

Evangelisch-Lutherische Kirche in Norddeutschland
Landeskirchenamt – Dezernat Bauwesen/Bau- und Denkmalpflege
Projektleitung: Dr.-Ing. Heiko Seidel
Dänische Straße 21-35, 24103 Kiel

Evangelisch-Lutherischer Kirchenkreis Lübeck-Lauenburg
Bäckerstraße 3-5
23564 Lübeck

Evangelisch-Lutherischer Kirchenkreis Ostholstein
Königstraße 8
23730 Neustadt

Modellhafte Entwicklung von haustechnischer Ausrüstung zur Temperierung denkmalgeschützter Steinkirchen mit dem Ziel der CO₂-Minderung, Absenkung der Betriebskosten sowie Vermeidung von Kondensat

**Grundlagenermittlung im Bereich der Nordelbischen Kirche und
beispielhafte Übertragung auf zwei Kooperationsobjekte:
Feldsteinkirche in Ratekau - St. Marien Kirche in Gudow**

Abschlussbericht über ein Entwicklungsprojekt,
gefördert unter dem Az: 29185 von der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

Dr. Heiko Seidel, Dr. Dirk Jonkanski, Dirk Behrens, Jürgen Rösing, Liane Kreuzer, Thorsten Plath, Werner Haase, Jens Peters, Torsten Ewers, Engelbert Morawe, Sören Vollert, Heiko Brandner, André Schuldt

30. April 2013

Impressum:

Herausgeber:
Evangelisch-Lutherische Kirche in Norddeutschland
Landeskirchenamt, OKR Jan Simonsen
Dänische Straße 21/35, 24103 Kiel

Tel. 0431 9797 723

Fax 0431 9797 749

www.nordkirche.de

Projektleitung:
Dr. Heiko Seidel

Redaktion:
Dirk Behrens, Liane Kreuzer, Thorsten Plath, Jürgen Rösing, Dr. Heiko Seidel

Lektorat und Layout:
Institut für angewandte Informatik im Bauwesen e.V.
Alter Holzhafen 17 c, 23966 Wismar

Tel. 03841 758 2276

Dieser Bericht wurde als Abschlussbericht des von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) geförderten Projektes erstellt.

Projektkennblatt
der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Az	29185	Referat	14	Fördersumme	125.000
----	--------------	---------	-----------	-------------	----------------

Antragstitel **Antrag zur Förderung aus Mitteln der Deutschen Bundesstiftung Umwelt zur modellhaften Entwicklung von haustechnischer Ausrüstung zur Temperierung denkmalgeschützter Steinkirchen mit dem Ziel der CO₂-Minderung, Absenkung der Betriebskosten sowie Vermeidung von Kondensat.**

Stichworte

Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)
28 Monate	21.12.2010	30.04.2013	1
Zwischenberichte	22.06.2011, 22.06.2012		

Bewilligungsempfänger	Nordelbische Evangelisch-Lutherische Kirche Nordelbisches Kirchenamt, Dr. Wilhelm Poser, heute: Evangelisch-Lutherische Kirche in Nord- deutschland, Landeskirchenamt, OKR Jan Simonsen Dänische Straße 21/35 24103 Kiel	Tel	0431 9797 723
		Fax	0431 9797 749
		Projektleitung	
		Dr.-Ing. Heiko Seidel	
		Bearbeiter	
		SL	

Kooperationspartner Evangelisch-Lutherischer Kirchenkreis Lübeck-Lauenburg
Kirchliches Verwaltungszentrum, Bäckerstraße 3-5
23564 Lübeck
Evangelisch-Lutherischer Kirchenkreis Ostholstein
Kirchliches Verwaltungszentrum, Schloßstraße 13
23701 Eutin

Zielsetzung und Anlaß des Vorhabens

Anlass: Die Belastung der Kirchengemeinden durch Pflegemaßnahmen für hochwertige Ausstattungsstücke (historisches Kunstgut u. Orgeln) bei der Beseitigung von Schimmelbefall verlangt nach Lösungen zur wirkungsvollen Vermeidung von Schimmel. Die Einhaltung eines Raumklimas, in dem Schimmelpilzwachstum nicht entsteht, soll durch empirische Untersuchungen abgesichert werden.

- Entwicklung von Methoden zur Herstellung eines konservatorisch ausgeglichenen Innenraumklimas in Kirchen
- Reduzierung der Primärinvestitionskosten für haustechnische Anlagen in Kirchen
- Reduzierung der Betriebskosten (für Energie) in Kirchen
- Reduzierung von CO₂-Emissionen bei der Temperierung von Kirchen

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

- Entwicklung einer Systematik zur Bestandsaufnahme der Predigtstätten
- Bestandsaufnahme der Predigtstätten
 - o Gebäudekenndaten
 - o Merkmale der vorhandenen haustechnischen Anlagen
 - o Energieverbräuche
 - o Problemanzeigen
- Schlussfolgerungen für zukünftige haustechnische Planungen in Kirchengebäuden
- modellhafte Planung für die Kirchen Ratekau und Gudow einschließlich dynamischer Gebäudesimulation
- erste Überprüfung der realisierten Planung am Beispiel der Kirche Ratekau einschließlich Monitoring zum Energieverbrauch und Raumklima

Ergebnisse und Diskussion

- Installation einer Arbeits- und Informationsstruktur unter Beteiligung der verschiedenen kirchlichen Verwaltungseinheiten (Kirchengemeinderäte Gudow und Ratekau, Kirchenkreise Lübeck-Lauenburg und Ostholstein, Landeskirchenamt), der staatlichen Denkmalbehörden (Landesamt für Denkmalpflege Schleswig-Holstein, Bereich Archäologie und Denkmalpflege der Hansestadt Lübeck) und der beauftragten Planer
- Einrichtung unterschiedlicher Gesprächs- und Arbeitsforen (Anlage: Rahmenterminplan)
- Abstimmung eines Projektdatenblattes für die Bestandserfassung (Anlage: Bestandserfassung)
- Beginn der Bestandserfassung unter Einbeziehung der unterschiedlichen kirchlichen Beteiligten.
- Fachliche Abstimmung der Ausführungsplanung TGA Kirche Ratekau auf der Grundlage des DBU-Projektantrags einschließlich dynamischer Gebäudesimulation (gemäß Darstellung des Projekts im Abschlussbericht)
- Umsetzung der TGA Planung Kirche Ratekau (gemäß Darstellung des Projekts im Abschlussbericht)
- Fachliche Abstimmung der Ausführungsplanung TGA Kirche Gudow auf der Grundlage des DBU-Projektantrags einschließlich dynamischer Gebäudesimulation (gemäß Darstellung des Projekts im Abschlussbericht)

Das Projekt wurde durch Partizipation einer Vielzahl hauptamtlicher und ehrenamtlicher kirchlicher Mitarbeiter und externer Planer geprägt. Der Projektbericht bildet durch die Summe der Autoren diese integrative Arbeitsweise mit einer gewissen Heterogenität ab.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

- Pressekonferenz am 14.01.2011 in Ratekau
- Vorstellung im Rahmen der Baufachgespräche für die Mitarbeitenden der kirchlichen Bauabteilungen in der Evangelisch-Lutherischen Kirche in Norddeutschland
- Klimasynode KK Lübeck-Lauenburg am 4.02.2013 in Mölln
- Abschlusskolloquium am 22.02.2013 in Lübeck
- Presseberichterstattung gemäß Anhang Projektbericht
- Berichterstattung im NDR-Fernsehen am 22.02.2013 (Schleswig-Holstein Magazin)

Fazit

Im Rahmen des Projekts wurden die wesentliche Fragenstellungen erfolgreich untersucht:

- Das restauratorisch günstigste Feuchtigkeitsfenster für die betrachteten Kirchen deutet sich nach den Ergebnissen dieses Projekts für den Bereich von 55-60 % relativer Luftfeuchtigkeit an.
- Die Arbeitshypothese, dass einer durchgängigen und gleichmäßigen Temperierung von Kirchengebäuden aus konservatorischer Sicht der Vorzug vor wechselnden Aufheiz- und Abkühlungsphasen zu geben ist, scheint sich zu bestätigen.
- Ob das angenommene Temperaturfenster zwischen 8 °C und 12 °C richtig gewählt wurde, ist noch nicht abschließend zu sagen.
- Aufgrund der in diesem Projekt gesammelten Erfahrungen wird geschätzt, dass mit dem hier realisierten Temperaturniveau zwischen 8 °C und 12 °C bezogen auf den Bestand der vorhandenen Kirchenheizungen in der ehemaligen Landeskirche (Nordelbische Evangelisch-Lutherische Kirche) eine Reduzierung der Primärenergie um 50 % möglich ist.
- Bezogen auf die Gesamtzahl der circa 800 Predigtstätten in dem Bereich der ehemaligen Nordelbischen Kirche und Hochrechnung des in der Bestandsaufnahme für 122 Kirchen ermittelten Energiebedarfs würde der Einsatz der in Ratekau realisierten Technik eine Verringerung des CO₂-Ausstoßes in Höhe von 4.800 t/a bedeuten.

Inhaltsverzeichnis

1.	Einführung	10
1.1.	Zielstellung und Gegenstand des Forschungsprojektes	10
	<i>Autor: Dr. Heiko Seidel</i>	
1.2.	Grundsätzliche Ausführungen zu Kirchengebäuden im Untersuchungsgebiet.....	13
	<i>Autor: Dr. Heiko Seidel</i>	
1.3.	Denkmalpflegerische Aspekte bei der Temperierung von Kirchen	14
	<i>Autor: Dr. Dirk Jonkanski</i>	
1.4.	Bauklimatische Grundlagen in Kirchengebäuden	16
	<i>Autor: Dirk Behrens</i>	
1.5.	Kirchenbaurechtliche Aspekte.....	18
	<i>Autor: Dirk Behrens</i>	
2.	Bestandsaufnahme der Kirchengebäuden in den evangelisch-lutherischen Kirchenkreisen Lübeck-Lauenburg und Ostholstein	20
2.1.	Untersuchungsgegenstand	20
	<i>Autoren: Jürgen Rösing, Liane Kreuzer</i>	
2.2.	Untersuchungsmethodik.....	21
	<i>Autoren: Jürgen Rösing, Thorsten Plath</i>	
2.3.	Bestandsaufnahme	24
	<i>Autoren: Thorsten Plath, Jürgen Rösing</i>	
2.4.	Datenauswertung der Bestandsaufnahme.....	26
	<i>Autor: Werner Haase</i>	
3.	Simulation und Monitoring in Kirchen als Methode der TGA-Planung.....	31
	<i>Autor: Jens Peters</i>	
3.1.	Grundlagen zur Dynamischen Gebäudesimulation.....	31
3.2.	Monitoring - Möglichkeiten zur Betriebsüberwachung und Verifizierung der TGA-Planung.	32
4.	Darstellung der Einzelprojekte	33
4.1.	Feldsteinkirche Ratekau	33
4.1.1.	Ausgangssituation/Baubeschreibung/Sanierungsstand.....	33
	<i>Autor: Jürgen Rösing</i>	
4.1.2.	Werkbericht des Architekten zur Sanierung der Kirche Ratekau.....	35
	<i>Autoren: Torsten Ewers, Jürgen Rösing</i>	
4.1.3.	Heizungs-, Temperierungs- und Lüftungssystem	42
	<i>Autor: Engelbert Morawe</i>	
4.1.4.	Gebäudesimulation in Ratekau	46
	<i>Autor: Sören Vollert</i>	
4.1.5.	Monitoring in Ratekau	60
	<i>Autor: Sören Vollert</i>	
4.1.6.	Zusammenfassung.....	66
	<i>Autor: Jürgen Rösing</i>	
4.1.7.	Projektbeteiligte	68
4.2.	St. Marienkirche Gudow	69
4.2.1.	Ausgangssituation/Baubeschreibung/Sanierungsstand.....	69
	<i>Autoren : Liane Kreuzer, Thorsten Plath</i>	
4.2.2.	Restauratorische Untersuchungen.....	70
	<i>Autor: Heiko Brandner</i>	
4.2.3.	Werkbericht des Architekten zur Sanierungsplanung der Kirche Gudow	72
	<i>Autor: André Schuldt</i>	
4.2.4.	Infrarot-Thermografie und Luftströmungsuntersuchung.....	76
	<i>Autor: Sören Vollert</i>	
4.2.5.	Heizungs-, Temperierungs- und Lüftungssystem	78

