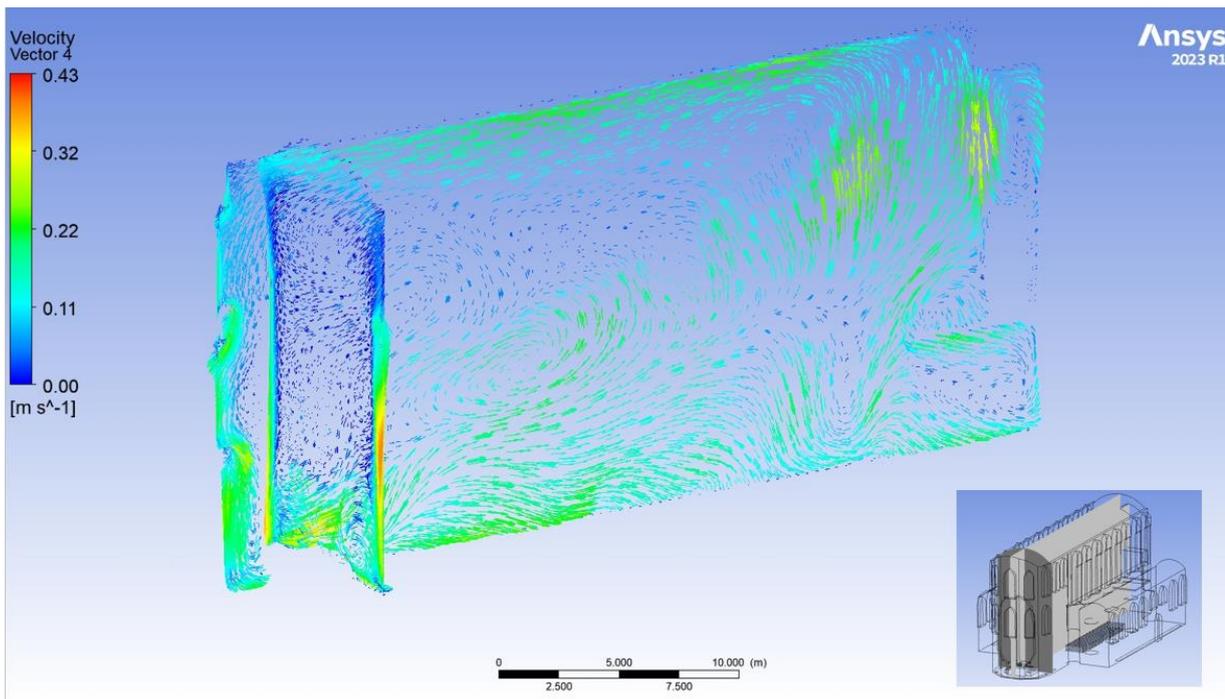


Abbildung 27: Strömung Kirchenschiff zentral

Durch Abkühlung der Raumluft an den Obergadenfenstern ergibt sich ein fallender Luftstrom, der sich bis in den Bereich der Säulen im Kirchenraum erstreckt.

Da in St. Petri Buxtehude die Systeme von Wärmeerzeugung und Wärmeübergabe im Kirchenraum nicht erneuert sondern ergänzt wurden, bestätigen die Simulationsergebnisse die Erfahrungen aus den Befragungen.

6.4.5 Empfehlungen

Um den fallenden Luftstrom durch die Abkühlung an den Obergadenfenstern zu reduzieren, kann über die Einbringung einer Doppelverglasung nachgedacht werden. Die Temperaturdifferenz zwischen Raumtemperatur und Fensteroberfläche wird dadurch reduziert. Allerdings steht dieser möglichen Dämpfung der Luftströmung ein großer finanzieller und baulicher Aufwand gegenüber.

Die statische Heizung und die Fußbodenheizung wurden durch Unterflurkonvektoren im Chorraum ergänzt. Die Kompensation des Kaltluftabfalls und die resultierenden Zugscheinungen an den Chor-Fenstern mit entsprechenden Wärmequellen unterhalb ist jedoch bedingt möglich.

Eine einfachere Lösung zur Reduzierung der aufsteigenden Luftströmung vor der Orgelempore kann durch die Absenkung der Heizleistung und der damit verbundenen geringeren Oberflächentemperatur der Fußbodenheizung (Heizkreis 3, Bestand) im westlichen Teil des Kirchschiffs erreicht werden.