	<i>Autor: Jens Peters</i>	
4.2.6.	Gebäudesimulation und Monitoring in Gudow.....	90
	<i>Autor: Jens Peters</i>	
4.2.7.	Zusammenfassung des derzeitigen Planungsstandes	101
	<i>Autoren: Liane Kreuzer, Thorsten Plath</i>	
4.2.8.	Projektbeteiligte	102
5.	Fazit des Forschungsprojektes.....	102
	<i>Autor: Dr. Heiko Seidel</i>	
Literatur	106
Autorenverzeichnis	110

Verzeichnis von Bildern, Zeichnungen, Grafiken

Abbildung 1: Nordkirchenkarte mit Hinweis auf Objektkirchen	10
Abbildung 2: Übergabe Förderbescheid am 14. Januar 2011	11
Abbildung 3: Anteile der Gebäudekategorien am Energieverbrauch 2005.....	11
Abbildung 4: Datenblätter St. Marienkirche Gudow	23
Abbildung 5: Aufschlüsselung der Wärmeübertragung in den Kirchen	27
Abbildung 6: Gesamtenergieverbrauch der Kirchen pro Jahr	28
Abbildung 7: CO ₂ -Emission pro Kirche und Jahr	29
Abbildung 8: Kombinationen der Wärmeübertrager in den betroffenen Kirchen	29
Abbildung 9: Feldsteinkirche Ratekau.....	33
Abbildung 10: Innenansicht Feldsteinkirche Ratekau	33
Abbildung 11: Grundriss Sanierungsplanung Kirche Ratekau.....	35
Abbildung 12: Detailplanung wandbegleitender Bodenkonvektor und Temperierungsflächen	40
Abbildung 13: Detailplanung Temperierungsfläche im Bereich der Gipsestrichflächen	40
Abbildung 14: Verlegung der hölzernen Lagerroste im Bereich der Bankpodeste	41
Abbildung 15: Fertiggestellter Innenraum (Foto Architektur + Stadtplanung).....	41
Abbildung 16: Beispiel Lufttemperatur Juli/August 2004	46
Abbildung 17: Beispiel Lufttemperatur Dezember 2004 bis Januar 2005.....	46
Abbildung 18: Häufigkeit der relativen Feuchte vom Juli 2005 bis Mai 2006	47
Abbildung 19: Verlauf der absoluten Feuchte Dezember 2004 bis Januar 2005	47
Abbildung 20: Verlauf der absoluten Feuchte Juli bis August 2004	48
Abbildung 21: Fußbodenheizung, Konvektoren sowie Zu- und Abluft.....	48
Abbildung 22: Simulationsmodell und Zonierung des Modells	49
Abbildung 23: Temperaturverlauf Winterwoche. Vergleich Holz- und Ziegelboden	50
Abbildung 24: Temperaturverlauf Kirchenraum Winter. Grundbeheizung ohne Konvektoren.....	51
Abbildung 25: Temperaturverlauf Kirchenraum Winter. Grundbeheizung mit Konvektoren.....	51
Abbildung 26: Temperaturverlauf an drei Tagen im Winter. Start Aufheizung 4 Uhr.	52
Abbildung 27: Temperaturverlauf an drei Tagen im Winter. Start Aufheizung 18 Uhr.	52
Abbildung 28: Anteile für Bereiche der Lufttemperatur für drei Varianten	53
Abbildung 29: Temperaturverteilung für den Kirchenraum und unter der Empore - Variante 3	53
Abbildung 30: Temperaturverlauf Wintermonat	54
Abbildung 31: Temperaturverteilung Chorraum und Empore	54
Abbildung 32: Monatliche Heizarbeit. Ohne Beheizung im Sommer	55
Abbildung 33: Relative Feuchte im Kirchenraum	56
Abbildung 34: Verlauf von relativer Feuchte und Temperatur für zwei Wochen im Winter	57
Abbildung 35: Verlauf von relativer Feuchte und Temperatur von Januar bis März für Variante 4 ..	57
Abbildung 36: Verlauf von relativer Feuchte und Temperatur von Juni bis August für Variante 4 ..	57
Abbildung 37: Schema Energiekonzept	60
Abbildung 38: Verteilung Datenlogger easylog	61
Abbildung 39: Verlauf Raumlufttemperatur, Datenlogger 4/Sitzbank Kirchenraum.....	61
Abbildung 40: Verlauf relative Raumluftfeuchte, Datenlogger 4/Sitzbank Kirchenraum.....	62
Abbildung 41: Verlauf der Raumlufttemperatur Ende Februar 2012, Logger 1-4.....	62
Abbildung 42: Verlauf der Raumlufttemperatur Ende Februar 2012, Logger 5-7.....	63
Abbildung 43: Verlauf der Raumlufttemperatur Ende Februar 2012, Logger 8-11.....	63
Abbildung 44: Monatliche Verbrauchsdaten Wärme 2012	64
Abbildung 45: Verbrauchsdaten Strom	64
Abbildung 46: St. Marienkirche Gudow.....	69
Abbildung 47: Infrarot Thermografie Fußboden Kirche Gudow	76
Abbildung 48: Gemessene Raumluftströmung Kirche Gudow.....	77
Abbildung 49: Zugluftrisiko Kirche Gudow	77
Abbildung 50: Energiepreisentwicklung in Deutschland monatlich	82
Abbildung 51: Energiepreisentwicklung in Deutschland jährlich.....	83
Abbildung 52: Simulation Wärmebedarf Kirche Gudow.....	84
Abbildung 53: Gesamtkostenvergleich alle Varianten	88
Abbildung 54: Verlauf Temperatur und relative Feuchte 6.9.2005 bis 6.9.2006	90
Abbildung 55: Geordneter Jahresgang Temperatur 6.9.2005 bis 6.9.2006.....	90
Abbildung 56: Geordneter Jahresgang Feuchte 6.9.2005 bis 6.9.2006	91

Abbildung 57: Geordneter Jahresgang Temperatur und Feuchte ohne Feuchteregelung	92
Abbildung 58: Monatlicher Wärmebedarf ohne Feuchteregelung	92
Abbildung 59: Simulationsergebnis mit Feuchteregelung (ein Jahr)	93
Abbildung 60: Simulationsergebnis mit Feuchteregelung (eine Woche).....	93
Abbildung 61: Simulationsergebnis mit Feuchteregelung eine Woche	94
Abbildung 62: Monatlicher Wärmebedarf mit Feuchteregelung	94
Abbildung 63: Geordneter Jahresgang Feuchte und Temperatur simuliert (mit Feuchteregelung) .	95
Abbildung 64: Verlauf Heizleistung simuliert über ein Jahr $\frac{1}{4}$ h-Werten	95
Abbildung 65: Geordneter Jahresgang Heizleistungen simuliert (mit Feuchteregelung)	96
Abbildung 66: Geordneter Jahresgang Vorlauftemperatur simuliert (mit Feuchteregelung).....	97
Abbildung 67: Messung Luftgeschwindigkeit.....	99
Abbildung 68: Berechneter PPD und PMV Index	100

Verzeichnis von Tabellen

Tabelle 1: Häufigkeit Heizungsart	27
Tabelle 2: Leistungsdaten der Wärmepumpe	45
Tabelle 3: Zonierung des Gebäudemodells	49
Tabelle 4: Zonierung des Gebäudemodells	49
Tabelle 5: Annahmen zu maximalen Leistungen in der Simulation (in Absprache mit IbEM)	50
Tabelle 6: Annahmen zur Belegung und Infiltration der simulierten Varianten.....	55
Tabelle 7: Bewertungsmatrix Heizsystem	80
Tabelle 8: Ergebnisse der Heizlastberechnung	83
Tabelle 9: Kostenaufstellung und -vergleich für Investition, Verbrauch und Wartung der einzelnen Wärmeerzeugervarianten	87
Tabelle 10: Kostenaufstellung für Investitionen der einzelnen Wärmeübergabevarianten	88
Tabelle 11: Skala zur Beurteilung der Ergebnisse für den PMV-Index	98
Tabelle 12: gemessene Luftgeschwindigkeiten	99
Tabelle 13: Festlegung der Eingangsgrößen für die Behaglichkeitsberechnung	99

Verzeichnis von Begriffen, Abkürzungen und Definitionen

a	Jahr, Zeiteinheit
Abb.	Abbildung
B.Eng.	Bachelor of Engineering
Bd.	Band
DBU	Deutsche Bundesstiftung Umwelt
DIN	hier Norm des Deutschen Institut für Normung
°C	Grad Celsius, Temperatureinheit
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
CU Rohr	Kupferrohr
Dipl.-Ing.	Diplomingenieur
Dr.	Akademischer Grad Doktor
ENGEMA	Ingenieurbüro für Energie- und Gebäudetechnik
EKD	Evangelische Kirche in Deutschland
€	Euro, Währungseinheit
ev.-luth.	evangelisch-lutherisch
GRD	Geothermal Radial Drilling
GVOBl	Gesetz-und Verordnungsblatt
h	Stunde, Zeiteinheit
Hg.	Herausgeber
IbEM	Ingenieurbüro Dipl.-Ing. Engelbert Morawe
Ing.	Ingenieur
K	Kelvin, Temperaturdifferenzeinheit
KAplus	KAplus, Ing.-Büro Vollert
KG 300	Kostengruppe für bauliche Anlagen
KG 400	Kostengruppe für haustechnische Installationen
KGR	Kirchengemeinderat
KHeizRL	Kirchenheizungsbaurichtlinie
kW	Kilowatt, Einheit der Wärmeleistung
kWh	Kilowattstunde, Einheit der Energie
LED	Licht-emittierende Diode
LD	Landesdenkmalamt
MWh	Megawattstunde, Einheit der Energie
NEK	Nordelbische Evangelisch-Lutherische Kirche
Nordelbien	Region zwischen Elbe und deutsch-dänischer Grenze in den Ländern Schleswig-Holstein und Hamburg
PMV	predicted mean vote
PPD	predicted percentage of dissatisfied
%	Prozent
rF	relative Luftfeuchte
RLT	Raumluftechnik
Sole	Wasser/Frostschutzgemisch, das die Wärme vom Erdboden aufnimmt
t	Tonne, Masseinheit
VDI	hier Richtlinie des Vereins Deutscher Ingenieure
TGA	Technische Gebäudeausrüstung
vgl.	vergleiche
VE	Varianten der Wärmeerzeugung
VT	Vorlauftemperatur
VÜ	Varianten der Wärmeübergabe
WRG	Wärmerückgewinnung

1. Einführung

1.1. Zielstellung und Gegenstand des Forschungsprojektes

Autor: Dr. Heiko Seidel

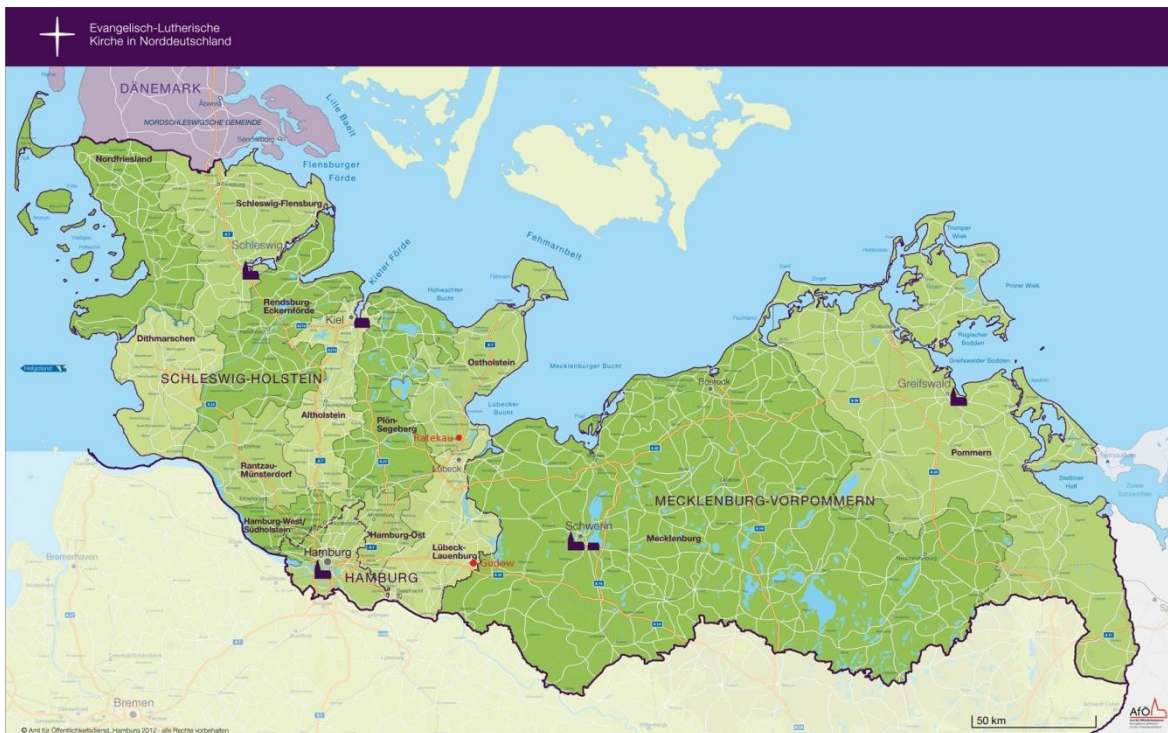


Abbildung 1: Nordkirchenkarte mit Hinweis auf Objektkirchen

Bis Pfingsten 2012 erstreckte sich die damalige Nordelbische Kirche, als Evangelisch-Lutherische Landeskirche, über die Bundesländer Schleswig-Holstein und Hamburg. Sie hatte ca. 2,1 Millionen Mitglieder, 11 Kirchenkreise und 595 Kirchengemeinden mit ungefähr 800 Kirchengebäuden, die mit Heizungsanlagen unterschiedlicher Bauart und unterschiedlichen Alters ausgestattet sind.

Pfingsten 2012 gründete sich die Evangelisch-Lutherische Kirche in Norddeutschland, die flächenmäßig neben den beiden genannten Bundesländern im Wesentlichen noch das Land Mecklenburg-Vorpommern umfasst. Sie hat jetzt ca. 2,4 Millionen Mitglieder und insgesamt 13 Kirchenkreise. Somit hat sich durch diese Fusion die Zahl der Predigtstätten mehr als verdoppelt – die Zahl der Kirchenmitglieder hat demgegenüber nur um knapp 15 % zugenommen. Zusätzlich zu Kirchen mit Heizungsanlagen gibt es nun auch Predigtstätten die gänzlich unbeheizt bleiben, weil ihnen eine entsprechende technische Gebäudeausrüstung fehlt.

Im Dezember 2010 waren es unterschiedliche Interessen, die dazu führten, einen Projektantrag zur finanziellen Förderung bei der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) zu stellen. Diese lassen sich im Projekttitle erkennen, der heißt: „Antrag zur Förderung aus Mitteln der Deutschen Bundesstiftung Umwelt zur modellhaften Entwicklung von haustechnischer Ausrüstung zur Temperierung denkmalgeschützter Steinkirchen mit dem Ziel der CO₂-Minderung, Absenkung der Betriebskosten sowie Vermeidung von Kondensat.“ Der Untertitel lautet: "Grundlagenermittlung im Bereich der Nordelbischen Kirche und beispielhafte Übertragung auf zwei Kooperationsobjekte: Feldsteinkirche in Ratekau - St. Marien Kirche in Gudow" [NKA10].

Dieser Antrag wurde vom damaligen Nordelbischen Kirchenamt gemeinsam mit den Kirchenkreisen Lübeck-Lauenburg und Ostholstein gestellt.



Abbildung 2: Übergabe Förderbescheid am 14. Januar 2011

Von links nach rechts: Verwaltungsleiter Werner Koglin (Ostholstein) Propst Matthias Wiechmann (Ostholstein), Pastorin Wiebke Böckers (KG Gudow), Verwaltungsleiterin Christine Buller-Reinartz (Lübeck-Lauenburg), Pastorin Anke Dittman (KG Ratekau), Dr. Wulf Grimm (DBU)

Jede Kirchengemeinde und jeder Kirchenkreis ist eine eigenständige Körperschaft des öffentlichen Rechts. Somit war die Kooperation von zwei Kirchengemeinden, zwei Kirchenkreisen und dem Kirchenamt in diesem Projekt allein durch das Freiwilligkeitsprinzip begründet.

Hinsichtlich des Erfordernisses zur gesellschaftlich notwendigen CO₂-Minderung, zu dem sich auch die Nordkirche bekennt, kann inzwischen auf das Integrierte Klimaschutzkonzept für die Evangelisch-Lutherische Kirche in Norddeutschland „Die Kirche auf dem Weg zur CO₂-Neutralität“ verwiesen werden, das von der Universität Flensburg im August 2012 vorgelegt wurde [ZNES12]. Nicht erst seit diesem Zeitpunkt ist bekannt, dass die Kirchengebäude im Verhältnis zum sonstigen kirchlichen Gebäudebestand hinsichtlich des Potentials zur Energie- und CO₂-Reduzierung nur eine nachgeordnete Rolle spielen. Der Wärmeenergiebedarf der Kirchen betrug nach der Studie der Uni Flensburg, bezogen auf alle kirchlichen Gebäude im Jahr 2005 nur 20% [ZNES12, 84]. Eine andere Schätzung zum Zeitpunkt des Projektantrags ging von 13% aus [NKA10, 3].

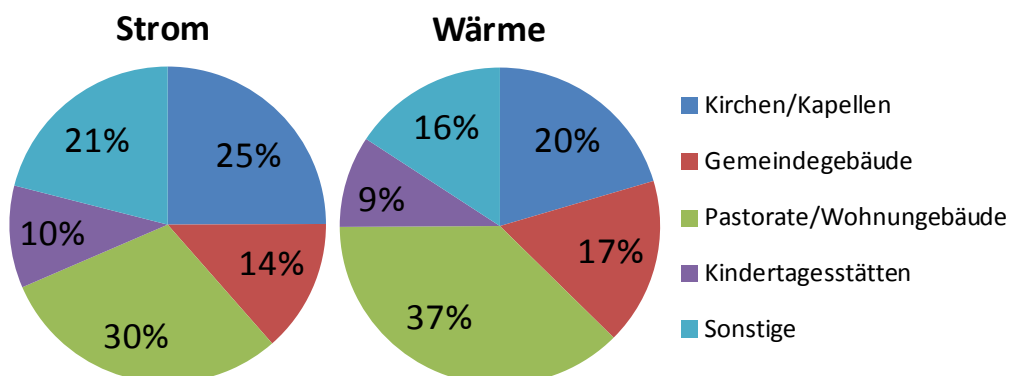


Abbildung 3: Anteile der Gebäudekategorien am Energieverbrauch 2005

Wesentlicher Anlass für die Idee der Projektpartner waren konservatorische und Bauunterhaltsanforderungen für Kirchenräume und die Einsparung von Betriebskosten. Um die über-

höhten Luftfeuchtwerte, insbesondere in den Übergangszeiten vor und nach einer Heizperiode, zu vermeiden, war eine Abkehr von der saisonalen Beheizung der Kirchenräume ausschließlich im Winter mit den herkömmlichen Heizintervallen initiierte Projektidee: Nach der Nordelbischen Kirchenheizungsrichtlinie von 1979 ist eine Grundtemperierung von 5 Grad Celsius (°C) im Kirchenraum und eine Nutzungstemperatur von 16 °C vorgesehen [KHeizRL79]. Um die überhöhten Luftfeuchtwerte zu vermeiden, war eine ganzjährig durchgängige Temperierung zur Gewährleistung möglichst ausgeglichener Luftfeuchtigkeit Projektziel. Als Temperaturniveau wurde der Bereich zwischen 8 °C und 12 °C unter Abwägung von ökonomischen und funktionalen Annahmen festgelegt, um dieses im Rahmen des Projekts zu überprüfen.