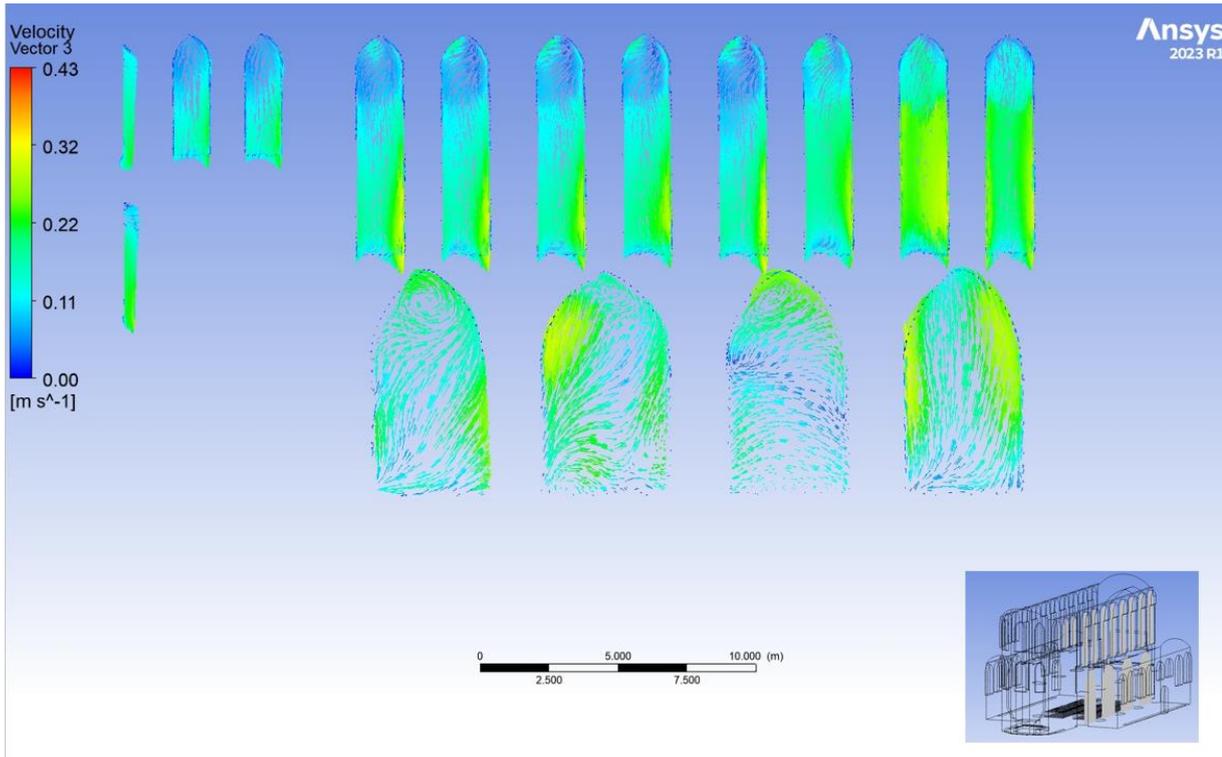


Abbildung 28: Strömung an den Säulen Nord und an den Obergadenfenstern

Um die Wärmeleistung im Kirchenraum gezielt einbringen zu können, kann die Fußbodenheizung in separat gegliederten Heizkreisen angesteuert werden. Diese Gruppen sollten sowohl in ihrer Vorlauftemperatur als auch in den Betriebszeiten durch die Steuerung getrennt voneinander bedient werden.

Damit ließe sich ohne großen baulichen Aufwand ausschließlich mit Eingriffen in die Steuer- und Regelungstechnik der Heizungsanlage die Absenkung der Heizleistung realisieren. Allerdings ergibt sich dann durch die geringe Wärmeleistung im westlichen Teil des Kirchenraumes ein geändertes Regelungsverhalten der Wärmeübergabe in der Kirche. Diese muss neu parametrisiert und messtechnisch überprüft werden. Diese Arbeiten sind umfangreich und nicht Bestandteil der vorliegenden Arbeit.

Die Simulation bestätigte die räumlich begrenzten erhöhten Luftströmungen an den Obergadenfenstern, der Orgelempore sowie im Chorbereich. Resultierend lässt sich feststellen, dass die Ergebnisse der Strömungssimulation für die St. Petri Kirche in Buxtehude ein Strömungsbild zeigen, welches sowohl in den Seitenschiffen als auch im Kirchenraum innerhalb der Grenzen der Behaglichkeit für die Besucher liegt.

6.5 Beurteilung der Funktion realisierter Steuerungen und Regelungen

Vom Ingenieurbüro Niehsen-Baumann und vom ZAFT e.V. wurden den regionalen Planungsbüros für alle 7 Transformationskirchen Steuer- und Regelungsstrategien für

- die Regelung der Raumlufttemperatur in verschiedenen Gebäudezonen
- die natürliche Klimatisierung durch Steuerung der freien Lüftung mittels automatisierter Fenster und
- die Feuchtevorrangschaltung

vorgegeben. Von den Steuerstrategien sollten hier hauptsächlich die Fenstersteuerung und die Feuchtevorrangschaltung mit dem Nachweis betrachtet werden, ob die Vorgaben eingehalten wurden. Die Regelung der Raumlufttemperatur wurde als allgemein bekannt vorausgesetzt. Die Fragestellung bestand nun darin, wie diese Verfahren in der Praxis verstanden und umgesetzt wurden.

Dazu war zunächst von außen ein Zugang in die jeweilige Gebäudeleittechnik nach Tabelle 18 erforderlich, der sich je nach Hersteller mehr oder weniger als komplex erwies. Hinzu kommen nicht vorhandene und gespeicherte Variablen einschließlich der dazugehörigen Zeitreihen, wie

- Temperatursollwerte (Mulsum, Bleicherode, Horn)
- Fensterstellung/Lüftung (Zionskirche Berlin, Bleicherode)
- Heizungsvorläufe (Bleicherode, Horn)

Für die Zionskirche Berlin werden leider die Messwerte in der Siemens-GLT in einem sich ständig veränderndem Zeittakt (nichtäquidistant) abgespeichert. Die Speicherung erfolgt nur dann, wenn sich Messwerte ändern. Das zieht eine sehr aufwendige händische Ergänzung der Daten nach sich, um gleiche zeitliche Abstände zwischen den Messwerten für die Weiterverarbeitung zu erhalten.

Für Bleicherode sind die fehlenden Messdaten verständlich, da lediglich die Fenstersteuerung ergänzt wurde, deren Nachweis für die Funktionalität allerdings auch fehlt.

Nr.	Kirche	Ort	Gebäudeleittechnik	Zugang Netzwerk
3	St. Petri	Buxtehude	Kieback&Peter	VPN Access Manager
9	St. Petri	Mulsum	Kieback&Peter	Securepoint SSL VPN
11	Dorfkirche	Alt-Reinickendorf	Mahr	openVPN
12	St. Jacobi	Berlin	Mahr	openVPN
13	Zionskirche	Berlin	Siemens	FritzFernzugang
16	St. Marien	Bleicherode	PassTec	FritzFernzugang
20	Stadtkirche	Horn	Kieback&Peter	Securepoint SSL VPN

Tabelle 18: Systeme der Gebäudeleittechnik und der Zugangssoftware

Beurteilung der Regelung der Heizung

Im Allgemeinen funktioniert die Regelung der Raumtemperatur gut, soweit die Daten zugänglich sind. Die Heizungssysteme in verschiedenen Gebäudezonen reagieren weitgehend synchron. Die Vorlauftemperaturen passen zu der Änderungsgeschwindigkeiten der Raumtemperatur.

Die Sollwerte für Nutzung werden meist genau eingehalten. Die Sollwerte für Nichtnutzung werden häufig kaum erreicht, da die Kirchen in den betrachteten Fällen so schnell nicht auskühlen.

In St. Jacobi Berlin war die körpernahe Heizung (FBH) im Messzeitraum zur Trockenheizung des Estrichs dauerhaft eingeschaltet, was auch zu geringen relativen Feuchten führte.