Die Planungen und Ausführungen in den Projektkirchen in Ratekau und Gudow sind deshalb durchgängig und gleichbleibend auf eine Temperatur zwischen 8 °C und 12 °C ausgelegt. Darüber hinaus ist nicht die Temperatur die entscheidende Regelgröße. Vorrang wird einer gleichbleibenden Luftfeuchtigkeit eingeräumt. In diesem Zusammenhang bot sich die Chance, dass in der Kirchenheizungsrichtlinie 1979 festgelegte Feuchtigkeitsfenster zwischen 60 und 70 % relativer Luftfeuchtigkeit hinsichtlich der Eignung zu überprüfen.

Wesentlicher Teil der Projektidee war neben der konkreten Planung der zwei Modellkirchen eine empirische Untersuchung des gesamten Bestands aller Kirchen im Bereich der Kirchenkreise Lübeck-Lauenburg und Ostholstein. Dieser Kirchenbestand stellt mit seiner teils städtischen und teils dörflichen Siedlungsstruktur ein repräsentatives Abbild der Nordelbischen Kirche dar [Kör77, HztmLbg84, Ditt93]. Es wurden für den Betrachtungsraum bauliche Unterlagen der Kirchengemeinden systematisch gesichtet. Für die Kirchengebäude wurden Tabellen erstellt mit Angaben zu Größe, Baualter, Bauart, Nutzung, Heizungssystem, Verbrauch an Heizungswärme und deren Energieträger, Stromverbrauch und Stromkosten. Hierdurch sollten energetische und sanierungsmäßige Prioritäten erkannt werden und damit ein systematisches Energiecontrolling – also eine Energieverbrauchsdatenerfassung – in die Wege geleitet werden. Darüber hinaus sollte anhand von signifikanten Auffälligkeiten untersucht werden, ob es einen Zusammenhang von technischem Gebäudeheizungssystem und Gebäude- bzw. Ausstattungsschaden gibt.

So setzt sich das Projekt aus drei wesentlichen Teilen zusammen: dem Modellbauvorhaben der Kirche Ratekau in Ausführung und nachfolgendem Monitoring, der empirischen Untersuchung des Gebäudebestands sämtlicher Kirchen der beteiligten Kirchenkreise und der Planung und Simulation des Modellbauvorhabens der Kirche Gudow.

Für die Modellbauvorhaben wurden Planungsaufträge an fachlich geeignete und an Forschung interessierte Planungsbüros vergeben. Im Rahmen der zweijährigen Bearbeitung des DBU-Projekts wurden Arbeitsergebnisse in regelmäßigen Gesprächen einzelner Fachplanungsguppen (Planungsgruppe Ratekau, Planungsgruppe Gudow, Planungsgruppe Bestandsaufnahme) zwischen externen Planern und den kirchlichen Beteiligten erörtert und in vier Zusammenkünften, sogenannten Plenumssitzungen, allen Projektbeteiligten vor- und zur Diskussion gestellt [vgl. Anhang Rahmenterminplan]. Die erste öffentliche Präsentation der Ergebnisse erfolgte auf dem Abschlusskolloquium am 22.02.2013 im Lübecker Dom [vgl. Anhang Teilnehmerliste und Programm].

Mit dem hier vorgelegten Abschlussbericht wird der erreichte Arbeitsstand dokumentiert. Zum 30.04.2013 endet die Projektlaufzeit.

1.2. Grundsätzliche Ausführungen zu Kirchengebäuden im Untersuchungsgebiet

Autor: Dr. Heiko Seidel

Die Kirchenkreise Lübeck-Lauenburg und Ostholstein sind in ihrem Kirchenbestand für die ehemalige Nordelbische Kirche als repräsentativer Ausschnitt zu begreifen. Hier finden sich aus Feldstein und Gipsmörtel errichtete Sakralgebäude, die in ihren Ursprüngen auf die Missionszeit im frühen 12. Jahrhundert zurückgehen, neben Backsteinkirchen, die untrennbar mit der Stadtentwicklung ab der Mitte des 13. Jahrhunderts verbunden sind. Der neue Kunststein, der das Baugeschehen in unserer natursteinarmen Kulturlandschaft in der sogenannten Backsteingotik und deren Nachfolge über Jahrhunderte prägte, wurde über seine Verwendung über den Sakralbau stilbildend [Rau78, JoWi00].

Über mehrere Jahrhunderte verlief die Zahl an Kirchenneubauten linear steigend, bis sie im 20. Jahrhundert von einer exponentiellen Entwicklung abgelöst wurde, die insbesondere durch viele Neubauten nach dem 2. Weltkrieg zu einer Verdoppelung der Predigtstätten führte. Dies ist unter anderem durch die Zuwanderung von Kriegsflüchtlingen begründet, da Schleswig-Holstein die verhältnismäßig größte Zuwanderung in der Bundesrepublik Deutschland nach dem 2. Weltkrieg erlebte [Lud11, 25f]. Mit dieser Vermehrung des Baubestands ging eine Veränderung der Bautechnik einher. Der bis dahin prägende Ziegelbau wurde durch Beton- oder Betonmischkonstruktionen abgelöst [Rau00].

Diese für die Nordelbische Kirche typische Mischung der Sakralgebäude unterscheidet sich in der heutigen größeren Landeskirche wegen der unterschiedlichen deutschen Geschichte signifikant von dem Bestand der Sakralgebäude in den Kirchenkreisen Mecklenburg und Pommern. Hier ist es in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts fast nicht zu Neubauten gekommen. Außerdem ist eine technische Gebäudeausrüstung zur zentralen Beheizung von Kirchenräumen im Bereich der ehemaligen Nordelbischen Kirche der Regelfall, was für die Kirchenkreise Mecklenburg und Pommern keineswegs gilt.

Das Kirchengebäude ist der gestaltete und dem Gottesdienst gewidmete Raum. In ihm wird durch Lesung, Predigt, Gebet, Musik und bildende Kunst das Wort Gottes verkündigt und die Sakramente gefeiert - nach protestantischem Verständnis Taufe und Abendmahl. Nach älterem Kirchenrecht wurden Kirchengebäude, Altar, Kelch, Patene, Messgewand, Tabernakel, Monstranz, Heiligenbilder, Glocken und Friedhöfe zu *res sacrae* („heiligen Sachen“) durch Weihung (*consecratio* oder *benedictio constitutiva*). Mit dem Begriff der heiligen Sachen verbinden sich öffentlich-rechtliche Konsequenzen, die eine Erklärung für die staatliche Zurückhaltung in religiösen Angelegenheiten ist, wie z. B. bei dem sogenannten ‚Kirchenasyl‘. Wie die öffentlich-rechtliche Stellung der Kirchen insgesamt ist das Institut der *res sacrae* in der Verfassung gegründet. Über Artikel 140 Grundgesetz wurden Artikel 136, 137, 138, 139 und 141 der Weimarer Reichsverfassung Bestandteil des Grundgesetzes. Damit bildet jetzt Artikel 140 Grundgesetz in Verbindung mit Artikel 137 Absatz 5 der Weimarer Reichsverfassung die verfassungsrechtliche Grundlage. Da die Verfassungsbestimmung jedoch keine direkten Aussagen zu den heiligen Sachen trifft, beruht die nähere Ausgestaltung des Instituts heute auf staatlichem Gewohnheitsrecht [List99, 3ff].

Diese privilegierte Stellung der Kirche findet ihren Ausdruck in den Staatskirchenverträgen mit den einzelnen Bundesländern und ist wesentlicher Grund für eine eigene kirchliche Denkmalpflege mit einer weitgehenden, staatlich zugestandenen Entscheidungsbefugnis [LfD98]. Sie ist auch der Grund für ein eigenes innerkirchliches Baurecht [Leit12].

1.3. Denkmalpflegerische Aspekte bei der Temperierung von Kirchen

Autor: Dr. Dirk Jonkanski

Kirchen sind keine Museen. Sie sind Versammlungsort für Menschen. Solche Argumente werden angeführt, wenn Denkmalpfleger das falsche Beheizen von Kirchen beklagen. Früher rückte man, warm angezogen im engen Kastengestühl (siehe Anhang Abb. 1) zusammen, wärmte sich allenfalls an einem mit Holzkohle beheizten Stövchen, dann kamen die Eisenöfen, später die Sammelheizungen. Auf „salpetrigen“ Wänden zerbröselten die Wandmalereien, die Kirchen verstaubten und verschmutzten nun wesentlich stärker, dass sich die Intervalle zwischen den erforderlichen Renovierungen auf 10 bis 15 Jahre verkürzten, auch litten jetzt hölzerne Ausstattungsstücke und die Orgeln. (Abb. 2) Das Holz trocknete, und Fassungen begannen zu blättern. Meist gilt die Sorge weniger den Schäden an Raumfassungen, Altären, Kanzeln und Emporen, die nach 1945 oft schon zum zweiten Mal grundlegend restauriert wurden, sondern dem Gequietsche der Orgeln und dem Umstand, dass Orgelbauer zur Absicherung ihrer Garantieerklärung zumeist eine relative Feuchte von etwa 60% im Kirchenraum verlangen. Kirchengebäude stellen also aus bauklimatischer Sicht eine hohe Herausforderung dar, wenn man sie im Sinne der Denkmalpflege beheizen oder besser temperieren will, was eine konstante Erwärmung des Kirchenraums und seiner Raumluft auf wenige Grad Celsius bedeutet.

Erst seit den 1970er-Jahren wurden das Gefährdungspotential erkannt und Richtlinien für die Bedienung von Kirchenheizungen durch die Nordelbische Kirche erlassen [GVOBI 24, 1979]. Das geregelte Lüften der Räume wurde andererseits vernachlässigt. Es wurde das Sinken der relativen Luftfeuchtigkeit auf unter 50 Prozent befürchtet, nicht ein zu hoher Wert bis hin zum Kondensatausfall, was wiederholt zur Schimmelbildung auf Staubablagerungen in Orgeln oder auf Ausstattungsstücken geführt hat. Die Versiegelung der Böden durch Beton und der Anstrich der Wände mit absperrenden Farben und durch Vormauerungen im Sockelbereich trugen das Ihre bei wie auch der Umstand, dass „Holzdecken über Kirchenräumen ... vollflächig mit Wärmedämmatten abgedeckt werden“ sollen.

Kirchenheizungen sollen wirtschaftlich betrieben werden. Im größeren kirchlichen Rahmen wird auf die Verringerung des CO₂-Ausstoßes verwiesen, wenn über regenerative Energien und technische Möglichkeiten zur Energieeinsparung nachgedacht wird. Auch im DBU-Projekt zur „modellhaften Entwicklung von haustechnischer Ausrüstung zur Temperierung denkmalgeschützter Steinkirchen“ wird als Ziel genannt: „CO₂-Minderung, Absenkung der Betriebskosten sowie Vermeidung von Kondensat und Bauschäden“. Der Verweis auf den Denkmalschutz besagt, dass hier wertvolle Kulturdenkmale ausgerüstet werden sollen. Fragen der Denkmalpflege, des pfleglichen Umgangs mit den Gebäuden und ihrer Ausstattung steht nicht im Fokus. Da die Fragen zur Ausmalung und Kunstausrüstung auch aus dem Blickwinkel der Restauratoren beantwortet werden, die besondere Behandlung der Orgeln auch gestreift wird, bleibt dem staatlichen Denkmalpfleger der mahnende Hinweis auf die Problembereiche „Eingriff in die Bausubstanz“ und „Veränderung des Erscheinungsbildes“. Heizkörper sollen nicht ins Auge fallen, sie sollen ihren Dienst still verrichten und weder den Bau noch die Ausstattung durch Wärme beeinträchtigen (Abb. 9). Das könnte mit Fußboden- und Bauteilheizungen erreicht werden, doch diese Art der Heizung führt zum Eingriff in Wände und Böden, um die Wasser führenden Heizleitungen oder die elektrischen Heizdrähte zu verlegen. Zwar führt die erhöhte Oberflächentemperatur an Wand- und Bodenflächen zu einer angenehmen Temperierung, aber sie zerstört denkmalgeschützte Substanz, auch wenn uns diese weniger wertvoll erscheint, weil sie schon mal ausgetauscht worden ist. Im Auf- und Abheizen ist sie zudem sehr träge und damit schwer regelbar, weshalb sie oft nur zur Grundtemperierung herangezogen wird. Da ein Kirchengebäude als Ganzes geschützt ist, können auch jüngere Veränderungen wie ein neuer Fußboden oder eine neue Balkendecke nicht ohne weiteres für den Einbau einer Heizung herhalten. Ein materialgerechter Rückbau und die Wiederherstellung

einer historischen Ansichtigkeit sollten das Ziel sein und zunächst geprüft werden. Dabei knüpft sich der Denkmalwert nicht vorrangig an einen mittelalterlichen Urzustand, sondern an die letzte baukünstlerische Überformung. Diese kann nach der Reformation, dem Historismus oder den 1950er-Jahren stattgefunden haben.

(Abb. 10 + 11) Die Ein- oder Überplanung einer Heizungsanlage beginnt selten mit einer denkmalpflegerischen Zielplanung, sondern mit der Erstellung der Wärmebedarfsberechnung und Heizflächenauslegung. Auf archäologische Grabungen wird meist verzichtet, weil die Kirchenböden schon in den 1960er- und 1970er-Jahren erneuert worden sind sowie zeitliche Verzögerungen und Kosten befürchtet werden. Dennoch ergeben sich immense Erkenntnisse, die dokumentiert und erhalten werden müssen, weil erst sie die Geschichte des Baus und seiner Ausstattung erklären. Ein Punktfundament kann die ursprüngliche Aufstellung einer Taufe anzeigen, oder Suchschnitte bringen längst vergessene Grablegungen zutage. Ältere Bodenniveaus und die Beschaffenheit ihrer Beläge lassen sich dokumentieren. Wird ein in jüngerer Zeit eingebrachter Boden wieder ausgetauscht, lässt sich dieser Bereich zwar für die Installation von Heizschleifen für eine Fußbodenheizung nutzen, aber wäre es dem Denkmal nicht angemessener, man würde den Einbau eines Bodens nach archäologischem Befund als Estrich oder mit Ziegeln oder Natursteinen belegt, reparieren? Die Schichtung des Aufbaus könnte nach bauphysikalischen Gesichtspunkten erfolgen, aber unter dem Nachhaltigkeitsaspekt. Dabei kann die zum Raum gehörige Einbautiefe berücksichtigt werden, besonders, wenn hier auf die technische Installationen einer Heizung verzichtet werden kann, da diese in der Regel einen höheren Bodenaufbau zur Folge hat. Der Denkmalpfleger wünscht sich die notwendige Technikanlage in einer anderen, nicht in die Substanz integrierten Ebene, weil sie doch nach Jahren auszutauschen ist, so gut sie auch ausgeführt und geplant sein mag. Das betrifft somit auch Bauteilheizungen, die im Sockelbereich von Wänden vielleicht nur jüngeren Putz ersetzen, aber einer Wiederherstellung der Wandschale in überlieferter Bautechnik mit altem Material entgegenstehen. Auch hier sollte notwendige Technik „reversibel“ vor der Wand und über dem Boden liegen. Beobachtung von Schäden, etwa durch Wasseraustritt, Reparatur und Austauschbarkeit der technischen Ausrüstung ist der eine Beweggrund, geringere Investitionskosten ein weiterer. Da große Flächen gesucht sind, um die Vorlauftemperaturen gering zu halten, ist die Frage, wohin mit den Rohren und Wärmetauschern, doch sehr mit dem nach dem Aussehen der Kirchen verbunden.

Heizungen funktionieren doch gut in Wohnungen und Büros. Was ist besonders an Kirchen? Die riesigen Räume werden nur zeitweise genutzt. Zum anderen ist es ihr Alter, denn ein Großteil stammt noch aus der Zeit der Landnahme und Missionierung, als beheizbare Räume noch Ausnahmen waren. Kirchen sind ungedämmte Massivbauten. Hinzu kommen ihre baukünstlerische Gestaltung und Ausschmückung mit Malereien, hölzernen Einbauten und Inventar, was die Kirche zum bedeutendsten Kunstbesitzer im Land macht. Vor allem ist es der Umstand, dass sie seit ihrer Erbauung bis zum heutigen Tag als Kirchen genutzt worden sind, zwar nicht mehr an jedem Tag, dennoch in gesteigerter Behaglichkeitsanforderung. Das macht ihre Temperierung so kompliziert. (Abb. 12 +13)

Im Laufe der Jahrhunderte ist das Bauschema unserer Kirchen nur langsam verändert worden. Betrachten wir die mittelalterlichen Dorfkirchen, von denen zwei im Mittelpunkt des DBU-Projekts stehen, so ist festzustellen, dass sie seit den Anfängen durch einen einfachen Grundriss festgelegt sind. Dem rechteckigen Schiff unter hölzerner Flachdecke schloss sich im Osten ein eingezogener, meist quadratischer Kastenchor an, beide unter steilen Satteldächern. Am Chor konnte in romanischer Zeit eine halbrunde gewölbte Apsis vorgelegt sein. Türme fehlten zumeist, abgesehen von den ostholsteinischen Kirchen der Frühzeit wie in Ratekau, die sich durch ihre Rundform auszeichneten. Der Zugang in die Kirche erfolgte durch die an Nord- und Südseite angeordneten Portale, ohne jeglichen Windfang. Im Inneren trennte ein breiter Chorbogen die Raumteile Chor und Schiff. Anfangs nur kleine Fenster ließen das Licht und die Zugluft herein. So sind auch die Kirchen in Ratekau und Gudow charakterisiert.

Sie unterscheiden sich von den gleichzeitigen Stadtkirchen, für welche die aufwändigeren Raumformen von Basilika oder Halle bevorzugt wurden. In engem Zusammenhang mit der Bauform stand die Ausstattung des Inneren. Hierzu gehörten zunächst einmal farbige Verglasung und Ausmalung, in frühester Zeit beschränkt auf den Chor als vom übrigen Raum streng getrennten Teil, seit dem späten 13. Jahrhundert für das gesamte Innere üblich. Wand- und Gewölbemalereien dienten neben ihrer Aufgabe illustrativer Darstellung christlicher Themen auch der dekorativen Belebung des architektonischen Gerüsts. Kastengestühl im Kirchenschiff wurde mit der Reformation eingeführt. Es hielt die von Kirchenbesuchern und Stövchen erzeugte Wärme und bot Behaglichkeit statt Zugluft. Hypokaustenheizungen und Wandkamine blieben vereinzelte Ausnahmen.

Die Kirchen und ihre Ausstattung sollen nicht kaputt geheizt werden, was durch übermäßiges Heizen, durch zu schnelles Erwärmen und Erkalten des Raums geschieht. Aus der Sicht des Konservators wird eine Temperierung des Raums gefordert, die Kirchenraum und Ausstattung ins Gleichgewicht bringt. Doch wann ist ein Raum ausgeglichen temperiert? Je nach Volumen und Bauart kann so ein Gleichgewicht bei 10, 12 oder 14 Grad Celsius erreicht werden. Als Konstante hat jedoch die ausgeglichene relative Luftfeuchte zu gelten. Nur daraufhin müssen Größe und Art der Heizungsanlage berechnet sein. Aber es kommt auf ihren richtigen Betrieb an, auch, dass die Vorgaben zur Temperierung nicht durch das Verstellen von Thermostaten, eine Erhöhung der Vorlauftemperatur oder ein Umstellen auf Temperatursteuerung aushebelt werden können. (Abb. 14) In vielen Beispielen wird die erwärmte Luft über Luftschächte und Ausströmgitter, die auch als Fußabtreter erhalten, in den Kirchenraum eingeblasen, wobei Filter die Staubaufwirbelung mindern sollen. Diese Art Heizung bedarf der stetigen Wartung und einer aufwändigen Regelungstechnik, damit die Temperaturunterschiede in der Luftschichtung minimiert werden. Eingriffe in die Böden und ein hoher Verschmutzungsgrad, wenn die Filter nicht regelmäßig gewechselt werden, führen nach wie vor auch zum Einbau konventioneller Heizungen mit Heizkörpern unter den Bänken, die elektrisch oder mit Warmwasser, nicht mehr mit Dampf betrieben sind. Als Vorteil gilt die Abstrahlung der Wärme unmittelbar im Aufenthaltsbereich der Kirchenbesucher. Diesen Vorteil haben auch beheizbare Sitzauflagen auf den Kirchenbänken. Die beispielhaft vorgestellten Kirchen in Ratekau und Gudow erhalten jeweils Kombinationen mehrerer Heizungssysteme. Blicken wir auf die Wärmeerzeugung, sehen wir ein Fortschreiten hin zu Wärmesonden und zur Solarthermie, was zur Beeinträchtigung des Baudenkmals auch im Äußeren führen kann.

Sollte nicht gänzlich auf die Beheizung von Kirchen verzichtet werden, fragt sich der Denkmalpfleger angesichts fortschreitender und irreversibler Zerstörung der Kunst- und Kulturdenkmale? Nein, denn Heizungen können auch einen Teil zur Stabilisierung des Raumklimas beitragen, z. B. durch Erwärmung und Trocknung der Raumluft an feuchten Sommertagen. Aber, das herkömmliche Heizen sollte durch gleich bleibendes Temperieren ersetzt werden. Die Heizkörper und Wärmetauscher sollen möglichst wartungsarm und reversibel und daher nicht in Wände, Böden und Decken integriert sein. Wie die Kirchen benutzerfreundlich und kostengünstig beheizt werden, darüber hinaus auch denkmalverträglich, das soll in diesem Forschungsvorhaben geklärt werden.

Die Abbildungen zum Text sind im Anhang zu finden.