Teilweise wird der Sollwert für Nutzung nicht zu 100% erreicht, die Sollwertabsenkung erfolgt bereits vor Erreichen der geforderten Raumtemperatur.

Feuchtevorrangschaltung

Wenn die relative Feuchte innerhalb der empfohlenen Grenzwerte liegt, wird eine Aktivierung der Feuchtevorrangschaltung nicht erforderlich. Bei Überschreitung des oberen Feuchtegrenzwertes von 70% kann die Heizung umsichtig aktiviert werden. Bei Unterschreitung des unteren Feuchtegrenzwertes von 45% wird die Heizung reduziert.

St. Petri Buxtehude

- relative Feuchte beträgt durchgängig $\varphi < 70\%$, mit Ausnahmen von $\varphi < 45\%$, d.h. eine leichte Unterschreitung der unteren Feuchtegrenze von 45%;
- eine ursächliche Gegensteuerung der Heizung zur Einhaltung der unteren Feuchtegrenze ist nicht nachweisbar

St. Petri Mulsum

- relative Feuchte überschreitet im Obergeschoss die 70%
- im Erdgeschoss geringere Grenzwertüberschreitung;
- eine Gegensteuerung der Heizung durch Erhöhung der Vorlauftemperatur der Wärmestation um 4K ist nachweisbar

Dorfkirche Alt-Reinickendorf

- die Gegensteuerung der Heizung zur Einhaltung der Feuchtegrenzen durch Sollwerterhöhung bzw. -reduzierung für die Raumtemperatur ist nachweisbar
- bei $\varphi > 75\%$ (geänderte Einstellung in der GLT) Sollwerterhöhung Raumtemperatur
- bei $\varphi < 45\%$ Sollwertreduzierung Raumtemperatur

St. Jacobi Berlin

- keine Überschreitung des oberen Feuchtegrenzwertes von 70%
- bei Unterschreitung von $\varphi < 40\%$ kurzzeitige Reduzierung des Sollwertes für die Raumtemperatur erkennbar

Zionskirche Berlin

- bei Überschreitung der oberen Grenze der relativen Feuchte von 70% Gegensteuern der Heizung nachweisbar (Erhöhung Vorlauftemperatur)

Stadtkirche Horn

- relative Feuchte durchgängig $45\% < \varphi < 70\%$
- Einhaltung der Feuchtegrenzen
- Gegensteuerung der Heizung ist nicht nachweisbar (keine Messdaten), Aktivierung der Heizung allerdings auch nicht erforderlich

In den meisten der 7 Transformationskirchen ist die Funktionalität der Feuchtevorrangschaltung nachweisbar. Eine endgültige Beurteilung kann nur durch Analyse der betreffenden Variablen in einem Messzeitraum von mindestens einem Jahr erfolgen.

Lüftung / Fenstersteuerung

Folgende Zielstellungen können in Abhängigkeit des Außenklimas durch Lüftung mit Öffnen und Schließen von Lüftungsfenstern und Unterstützung durch eine Abluftanlage verfolgt werden:

- 1) Reduzierung oder Erhöhung der relativen Feuchte zur Einhaltung der Grenzwerte
- 2) Verbesserung der Raumluftqualität, Abtransport von Schadstoffen, Gerüche, CO₂, u.a.
- 3) Erwärmen oder Kühlen der Raumluft
- 4) Einhaltung des notwendigen Luftwechsels
- 5) Minimierung des Wärmeenergieverbrauchs

Als Nebenbedingungen sind anzustreben:

- 6) Koordinierung der Lüftungsintervalle mit den Heizintervallen
- 7) Vermeidung von Zugerscheinungen
- 8) Vermeidung der Absenkung der Oberflächentemperatur der Raumschale (Taupunktunterschreitung)
- 9) Einhaltung der zulässigen Änderungsgeschwindigkeiten für Temperatur und relative Feuchte
- 10) Schließen der Fenster bei Regen oder Wind

Die Steuerstrategie zur Lüftung in Kirchenräumen wurde in [Lauckner, Baumann 2022] entwickelt und den Fachplanern vorgegeben.

St. Petri Buxtehude

- automatische Lüftungsfenster und die Abluftanlage sind aktiv, die Fenstersteuerung ist nachvollziehbar
- vom 19.-20.01.2024 ist die Stabilisierung der relativen Feuchte im Kirchenraum nachweisbar, da die absolute Feuchte x_a außen größer als die absolute Feuchte x_i innen ist: $x_a > x_i$ und $\varphi < 50\%$
- in der Nähe des unteren Grenzwertes der relativen Feuchte kann damit einem weiteren Absinken entgegengewirkt werden

St. Petri Mulsum

- automatische Lüftungsfenster sind über den gesamten Messzeitraum aktiv
- Lüftungsstrategie funktioniert bei $x_a < x_i$ und relative Feuchte im Erdgeschoss $\varphi > 70\%$ und trägt zur Stabilisierung der relativen Feuchte bei

Dorfkirche Alt-Reinickendorf

- die automatischen Lüftungsfenster bzw. die Abluftanlage ist über den gesamten Messzeitraum nicht aktiv

St. Jacobi Berlin

- Lüftungsfunktion zu Beginn des Messzeitraums aktiv bei Unterschreitung von $\varphi < 45\%$, es folgt die Anhebung der rel. Feuchte für $x_a > x_i$
- gegen Ende des Messzeitraumes keine Lüftung bei Unterschreitung von 45%, da $x_a < x_i$
- der untere Grenzwert beträgt allerdings 30% und wurde wegen der Trocknung des Estrich so eingestellt

Zionskirche Berlin

- keine Daten für Fensterstellung/Lüftung in der GLT verfügbar

Stadtkirche Horn

- Keine Messdaten für die Lüftungssteuerung verfügbar, wie Fensterantriebe, Abluftventilator

Für 5 von 7 Kirchen sind Messwerte für die Lüftungsfunktion vorhanden. In diesen Fällen konnte eine ordnungsgemäße Funktion nachgewiesen werden, die sowohl am oberen und am unteren zulässigen Grenzwert die relative Feuchte stabilisiert. Weitere Untersuchungen sind allerdings nach Messungen über 1 – 2 Jahre erforderlich.