1.4. Bauklimatische Grundlagen in Kirchengebäuden

Autor: Dirk Behrens

Das Landeskirchenamt der Nordelbischen Kirche entwickelte 1973 erste Hinweise für den Betrieb der Heizung. Grenzwerte werden vorgegeben für die Raumlufttemperatur in der nut-

zungsfreien Zeit von +5 °C und bei Gottesdienst von höchstens +15 °C und eine relative Raumluftfeuchte von 60–70 % empfohlen. Darauf aufbauend wurden 1979 die Richtlinien für die Bedienung von Kirchenheizungen entwickelt. Schäden durch übermäßiges Aufheizen und zu starker Schwitzwasserbildung werden angezeigt. Die Temperatur während des Gottesdienstes wird auf +16 °C erhöht, die Grundtemperatur erhält eine Spanne von +5 °C bis +8 °C und die Aufheizgeschwindigkeit wird auf 1,5 °C begrenzt [KHeizRL79].

Nach Pfeil [Pfe75] handelt es sich bei Kirchen alter Bauart ausschließlich „um Gebäude mit ungedämmten, homogenen Wänden, Säulen und Decken bzw. Gewölben aus Naturstein oder Mauerziegel“. Vier Komponenten wirken direkt auf das Kirchenraumklima ein: „relative Raumluftfeuchte, Raumluftgeschwindigkeit, Raumumschließungsflächentemperatur und Raumlufttemperatur“. Diese Komponenten werden entscheidend von der Bauwerksfeuchte und der Fugendurchlässigkeit beeinflusst, wogegen Personen und Heizung eine untergeordnete Rolle spielen. Mit Winterbekleidung stellt sich eine Behaglichkeit bei 12–16 °C ein, wenn die zulässige Luftgeschwindigkeit bei 0,15–0,35 m/s liegt. Die relative Raumluftfeuchte ist für Kirchengäste von untergeordneter Bedeutung, für die Kunstausrüstung aus Holz aber umso bedeutender. Um Formänderungen oder Rissbildungen zu vermeiden, dürfen sich Schwankungen nur in engen Grenzen und einem langen Zeitraum bewegen. Als geeignetes Heizsystem empfiehlt Pfeil eine Fußboden-Warmflurheizung, da dieses System die natürliche Bauwerksfeuchte zur Regulierung des Feuchtehaushaltes nutzen kann. Eine Warmflurheizung darf nur eingesetzt werden, wenn Temperaturänderungsgeschwindigkeit, vertikale Temperaturdifferenz, Zulufttemperatur und relative Raumluftfeuchte geregelt werden. Jüngste Erfahrungen haben gezeigt, dass ohne den vermehrten Einsatz von hygienischen Maßnahmen und erhöhten Verstaubungen mit einem einhergehenden mikrobiellen Befall zu rechnen ist.

„Energie ist knapp und teuer geworden“ so beginnt man sich 1979 in einer Broschüre dem Thema Energiesparen in Kirchen zu nähern. Nach dem errechneten Wärmebedarf wird die Leistung einer Kirchenheizung bestimmt. Neuere Erkenntnisse beschreiben eine mögliche Energieverbrauchsreduzierung von 7–10 %, wenn Decken von historischen Kirchen gedämmt sind [HeHa07]. Eine Staubadhäsion, die an kalten und feuchten Flächen auftritt, soll nicht zu erkennen sein. Eine mögliche Doppelverglasung wird mit einem verringerten Wärmeverlust von 35 % angesetzt. Es wird dabei von einer geregelten Befeuchtung der Kirche ausgegangen, da die relative Raumfeuchtigkeit sonst unter 50 % sinken würde. Die Abdichtung von Türen oder der Einbau von abgewinkelten oder ausreichend dimensionierten Windfängen wird angeregt. Einer speziellen Kirchenheizungsregelung wird viel Wert beigemessen. Der Wärmebedarf wird bei reduzierter Raumlufttemperatur von beispielsweise 15 auf 12 °C um 25 % reduziert werden können. Die Raumlufttemperatur sollte auf 16 °C angehoben werden, wenn es draußen nicht mehr so kalt ist und die Außentemperatur 13–15 °C beträgt [Gos79]. Im Forschungsbericht des Fraunhofer Instituts wird 1991 zusammengefasst gefolgert, dass „Feuchteschwankungen von 10 % innerhalb eines Tages und 30 % innerhalb eines Jahres zwischen 50 und 80 % unkritisch sind“ [KüHo91].

Forschungsergebnisse des Fraunhofer Instituts aus dem Jahr 2005 zu Klimaanforderungen für Kunstwerke und Ausstattung in Museen stellen die Komfortbereiche für den Menschen und Kunstwerke gegenüber. Temperaturänderungen werden weniger kritisch bewertet als Änderungen der Raumfeuchte. Als untere Temperaturgrenze wird 4 °C empfohlen. Die relative Raumfeuchte ist Regelgröße und steht in Abhängigkeit zu den Materialien und der Herstellungstechnik der Kunstwerke. Nach oben bestimmt das mikrobiologische Wachstum die Grenze: während der Heizperiode sollten Werte von 50 % und im Sommer Werte von 65 % relativer Feuchte nicht überschritten werden. Zusätzlich können oberhalb dieser Grenzwerte einige Materialien ihre Eigenschaften nachteilig ändern. Relative Feuchtwerte unter 40 % werden als kritisch bewertet, wobei weniger die Werte als die Häufigkeit der Schwankungen ausschlaggebend ist. Als Zielbereich wird zum Beispiel bei 12 °C Raumtemperatur für Holz und Leinwand 50–60 % relative Feuchte genannt. Sind bauliche Salze vorhanden, muss die-

ser Wert sogar noch nach oben korrigiert werden. Ein stabiles Klima wird gefordert und kann durch feuchtegesteuertes Heizen und geregeltes Lüften oder durch Einbau von feuchtepuffernden Materialien erreicht werden [KiSeKr05].

Als Kompromiss der Anforderungen von Personen, der Denkmalpflege und zum Schutz der Orgel werden im Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik Raumlufttemperaturen während der benutzungsfreien Zeit von etwa 8 °C und während des Gottesdienste von etwa 12–15 °C genannt, wobei die relative Feuchte den Bereich von 45–75 % dauerhaft nicht verlassen sollte. Unproblematisch werden Tagesschwankungen von 10 % und im Jahresverlauf von 30 % zwischen 50 und 80 % festgelegt. Die Aufheizgeschwindigkeit soll 1,0 bis 1,5 K/h betragen. Grundsätzlich wird die Beheizung von Kirchen als hilfreich für den Erhalt der Bausubstanz und der Ausstattung angesehen [Sch13]. Sinkt die relative Raumluftfeuchte unter 45 %, ist die Innentemperatur um 2–3 °C abzusenken. Die Empfehlungen im Kirchlichen Bauhandbuch erweitern den Anforderungskatalog um eine weitere Festschreibung. Es wird festgelegt, dass die Temperaturschichtung nicht mehr als 2 °C auseinander liegen darf [KB94-96-01-06]. Diese Anforderungen bilden den Stand der Technik ab, wobei die Anforderungen an eine Kirchenheizung für Gottesdienstgäste und zum Schutz der Ausstattung und der Orgel nicht identisch sind und immer ein Kompromiss gefunden werden muss.

Das Projekt Modellhafte Entwicklung von haustechnischer Ausrüstung zur Temperierung denkmalgeschützter Steinkirchen mit dem Ziel der CO₂-Minderung, Absenkung der Betriebskosten sowie Vermeidung von Kondensat und Bauschäden muss sich langfristig bewähren. Ein größeres Interesse sollte auf die Raumhygiene gelegt werden, da die mikrobiellen Probleme größer zu werden scheinen. Ob die NEK-Heizungsrichtlinie neu geschrieben werden muss, bleibt abzuwarten. Das Monitoring muss zeigen, ob das Durchtemperieren von 8–10 °C für eine Dorfkirche wirtschaftlich ist und die hohen Investitionskosten amortisiert werden, ohne die Ausstattung und Orgel zu schädigen. Eine Kirche zu temperieren wird eine anspruchsvolle Aufgabe bleiben, die nur interdisziplinär zu lösen sein wird.

1.5. Kirchenbaurechtliche Aspekte

Autor: Dirk Behrens

1977 vereinigten sich vier selbständige Landeskirchen und ein Kirchenkreis (Harburg) zur Nordelbischen Evangelisch-Lutherischen Kirche (Nordelbien). Eine dieser Kirchen war die Evangelisch-Lutherische Landeskirche Schleswig-Holstein, in deren Kirchenordnung 1542 festgeschrieben wurde, dass „passende und angemessene Wohnungen“ für ihre Diener und deren Bediensteten bereitzustellen sind und „baulich alles (zu) veranlassen (ist)“ [Göb86, S.185]. Im 16. Jahrhundert galt es, sich dem Brandschutz zu widmen, der die Archive schützt. Weitergehende, gar dem Klimaschutz oder der Energieeffizienz geschuldete Maßnahmen, sollten aber erst im 20. beziehungsweise 21. Jahrhundert eine Rolle spielen.

Für die Kirche wurde bereits 1976 ein neuer zusätzlicher Schwerpunkt, der auch auf den Baubereich zu übertragen ist, gefunden. Die Kirche „trägt dafür Sorge, dass (...) „Mitverantwortung für das öffentliche Leben wahrgenommen wird“ [VNE-LK76, Artikel 1]. Was sich auf Grund der Zeitumstände zuerst gegen Massenvernichtungswaffen und als Verbrechen gegen die Menschlichkeit richtete, beinhaltet heute als Bewahrung der Schöpfung auch klimaschutzrelevante Themen. Im Haushaltswesen wurde bereits 1977 gefordert, dass Haushaltspläne „unter Berücksichtigung (...) ökologischer Verantwortung“ [KG77, § 6 Absatz 1] aufgestellt werden. Dies lässt sich auch daran erkennen, dass 1996 in den Pastorate Richtlinien aufgenommen wurde, „umweltverträgliche Produkte zu verwenden“ und ein „sparsamer Energie-Ressourcen-Verbrauch“ [Rechtsverordnung für den Bau von Pastoraten (PastBauVO) vom 8.3.1994 (GVOBl. S. 99)] zu gewährleisten ist. In der (nachrangigen) Verwaltungsanordnung