7 Zusammenfassung und Schlussbetrachtung

7.1 Voraussichtlicher Nutzen des Transformationsprojekts und Verwertung der Ergebnisse

Für die Landeskirchen bestand schon 2019 – zur Zeit der Antragstellung - die Notwendigkeit, die Emissionen resultierend aus der Temperierung der vielen Kirchen und die Kosten für diese Temperierung zu reduzieren. Abhängig von der Größe des Kirchenraums, der Grundtemperatur und der Umgebungstemperatur kostete ein einzelner Aufheizvorgang von etwa hundert bis zu tausend Euro. Zudem war deutlich, dass viele Kirchenheizungen mangelhaft konzipiert waren und die Temperierung verbunden mit dem schnellen Wechsel der relativen Feuchte im Raum für die teilweise sehr empfindliche Ausstattung sehr schädliche Auswirkungen hatte. Da die Kirchenbesucher*innen allerdings – zumindest in den alten Bundesländern - in den letzten Jahrzehnten an eine angenehme hohe Temperatur in den Kirchen gewöhnt waren, galt es, dem Anspruch an Behaglichkeit gerecht zu werden. Zu diesen drei Anforderungen kam im Verlauf des Projektes noch der Anspruch, die Temperierung in den Kirchen nach Möglichkeit mit erneuerbaren Energieträgern zu realisieren, um die Emissionen an Treibhausgasen weiter zu reduzieren. Dieser Anspruch ist aus dem Klimaschutzgesetz des Bundes von 2019 und den einzelnen nachfolgenden Klimaschutzgesetzen in den beteiligten Landeskirchen abgeleitet worden. Es galt also, neue innovative Konzepte für Kirchenheizungen zu finden.

Diesem Auftrag folgend, haben die Projektbeteiligten zusammen mit den beteiligten Landeskirchen in Norddeutschland in der Projektphase 1 zunächst einmal 30 Kirchen mit einem innovativen Ansatz der Temperierung eingehend untersucht und dabei ein aufwendiges technisches Monitoring und eine Nutzerbefragung durchgeführt. Diese 30 Kirchen sind über die ganze Fläche der teilnehmenden Landeskirchen verteilt, sehr unterschiedlich in Größe und Konstruktion und zudem sehr unterschiedlichen klimatischen Bedingungen ausgesetzt. Von den 30 Konzepten der Temperierung konnten 14 gut und sehr gut bewertet und als Beispiele für die Phase 2 herangezogen werden.

Diese Phase 2, die Phase der Transformation, war durch große Umsetzungsprobleme gekennzeichnet. Die Corona-Pandemie, Lieferkettenprobleme, eine überhitzte Baukonjunktur, fehlende Fachbüros und Fachfirmen, ungewöhnlich stark steigende Baukosten und eine schwache Förderkulisse außerhalb des Projektes ETiK waren zu bewältigen. Dies ist nur mit einem großen Aufwand in der Begleitung der Kirchengemeinden gelungen, die Mühe hatten, die Konzepte zur innovativen Temperierung ihrer Kirchen zu finanzieren. Dieser Aufwand war notwendig und angemessen. Dies zeigt sich in dem erfreulichen Ergebnis der Evaluation der 7 Beispiele, die trotz aller Probleme umgesetzt werden konnten. Die Evaluation zeigt gute raumklimatische Werte und die errechnete Einsparung an Heizenergie liegt bei 59 %, die Reduktion der Emission von Treibhausgasen sogar bei 72 %, bei dem Einsatz von echtem Ökostrom noch einmal deutlich darüber.

Die Erkenntnisse aus dem Projekt können auf den gesamten Kirchenbestand der Landeskirche Hannovers übertragen werden, darüber hinaus aber auch auf den Bestand der anderen evangelischen Landeskirchen in Deutschland und auch dem Kirchenbestand der Bistümer. In der Summe sind dies etwa 40.000 Kirchen. Dieser Bestand zeichnet sich durch einen sehr unterschiedlichen Erhaltungszustand und eine sehr unterschiedliche Nutzungsfrequenz aus. Während die Kirchen in der Landeskirche Hannovers und darüber hinaus in Niedersachsen bisher – zumindest ab den 1950-er Jahren - kontinuierlich gepflegt und unterhalten wurden, ist dies bei vielen Kirchen in den neuen Bundesländern über eine lange Phase nicht der Fall gewesen.

Alle Landeskirchen in Deutschland und auch die Bistümer haben in Anbetracht der rückläufigen Kirchensteuermittel mittlerweile damit begonnen, ihre Kirchen zu bewerten und zu priorisieren. Im Ergebnis wird es Kirchen geben, die oft für Gottesdienste und Konzerte genutzt werden und daher eine gute Form der Raumtemperierung benötigen. Daneben wird es viele kleine und selten genutzte Kirchen geben, in denen lediglich eine körpernahe Temperierung vorgesehen wird, insbesondere dann, wenn das Raumklima hinreichend

trocken ist und eine Grundtemperierung zur Entfeuchtung des Raumes nicht erforderlich ist. Falls nur die Hälfte der Kirchen in Deutschland eine Raumtemperierung haben, sind dies insgesamt etwa 20.000 Kirchen, bei lediglich einem Viertel immer noch 10.000 Kirchen. Da Kirchenheizungen oft 30 Jahre funktionieren bis sie ausgetauscht werden müssen, ist von mehr als 300 Heizungserneuerungen in Kirchen in Deutschland pro Jahr bei etwa 10.000 Kirchen mit einer Raumtemperierung auszugehen. Für diese Umrüstungen liefert das Transformationsprojekt ETiK gute Beispiele, die sich in angepasster Weise übertragen lassen. Allein für die Landeskirche Hannovers, die derzeit etwa 1660 Kirchen besitzt, ist bei einem Anteil der Raumtemperierung mit 50 % von einer Anzahl der Umrüstungen von etwa 30 Kirchen pro Jahr auszugehen.