für die Ausstattung von Pastoraten [PastAusstAVA, GVOBl. 1995 S. 2] wurde 1994 gefordert, dass nach „energiesparenden Gesichtspunkten“ zu planen und auszuführen ist. Erstmals tauchte das „ökologische Bauen“ auf. Der Heizung (im Pastorat) wurde ein eigener Paragraph gewidmet. Die „zentrale Warmwasserheizung (ist) in umweltfreundlicher und energiesparender Technik“ vorzusehen. Im Kirchlichen Bauhandbuch, herausgegeben von der Konferenz der Bauamtsleiter der Gliedkirchen der evangelischen Kirche in Deutschland (EKD), wurde ab 1994 für den Bereich der evangelischen Kirche „das energiesparende und umweltschonende Bauen“ erklärt. Im Geleitwort forderte der damalige Vorsitzende des Rates der EKD, „den Energieverbrauch zu senken und Schadstoffbelastungen zu reduzieren.“ Der Brandschutz wurde natürlich weiterhin als Unterthema behandelt, Schwerpunkte bildeten aber jetzt die Umweltthemen. In den kirchlichen Gremien entstand ein Bewusstsein, dass energiesparende Maßnahmen nur durch ein professionelles Energiecontrolling (Energieverbrauchsdatenerfassung) begleitet werden kann. Folgerichtig wurde der Bereich Energiemanagement als Pflichtberatungsaufgabe den Kirchenkreisbauverwaltungen zugeschrieben. Einige Kirchenkreise bedienten sich bereits der von der Nordkirche kostenlos zur Verfügung gestellten internetbasierten Software und erfassen den Energieverbrauch vor und nach einer entsprechenden Sanierungsmaßnahme, um deren Erfolg beschreiben zu können. Haushaltsmittel können auch zielgerichteter eingesetzt werden: Gebäude mit einem hohen Einsparpotential werden lokalisiert und können zuerst energetisch optimiert oder nach allen Abwägungsprozessen auch veräußert werden. Im erstmals 2009 aufgestellten Kirchbaugesetz der Nordelbischen Kirche wurde festgeschrieben, dass „bei allen kirchlichen Baumaßnahmen und beim Betrieb kirchlicher Gebäude (...) auf (...) Energieeffizienz zu achten (ist und) die einschlägigen Vorgaben des Umwelt-, Arbeits- und Gesundheitsschutz (...) zu berücksichtigen (sind).“ Alle Maßnahmen waren nach der ab 2010 eingeführten Kirchbaurechtsverordnung „im Interesse der Nachhaltigkeit“ auszuführen.

Die Richtlinien für die Bedienung von Kirchenheizungen schreiben für die temperierten Kirchen in Nordelbien seit 1979 eine Grundtemperatur außerhalb der Benutzungszeiten und eine Höchsttemperatur während des Gottesdienstes vor. Eine gleich bleibende Temperatur wie im DBU-Projekt zur modellhaften Entwicklung von haustechnischer Ausrüstung mit regenerativer Wärmeerzeugung und Heizsystemen mit geringen Vorlauftemperaturen angeregt, ist damals noch nicht Stand der Technik. Unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten besonders bei häufig genutzten Kirchen wie zum Beispiel Stadtkirchen sollten aber verschiedene Beheizungsszenarien verglichen werden. Führungsgröße und entscheidend für ein optimales Mikroklima im Kirchenraum war und ist aber die relative Feuchtigkeit, die „60 bis 70 Prozent betragen (muss)“. Diese Forderung ist in kalten Wintern, wo sehr trockene Außenluft infiltriert auf eine temperierte Kirche trifft, nur schwer zu erfüllen. Insgesamt können daher Forderungen zum Schutz der Ausstattung und der Orgel einer Energieeinsparung entgegenstehen [KB94-96-01-06]. Nach dem Wortlaut des Einführungsgesetzes zur Verfassung der Nordkirche bleiben die oben erwähnten Rechtssetzungen in ihrem bisherigen Geltungsbereich solange in Kraft bis sie durch neue ersetzt werden. Die Zukunft wird zeigen müssen, ob Energieeffizienz oder Klimaschutz wie der Brandschutz gezeigt hat, über Jahrhunderte hinweg relevant bleiben wird.

2. Bestandsaufnahme der Kirchengebäude in den evangelisch-lutherischen Kirchenkreisen Lübeck-Lauenburg und Ostholstein

2.1. Untersuchungsgegenstand

Autoren: Jürgen Rösing, Liane Kreuzer

Die Kirchengebäude stellen den Mittelpunkt kirchlichen Gemeindelebens dar. Sie wurden vornehmlich aus den unterschiedlichsten Beweggründen an besonderen, teilweise exponierten Orten innerhalb einer Siedlung, eines Dorfes oder einer Stadt errichtet. Hierbei unterscheiden sich dörfliche und städtische Strukturen.

Die dörfliche Struktur entwickelte sich häufig rund um das Kirchengebäude, welches je nach örtlicher Gegebenheit zumeist auf einer Anhöhe errichtet wurde. Um die Kirche herum wurde vielfach der Friedhof angeordnet, der häufig mit einer Mauer eingefriedet wurde. Außerhalb der Kirchenmauer aber in der Nähe des Kirchengebäudes wurde das Pastorat als Wohn- und Amtsgebäude angesiedelt. Im Laufe der Jahrhunderte entwickelten sich die kirchlichen Aufgaben und die Arbeit der Kirchengemeinden weiter, so dass neben dem Kirchraum und den Amtsräumen im Pastorat zusätzlicher Nutzungsraum erforderlich wurde. Die hierzu notwendigen Räume in Form eines eigenen Gebäudes werden häufig als Gemeindehaus bezeichnet, dieses versuchte man ebenfalls in räumlicher Nähe zum Kirchengebäude und Pastorat anzusiedeln. Gemeinderäume wurden je nach baulicher Struktur durch Umnutzung eines bestehenden Gebäudes oder durch die Errichtung eines zusätzlichen Gebäudes verwirklicht. Diese Kombination der drei Gebäude kann in der heutigen Zeit als typisch für die kirchliche Gebäudestruktur in den Orten des Untersuchungsgebietes angesehen werden.

Die Lage der städtischen Kirchengebäude hängt im Wesentlichen von der jeweiligen Stadtentwicklung ab. Häufig wurde ausgehend von der Ansiedlung der ersten Kirchengemeinde mit einem zentral gelegenen Kirchengebäude mit Zunahme der christlichen Stadtbevölkerung die Gründung von weiteren Kirchengemeinden erforderlich. Für diese meist eigenständigen Kirchengemeinden wurde zur Erfüllung der kirchlichen Aufgaben ein Kirchengebäude nebst zugehörigem Pastorat erbaut, in jüngeren Jahren sind Gemeindehäuser in diesen Stadtteilen hinzugekommen.

Die Bauweise und Gestaltung von Kirchengebäuden bis zur Epoche des Historismus variierte in Abhängigkeit von der Erbauungszeit, die Gebäudegröße häufig in Abhängigkeit von der Größe und der Finanzkraft der jeweiligen Kirchengemeinde. Je nach Entwicklung der christlichen Bevölkerung wurden Erweiterungen, Änderungen und Umbauten im Laufe der Jahrhunderte notwendig. Auch beim Wiederaufbau von Kirchen nach Zerstörungsschäden sind Veränderungen eingeflossen. Nach der Bauform unterscheidet man Basiliken, Saalkirchen, Hallenkirchen und Zentralbauten. Die bauliche Gestaltung ist Einflüssen der jeweiligen Epochen aus der Erbauungszeit und aus der Zeit der baulichen Veränderungen unterworfen. So sind zumeist nebeneinander mehrere Baustile ablesbar, von romanischen bis zu zeitgenössischen Architekturelementen. Zu Beginn der 1960er Jahre führte es aufgrund der beklagten unzureichenden kirchlichen Versorgung in weitläufigen Landgemeinden Schleswig-Holsteins zum Bau kleiner Fialkirchen, viele dieser Kapellen entstanden zu der Zeit im Rahmen des landeskirchlich geförderten "Kapellenbauprogramms". Friedhöfe, die nicht in unmittelbarer Nähe zum Kirchengebäude liegen, erhielten häufig eigene sakrale Gebäude, die Friedhofskapellen. Im Rahmen der Bestandserfassung sind Friedhofskapellen aufgrund Ihrer sehr temporär ausgelegten Nutzung aber nicht erfasst worden.

Die traditionellen historischen Kirchengebäude gliedern sich in den Hauptnutzflächen je nach Bauform und Größe im Wesentlichen in ein Hauptkirchenraum, dem Kirchenschiff mit ggf. räumlich integrierten Seitenschiffen und dem Chorraum. Weitere Hauptnutzungseinheiten können in Form von Querschiffen und Kapellen den Hauptkirchenraum ergänzen. Nebennutzflächen in Gestalt von Vorräumen, Turmräumen, Sakristeiräumen und Gruften erweitern vielfach das Raumprogramm. Diese Räume können räumlich vom Hauptkirchenraum getrennt oder in diesen integriert sein. Abstellräume, Technikräume, WC-Räume und Gruppenräume können das Raumprogramm ebenso ergänzen. Bei kleineren Kirchengebäuden befinden sich diese Nutzungseinheiten aufgrund der räumlich und baulich beschränkten Gegebenheiten häufig in den nahestehenden Amts- oder Gemeindegebäuden. Die Kirchengebäude sind in der Regel mit dem Chor- bzw. Altarraum östlicher Richtung ausgerichtet, aber auch andere Ausrichtungen aufgrund von Gebäude- oder Grundstücksstruktur, Umgebungsbedingungen, politischen Vorgaben und aus nutzungsrelevanten Gründen sind anzutreffen. Die Anordnung und Struktur der Fenster und Zugangstüren sind stark abhängig von der Bauform, der verwendeten Baustile des Gebäudes und variieren in Lage und Größe erheblich.

Zur Ausstattung der protestantischen Kirchengebäude gehören vornehmlich der Altartisch, die Kanzel, die Orgel und das Kirchengestühl. Ergänzt wird die Ausstattung häufig durch eine künstlerische Ausgestaltung wie Epitaphen, Kreuzen, Gemälden, Altarbildern, Figuren in unterschiedlicher Machart und unterschiedlichen Materialien. Auch bauliche Einbauten in Form von Emporen und Hochstühlen können zur Ausstattung zählen.

Protestantische Kirchengebäude werden in der Regel für das Abhalten von Gottesdiensten, die Feier des Abendmahles, für Taufen, Hochzeiten, Konzerte, Lesungen, Krippenspiele und Konfirmationen genutzt, darüber hinaus können dort weitergehende Veranstaltungen unterschiedlichster kultureller Art stattfinden.

Beheizt sind in Kirchengebäuden zumeist die Räume, die der unmittelbaren und mittelbaren gottesdienstlichen Nutzung dienen. Die Beheizungszeiträume variieren und sind stark abhängig von der Nutzungsintensität.

Für die Bestandserfassung wurden die Kirchengebäude in den Kirchenkreisen Lübeck-Lauenburg und Ostholstein aus den Anfängen des 13. Jahrhunderts bis zu Kirchengebäuden des 20. Jahrhunderts erfasst, die im Wesentlichen in den gottesdienstlich genutzten Räumen aus steinernem Material bestehen und somit die materialbedingte Fähigkeit aufweisen, sehr träge auf Temperaturveränderungen zu reagieren.

2.2. Untersuchungsmethodik

Autoren: Jürgen Rösing, Thorsten Plath

Für die Untersuchung der Kirchengebäude wurde ein Tabellenblatt entwickelt, um eine gute Vergleichbarkeit aller Gebäude zu gewährleisten. Der erste Entwurf, ein zweiseitiges Tabellenblatt, wurde Anfang 2011 vorgestellt und unter allen beteiligten Fachplanern mehrfach diskutiert und angepasst.