Die Umrüstung von Heizungsanlagen wird zur Folge haben, dass die Energieverbräuche deutlich zurückgehen und die Temperierung der Kirchen für die Kirchengemeinden wieder finanzierbar wird. Zudem werden die Emissionen an Treibhausgasen ebenfalls deutlich zurückgehen, was dem Erreichen der Klimaschutzziele der Landeskirchen dient. In welchem Maße die Energieverbräuche und die Emissionen zurückgehen, ist sehr stark davon abhängig, in wie vielen Kirchen der Raum insgesamt in Zukunft noch temperiert wird und auf welchem Temperaturniveau. Angenehm temperierte öffentlich Räume allerdings sind sehr viel attraktiver für die Menschen und dienen dem Zusammenhalt und der Kultur und fördern das Miteinander insbesondere in ländlichen Bereichen, in denen es an schönen öffentlichen Räumen mangelt.

Die evangelischen Landeskirchen stoßen mit diesem Vorhaben auf ein die Landesgrenzen überschreitendes und mehrere Landeskirchen übergreifendes großes öffentliches Interesse. Insbesondere in den Bereichen von Politik, Kunst und Kultur, Wissenschaft, Architektur, Ingenieurtechnik und Umweltschutz, da dem Gedanken der Nachhaltigkeit und der ökologischen Verantwortung hier eine gebührende Bedeutung beigemessen wird.

7.2 Empfehlungen der Projektbeteiligten

Das Transformationsprojekt ETiK ist in Absprache mit dem Projektträger Jülich und dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie als Verbundprojekt angelegt worden, in dem ganz unterschiedliche Fachdisziplinen interdisziplinär zusammengearbeitet haben. Nach Abschluss des Projekts haben die Beteiligten gemeinsam eine Reihe von Empfehlungen erarbeitet, die sich aus den Ergebnissen der Evaluation und den Erfahrungen der letzten fünf Jahre ableiten ließen. Diese Empfehlungen können der Sache nach nur genereller Natur sein, da jedes Projekt individuell betrachtet werden muss. Sobald es konkreter wird, ist eine kompetente Beratung im Einzelfall erforderlich. Dafür stehen die Beteiligten in dem Kompetenznetzwerk Temperierung Sakralbauten weiterhin zur Verfügung.

7.2.1 Voraussetzungen für eine gute nachhaltige Planung

- Es ist eine verbindliche Abstimmung auf den Ebenen Landeskirche, Kirchenkreis und Kirchengemeinde erforderlich, ob eine Kirche langfristig weiter genutzt werden soll. Dies gilt auch für die fraglichen Ebenen in den Bistümern. Erst wenn die langfristige Nutzung und damit auch der Erhalt geklärt ist, sollten die Planungen vorangetrieben und Fachplanungen beauftragt bzw. vorgenommen werden.
- Falls Nutzungspartnerschaften mit Kommunen, Vereinen oder Anderen eingegangen werden sollen, sind belastbare Verträge vor Planungsbeginn erforderlich. Es muss Verbindlichkeit hergestellt werden. Hilfreich bei der Diskussion um Nutzungspartnerschaften ist die von den Kirchen angeregte Betrachtung des sog. Sozialraums, also der Anforderungen und Bedarfe der Menschen im Einzugsbereich der Kirche.

- Die Beteiligten von Nutzungspartnerschaften müssen Vereinbarungen über die zukünftige Art der Nutzung schließen, welche Grundlage für die weitere Planung werden. Dabei kann eine sozialwissenschaftliche Begleitung/Moderation wichtig sein, um bei heterogener Interessenlage einen guten tragfähigen Kompromiss zu finden. Ein klar definiertes gemeinsames Ziel stärkt die Motivation und schafft Orientierung. Dafür braucht es Dialog, Engagement – besonders bei Ehrenamtlichen – und die Bereitschaft, den Prozess aktiv mitzugestalten.
- Ehrenamtliche, die in die Planung eingebunden werden, sollten mit Planungsbeginn fachlich geschult werden. Im Projektverlauf wurde deutlich, dass 95 % der Befragten den Energieverbrauch ihrer Kirche, die Kosten der Aufheizung und die dabei anfallenden Emissionen nicht kannten. Fakten zu Einsparpotentialen und der Reduzierung von Treibhausgasemissionen senken Vorbehalte und erhöhen die Bereitschaft zur Mitwirkung.
- Es muss schon bei Planungsbeginn über die Möglichkeiten der Finanzierung gesprochen werden. Eine realistische Betrachtung der finanziellen Spielräume erspart den Beteiligten Enttäuschungen und eine Beratung in Fragen der möglichen Förderung des Vorhabens durch Dritte kann dabei sehr hilfreich sein. Viele Landeskirchen – vermutlich auch die Bistümer - haben dafür spezielle Stellen eingerichtet, die frühzeitig eingebunden werden sollten.
- Bei komplexen Baumaßnahmen ist ab einem gewissen Planungsstadium – in der Regel nach der Vorplanung - die Einbindung aller relevanten Akteure bzw. Expertisen zu empfehlen. Neben den Vertreter*innen der kirchlichen Ebenen und der Planung sind dies u.a. die Denkmalpflege, die Fördermittelberatung und die Kommune. Eine gesonderte Projektsteuerung kann bei großen Maßnahmen sehr hilfreich sein, um Abstimmungsrunden zu organisieren, mögliche Zielkonflikte aufzulösen, Protokolle zu erstellen und die Zeitpläne zu überwachen.
- Da Kirchenheizungen ein Sonderthema im Bereich der technischen Gebäudeausrüstung (TGA) sind, empfiehlt es sich, ein in diesem Bereich erfahrenes Ingenieurbüro zu beauftragen. Von Vorteil ist es, wenn das Büro in der Region ansässig ist und die Bauleitung und die Begleitung in der Gewährleistungsphase (siehe 7.2.8) übernehmen kann.

7.2.2 Grundlagen der Planung in einem konkreten Fall

- Die Kirchen sind sehr unterschiedlich in Größe, Bauweise, Ausstattung und Gliederung des Volumens. Kirchen sind Unikate und müssen einzeln erfasst und bewertet werden. Zudem sind die gewünschten Nutzungsprofile gesondert zu betrachten.
- Eine gute Bauaufnahme, eine Sichtung und Bewertung der Ausstattung und ein Klimamonitoring über mindestens ein Jahr sind wichtige Grundlagen für die weitere Planung. Es sind Bestandsunterlagen wie Grundrisse, Schnitte und Ansichten zu beschaffen. Diese Unterlagen sollten in bearbeitbaren Formaten, mindestens als PDF, zur Verfügung gestellt und ausgewertet werden. Zudem sind vorhandene Gutachten von Restauratoren, Orgelrevisoren und Orgelbaufirmen zu sichten und auszuwerten.
- Falls vorhanden, sollten Messdaten zum Raumklima über einen längeren Zeitraum – optimal ist ein Zeitraum von fünf Jahren – in einem auswertbaren Datenformat (XLS oder CSV) zur Verfügung gestellt und ausgewertet werden.
- Falls die Planungsaufgabe sehr komplex ist, können darüber hinaus eine thermodynamische und hygrische Simulation sowie in Einzelfällen eine Simulation von Raumluftrömungen Hilfestellungen sein.

7.2.3 Einsatz erneuerbarer Energieträger

- Es hat sich gezeigt, dass verschiedene Arten von erneuerbaren Energieträgern auch in Kirchen eingesetzt werden können und die Temperaturgradienten im Aufheiz- und Abheizvorgang (Abkühlvorgang) bei guter Gebäudeleittechnik eingehalten werden. Die Wirtschaftlichkeit der Anlagen, die mit erneuerbaren Energieträgern betrieben werden, ist sehr stark von der weiteren Entwicklung der CO₂-Bepreisung für fossile Energieträger abhängig.
- Eine Geothermie mit einer Sole-Wasser-Wärmepumpe kann eingesetzt werden, wenn das Grundstück es hergibt. Dabei sind archäologische, geologische, ökologische, gartengestalterische und denkmalfachliche Fragen zu klären. Die Investitionskosten dafür sind zunächst hoch, im Falle einer guten klimaneutralen Stromversorgung allerdings sind die Emissionen im Betrieb minimal und die langfristigen Verbrauchskosten tendenziell gering.
- Luft-Wasser-Wärmepumpenanlagen wurden in dem Transformationsprojekt nicht umgesetzt und nicht evaluiert. Den Projektbeteiligten liegen allerdings Erkenntnisse vor, nach denen diese Anlagen auch für Kirchen, die meist schlecht gedämmt wurden, ebenfalls geeignet sind. Die Investitionskosten sind tendenziell niedriger als bei einer Geothermieanlage, die Verbrauchskosten dafür in der Regel geringfügig höher. Bei Wirtschaftlichkeitsberechnungen sind diese Anlagen mittlerweile konkurrenzfähig, wenn die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpen über 4 liegt, was nach neuestem Stand der Technik realisierbar ist.
- Fernwärme kann dann eingesetzt werden, wenn die Kommune eine verbindliche Wärmeplanung aufgestellt hat, die fragliche Kirche in dem Einzugsbereich der Fernwärmeversorgung liegt und diese langfristig sichergestellt ist. Wichtig ist, dass die Fernwärme einen niedrigen Emissionsfaktor hat und der Bezug wirtschaftlich vertretbar ist. Die Investitionskosten sind bei dieser Variante eher gering und die Verbrauchskosten meist höher.
- Ein Nahwärmenetz (z.B. Abwärme aus Biogasanlagen) kann genutzt werden, wenn dieses eine nachhaltige Versorgungssicherheit bietet, belastbare Vertragsvorschläge vorliegen und die Verbrauchskosten vertretbar sind.
- Eine Pelletheizung kann eingesetzt werden, wenn ein Lagerraum vorhanden ist oder angebaut werden kann und eine einfache Anlieferung möglich ist. Die Pelletheizung ist in erster Linie in ländlichen Regionen eine Option, in der die Feinstaubbelastung einer Holzheizung nicht so sehr in Gewicht fällt.

7.2.4 Absenkung der Nutzungstemperatur und körpernahe Temperierung

- Der Ansatz der körpernahen Temperierung in Kombination mit einer abgesenkten Nutzungstemperatur im Raum – z.B. 8 °C Grundtemperatur und 12 °C oder 14 °C Nutzungstemperatur - hat sich bewährt. Dies hat die gründliche Evaluation im Rahmen des Projektes valide belegt. Gerade bei älteren Menschen und längeren Veranstaltungsformaten kann diese Kombination die Akzeptanz steigern. Auch für die oft empfindliche Ausstattung in den Kirchen ist diese Herangehensweise von Vorteil, da die Feuchteschwankungen dabei minimiert werden. Für die körpernahe Temperierung kommen u.a. Bankheizkörper, elektrische Sitzkissenheizungen und Fußbodenheizungen in Betracht.
- Menschen müssen sich an eine niedrigere Grundtemperierung des Raumes zunächst einmal gewöhnen. Dafür ist Aufklärungs- und Überzeugungsarbeit im Hinblick auf Kostenersparnis und Nachhaltigkeit wichtig. Warme Kleidung und Decken helfen, einen Gottesdienst bei 12 °C als angenehm zu empfinden.

- Musiker brauchen eine höhere Temperatur als 12 °C oder 14 °C, um ihre Instrumente gut spielen zu können. Erwartet werden üblicherweise 18 °C. Entweder wird die Heizungsanlage so ausgelegt, dass diese Temperatur auch im Winter erreicht werden kann, oder es gibt Sondervorkehrungen wie temporäre Konzertmuscheln oder Luftschleier. Wichtig ist, dass der untere Wert der relativen Feuchte auch im Winter nicht unterschritten wird bzw. die Feuchtevorrangschaltung den Aufheizvorgang nicht zu früh abbricht.

7.2.5 Anordnung der Heizkörper und Lüftungskonzept

- Viele kleine, klug verteilte und bezüglich der Luftführung bzw. Wärmeverteilung angeordnete Wärmequellen im Kirchoraum sind besser als wenige große, da die Zugscheinungen dadurch minimiert werden können. Insbesondere ist ein meist sehr unangenehmer Kaltluftabfall an den Fenstern mittels geeigneter Wärmequellen in Fensternähe zu vermeiden.
- Ein gutes Lüftungskonzept kann im Sinne der natürlichen Klimatisierung des Kirchenraumes zur Stabilisierung von Temperatur und relativer Feuchte bei Reduzierung des Wärmeenergieverbrauchs beitragen. Die Lüftung muss sich auf eine ausreichende Sensormesstechnik und eine umsichtige Steuerung der Gebäudeleittechnik stützen.

7.2.6 Übergabe der neuen Heizungs- und Lüftungsanlage an die Kirchengemeinde

- Nach Fertigstellung ist eine gute breite Einweisung der Nutzenden erforderlich, damit die Technik gut und sinnvoll genutzt wird. Es gibt viele Beispiele dafür, dass die Nutzenden mit ihrer komplexen Technik nicht klarkommen. Neben der üblichen Gebrauchsanleitung seitens des Herstellers sollte daher ein spezielles Handbuch für technische Laien erstellt werden.
- Bei der Vertragsgestaltung mit dem Ingenieurbüro für technische Gebäudeausrüstung am Anfang der Planung ist darauf zu achten, dass die sog. Leistungsphase 9, die Begleitung in der Phase der Gewährleistung, mitbeauftragt wird. Die Gewährleistung und damit die Beseitigung von Mängeln an den Anlagenteilen nach der sog. Abnahme ist von den Fachfirmen zu leisten. Für Kirchengemeinden ist es schwierig, diese Gewährleistungsansprüche ohne fachliche Unterstützung des Ingenieurbüros geltend zu machen.
- Nach der Übergabe der neuen Heizungs- und Lüftungsanlage ist zudem eine enge Begleitung der Nutzenden essenziell, um eine reibungslose Inbetriebnahme zu gewährleisten und die Akzeptanz zu sichern. Dabei helfen gezielte Befragungen, etwa durch Fokusgruppen, um frühzeitig praktische Herausforderungen zu erkennen und zu beheben. Ergänzend liefern praktische Erhebungen u.a. zum Raumklima und den Verbrauchswerten wertvolle Erkenntnisse auf die Wirkungen der Maßnahmen im Zeitverlauf. So entsteht eine belastbare Grundlage, um sowohl technische Einstellungen als auch die begleitende Kommunikation bedarfsgerecht weiterzuentwickeln.

8 Literatur

- [Arendt 1992] Die Kirchenheizung gibt es nicht. Teil 1 – 4, Heiztechnik, 10/1992, 11/1992, 12/1992, 1/1993
- [Bauhandbuch 2006] Kirchliches Bauhandbuch. Evangelischen Presseverband für Westfalen und Lippe e.V., 2006
- [Baumann 1998] Planungsrichtlinien für Kirchenheizungen, Ing.-Büro NIEHSEN-BAUMANN Chemnitz, unveröffentlicht
- [Baumann 2005] Forschungsprojekt Warmwasser-Bankheizkörper für Kirchen, 2002-2005
- [Baumann 2009] Merkblatt für Kirchenheizungen mit Feuchtevorrangschaltung vom 14.01.2009, http://www.nielsen-baumann.de/Merkblatt-Luftfeuchte_2009-01-14.pdf
- [Baumann 2011] Ing.-Büro Nielsen-Baumann Chemnitz: FuE-Projekt SimKi - Simulationssoftware für Kirchen, 2007-2011
- [Baumann 2014] Ing.-Büro Nielsen-Baumann Chemnitz: FuE-Projekt StrateKi - Raumlufströmungen in Kirchen, 2011-2014
- [Baumann 2016] Ing.-Büro Nielsen-Baumann Chemnitz: Heizungsmatrix. Interner Bericht, Chemnitz 2016
- [Birkenbeul 2019] Birkenbeul, I.; Weyer, A. (Hg.): Klimazone Kirche. Interdisziplinäre Tagung der HAWK Hochschule Hildesheim/Holzminde/Göttingen, 16.-18.01.2019
- [DIN 1946] Raumluftechnik (VDI-Lüftungsregeln), Teil 2 Gesundheitstechnische Anforderungen. 1994
- [Dorf 2000] Dorfkirchen in Not. Mitteilungen des Vereins Dorfkirchen in Not in Mecklenburg und in Vorpommern, Nr. 6, April 2000
- [Eckermann 2017] Eckermann, W.; Brokmann, T.: Klimastabilisierung in temporär genutzten Gebäuden zum Zwecke des Bautenschutzes und zur Verbesserung der Nutzbarkeit. Forschungsbericht, Deutsche Bundesstiftung Umwelt, AZ 20879, Potsdam 2007
- [EenHiKuK 2017] Evaluation energiesparender, nachhaltiger Heizsysteme in Kirchen und Kapellen. Ev.-luth. Landeskirche Hannovers, Projektskizze an den PtJ des BMWi, Hannover, 25.7.2017
- [EKD 2016] Zahlen und Fakten zum kirchlichen Leben. EKD Statistik, Hannover 2016
- [FEST 2021] Foltin, O.; Teichert, V.: Treibhausgas- und Klimaneutralität den Kirchen. Positionspapier der FEST, Heidelberg, 11/2021
- [Graupner 2009] Graupner, K.; Lobers, F.: Stadtkirche St. Marien in Pirna. Seminar Bauklimatik im Bestand: Kirchenheizungen, Dresden, 8.5.2009
- [Grünwaldt 2016] Grünwaldt, K.; Lemke, W.; Stein, V.: Schimmelpilzbildung in Orgeln. Rundverfügung G2, Ev.-luth. Landeskirche Hannovers, Hannover, 2016
- [Handbuch 1997] Kirchliches Bauhandbuch: Energiesparendes und umweltschonendes Bauen in der evangelischen Kirche. Konferenz der Bauamtsleiter der Gliedkirchen der EKD. Ev. Presseverband für Westfalen und Lippe e. V., Bielefeld, 1994/1996
- [Hähnel 2010] Hähnel, S.: Erarbeitung eines Regelungskonzeptes für die Klimatisierung der Dresdner Kreuzkirche. Diplomarbeit, HTW Dresden, Dresden, 2009

- [Häupl 2002] Häupl, P.; Roloff, J.: Die klimatischen und bauphysikalischen Verhältnisse im Bereich der Wendelrampe und der Hauptkuppel der Frauenkirche Dresden. Abschlussbericht des Institutes für Bauphysik der TU Dresden, 17.4.2002
- [Krischer 1957] Krischer, O.; Kast, W.: Zur Frage des Wärmebedarfs beim Anheizen selten beheizter Gebäude. Gesundheits-Ingenieur 78 (1957). S. 321-325
- [Klotzsche 2009] Klotzsche, C.: Entwicklung einer Lüftungsstrategie für die Wendelrampe der Dresdner Frauenkirche. Diplomarbeit, HTW Dresden, 2009
- [Krüger 2010] Krüger, Bahr, Bastianini, Bachmaier, Lehmann, Frick: „D3.3 Sensor development and sensor adaption.“, Juli 2010, SMooHS - Smart Monitoring of Historic Structures, EU FP7, Projektbericht.
- [Kruppke 2010] <http://www.amalien-orgel.de/restaurierung/bauwerk.php>
- [Lauckner 2003] Lauckner, G.: Analyse- und Beratungsleistungen zur Prozessführung der Gebäudetechnik für die Frauenkirche. Stiftung Frauenkirche, Teil 1: 2002, Teil 2: 2003
- [Lauckner 2006] Lauckner, G.: Messungen zum Raumluftzustand in der Dresdner Frauenkirche. ZAFT e.V., Auftraggeber Stiftung Frauenkirche, Dresden, 2006
- [Lauckner 2009a] Lauckner, G.; Baumann, L.; Kunze, F.: Erfassung und Messung des Klimas innerhalb und außerhalb der Orgel in der Kirche „Zur Frohen Botschaft“. Forschungsbericht, 20.11.2009, Dresden
- [Lauckner 2009b] Lauckner, G.: Überprüfung und Abhilfe von Zugserscheinungen im Altarraum und Verbesserung der Durchlüftung der Emporen. Forschungsbericht, ZAFT e.V., Auftraggeber Stiftung Frauenkirche, Dresden, 2009
- [Lauckner 2011] Lauckner, G.; Kunze, F.: Erfassung und Messung des Klimas innerhalb und außerhalb der Orgel in der Kirche „Zur frohen Botschaft“. Forschungsbericht, ZAFT e.V.
- [Lauckner 2012] Lauckner, G.; Kunze, F.: Entwicklung und Erprobung einer Strategie für die bedarfsgerechte Steuerung des Raumluftzustandes im Lesesaal der HTW – Bibliothek. Staatsbetrieb Sächsisches Immobilien- und Baumanagement, Dresden, 2012
- [Lemke 2016] Lemke, W.: Beheizung und Lüftung von Kirchen und Kapellen. Rundverfügung G3, Ev.-luth. Landeskirche Hannovers, Hannover, 2016
- [Lemke 2022] Lemke, W.: Beheizung und Lüftung von Kirchen und Kapellen, Strategien für den Winter 2022/2023. Ev.-luth. Landeskirche Hannovers, Hannover, 2022
- [Löther 2017] Löther, T.; Winkler, S.; Lange, N.: Untersuchung modellhafter Maßnahmen zur gleichzeitigen Reduzierung des Energieverbrauchs, Verbesserung des Nutzerkomforts und Reduzierung des Instandhaltungsaufwandes temporär genutzter Sakralbauten. Forschungsbericht, Deutsche Bundesstiftung Umwelt, AZ 28066, Dresden 2017
- [Mahr 2002] Th. Mahr und Söhne GmbH: Die zeitgemäße Kirchenheizung. Firmenschrift, Aachen 2002
- [Mahr 2009] Th. Mahr und Söhne GmbH: Die MAHR-Lüftungsampel. Firmenschrift, Aachen 2009
- [Menne 2014] Menne, H.: Energiekosten senken – Kirchliche Kunstgüter erhalten. Haus kirchlicher Dienste der Ev.- luth. Landeskirche Hannover, Hannover 2014

- [Nehring 2011] Nehring, C.: Verbesserung der Energieeffizienz und ressourcenschonender Energieausnutzung in Sakralbauten. Diplomarbeit, Westsächsische Hochschule Zwickau, 2011
- [Passtec 2008] Historische Bausubstanz erhalten. Kälte-, Luft-, Klimatechnik, Hühlig GmbH, Mannheim, 7-8 2008
- [Petzold 1997] Bauklimatische Analyse der Frauenkirche. gi, Heft 4,5,6/1997
- [Riedel 2002] Riedel, M.; Bentscheff, S.; Lauckner, G.; Klingner, M.: Pilotversuch zur Einführung mikroelektronischer Einzelraumregelungssysteme für die bedarfsgeführte Heizungs- und Lüftungssteuerung. Förderkennzeichen I-0329750D, BMBF/BEO, Dresden, 31.12.2002
- [Rouvel 1997] Rouvel, L. und Zimmermann, F.: Ein regelungstechnisches Modell zur Beschreibung des thermisch dynamischen Raumverhaltens. HLH 10+12/97 und 1/98
- [Rüpke 2010] Hans-Joachim Rüpke, H.-J., Kürsten, E.: Richtiges Lüften von Kirchen. www.holzfragen.de/seiten/lueften_von_kirchen.html
- [Scheffler 2009] Anwendungsbeispiele und Betriebserfahrungen von Temperierungs- und Heizungsanlagen für Kirchen. Seminar Bauklimatik im Bestand: Kirchenheizungen, Dresden, 8.5.2009
- [Seidel 2013] Seidel, H.; et.al.: Modellhafte Entwicklung von haustechnischer Ausrüstung zur Temperierung denkmalgeschützter Steinkirchen mit dem Ziel der CO₂-Minderung, Absenkung der Betriebskosten sowie Vermeidung von Kondensat. Forschungsbericht, Deutsche Bundesstiftung Umwelt, AZ 29185, Kiel 2013
- [SimKi 2011] Baumann, L.; Brückner, J.; Lauckner, G.: Innovative Dienstleistung zur Planung heizungs- und klimatechnischer Anlagen für historische Kirchbauten – Entwicklung und Anwendung eines Softwarewerkzeuges zur Bemessung, Simulation und regelungstechnischen Auslegung. Förderprojekt, SAB, Projektnummer 12254/1977, Chemnitz, Hainichen und Dresden, 13.10.2011
- [TRN 1996] Transsolar Energietechnik GmbH (Hrsg.): TRNSYS - a transient system simulation program. Stuttgart. 1996 [Wenzel 1996]
- [Walther, 2010] Walther, T.; Penzel, A.: FEANZ-Lüftungssampel. Firmenschrift, PASStec GmbH, Crimmitschau, 2010
- [ZigPos 2010] ESF exists Gründerinitiative ZigPos, www.zigpos.com