Um den Zeitaufwand für die Erfassung aller Kirchengebäude abschätzen zu können, wurden zunächst vier Kirchen erfasst. Dafür wurden eine Stadtkirche in Lübeck (Luther), eine Stadtkirche in Ostholstein (Neustadt) und zwei Kirchen im Lauenburger Land (Gudow und Krummesse Kronsforde) ausgewählt. Für die Erfassung der Gebäude musste jedes Gebäude besucht werden. Bei dieser Probeerfassung wurde deutlich, dass mehr Zeit benötigt wird als zunächst angenommen wurde.

Sehr zeitaufwendig war insgesamt vor allem die Erfassung der Verbräuche für Strom und Wärme (etwa der letzten drei Jahre). Da es hier noch kein Energiecontrolling gibt, mussten für alle Gebäude die einzelnen Verbrauchsrechnungen herausgesucht und aus unterschiedlichen Quellen (Kirchenkreis, Gemeinden, Versorger) zusammengetragen werden.

Die Probeerfassung zeigte auch, dass für den Bereich Lauenburg ein erhöhter Zeitaufwand in der Flächen- und Volumenberechnung zu erwarten war, da es hier nicht für alle Kirchen ausreichende Zeichnungen gibt. Die Flächen- und Volumenberechnung sollte ursprünglich anhand von vorhandenen Plänen erfolgen. Liegen keine Pläne vor, muss bei der Erfassung vor Ort ein grobes Aufmaß vorgenommen werden.

Aktuelle Gebäudedaten kirchlicher Liegenschaften liegen nur dann zentral in der Kirchenkreisverwaltung des Ev.-Luth. Kirchenkreises Ostholstein vor, wenn für diese verpflichtend jährlich Nebenkostenabrechnungen erstellt werden, wie dieses bei Dienstwohnungen (z.B. Pastoren) der Fall ist. Daten der Kirchengebäude liegen nur dann vor, wenn in jüngerer Vergangenheit Umbauten an den Gebäuden erfolgt sind, diese durch beauftragte Planer begleitet und aktualisierte Pläne und Berechnungen abschließend vorgelegt wurden.

Eine Recherche im Planarchiv des Nordelbischen Kirchenamtes ergab, dass von vielen Kirchen Ostholsteins keine oder keine aktuellen Planungsunterlagen vorhanden sind, ergänzende Recherchen im Archiv des Ev.-Luth. Kirchenkreises Ostholstein führten in der Summe zu keinen nennenswerten Ergebnissen. Aufgrund dieser Tatsache wurde entschieden, die Flächen und Volumina der beheizten Räume der Kirchengebäude im Kirchenkreis Ostholstein vor Ort in den jeweiligen Kirchengebäuden grob zu ermitteln, um eine aktuelle Datenlage zu gewährleisten.

Nachdem klar war, dass das geplante Personal (je eine Person) für die Erfassung aller Gebäude nicht ausreicht, wurden verschiedene Möglichkeiten überprüft. Doch weder der Einsatz studentischer Hilfskräfte, noch die Aufgabenteilung mit Fremdpersonal war möglich. So waren die beteiligten Kirchenkreise schließlich gezwungen, den Personaleinsatz für die Erfassung auf 6 Personen für den Kirchenkreis Lübeck-Lauenburg und 6 Personen für den Kirchenkreis Ostholstein zu erhöhen und die Kirchengemeinden um Mithilfe zu bitten.

Die Erkenntnisse aus der Probeerfassung führten schließlich zu einer Überarbeitung der Datenblätter. Da man auf die Mithilfe der Kirchengemeinde angewiesen war, mussten die Datenblätter so erstellt werden, dass sie von „Jedermann“ in kurzer Zeit ausgefüllt werden können.

Nachstehend zum Überblick als Abbildung die Datenblätter für die St. Marien Kirche Gudow (Kirchenkreis Lübeck-Lauenburg). Außerdem wurden für alle Datenblätter Zeichnungen (Lageplan, Grundriss, Schnitte und Ansichten) als Anlagen gesammelt. Das lesbare Datenblatt ist im Anhang beigefügt.

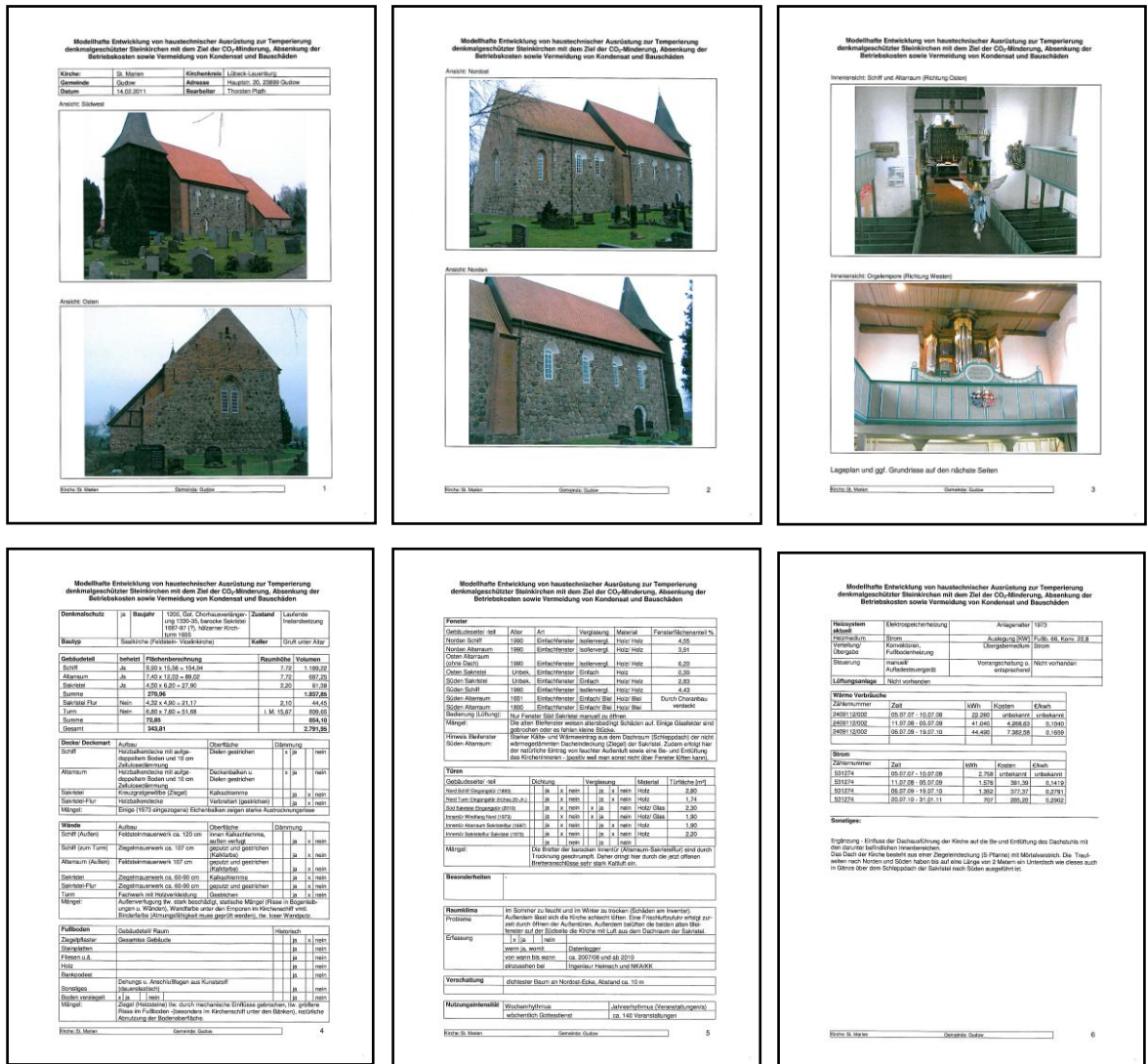


Abbildung 4: Datenblätter St. Marienkirche Gudow

Für die Erstellung der Datenblätter wurde in Zusammenarbeit (Landeskirche, Kirchenkreise, externe Architekten) festgelegt, welche Daten erfasst werden sollen, um Erkenntnisse aus dem Bestand in Bezug auf die Ziele des Projekts beleuchten zu können. Erst nach dem die Daten aller Kirchen gesammelt worden sind, sollte durch die beteiligten Fachplaner festgelegt werden, wie die Auswertung der Daten vorgenommen werden soll.

Die Datenblätter enthalten auf der ersten Seite den Standort der Kirchengemeinde, das Datum und den Bearbeiter der Erfassung. Auf den ersten drei Seiten sind Fotos von vier Außenansichten (nach Himmelsrichtungen) sowie zwei Innenansichten einzusetzen, um einen Eindruck vom Gebäude zu bekommen. Auf der Vierten war anzugeben, ob das Gebäude unter Denkmalschutz steht. Des Weiteren wurde nach dem Baujahr, Zustand, Bautyp (Saalkirche, Hallenkirche, Basilika oder Zentralbau) und nach einem vorhandenen Keller oder einer vorhandenen Gruft gefragt. Im nächsten Abschnitt ist die Flächen- und Volumenberechnung für den beheizten und unbeheizten Raum aufzuführen. Die Unterteilung der Flächen und Volumina wurde vorgenommen, da man hier einen Zusammenhang zu Schimmelvorkommen vermutete. Anschließend wurden raumweise Angaben zum Aufbau und zur Oberfläche von Decken und Wänden abgefragt. Außerdem war anzukreuzen, ob die Bauteile eine Dämmung enthalten. Für die Fußböden sind einige Oberflächen und Materialien vorgegeben, die den

einzelnen Räumen zuzuordnen waren. Hierfür sollte zusätzlich angekreuzt werden, ob der Fußboden historisch ist und ob er versiegelt (diffusionsoffen) ist.

Auf der fünften Seite folgt zunächst die Abfrage zu den Fenstern. Die Fenster sollten nach ihrem Standort zur Himmelsrichtung aufgeteilt aufgelistet werden. Dazu waren das Alter, die Fensterart, die Verglasungsart, das Material und der Fensterflächenanteil anzugeben. Der Fensterflächenanteil errechnet sich aus dem Verhältnis von Fensterfläche und Wandfläche eines Wandabschnittes und wurde in Prozent angegeben. Des Weiteren war aufzuführen, wie und welche Fenster der Belüftung dienen können. Die Unterteilung der Fensterflächen nach Himmelsrichtungen wurde vorgenommen, um eventuelle Zusammenhänge von örtlichen Schimmelvorkommen zu ziehen. Außerdem sollte der Fensterflächenanteil angegeben werden, damit ein solarer Wärmegegewinn berechnet werden könnte.

In der nächsten Abfrage sind die Türen aus den gleichen Gründen wie die Fenster nach Himmelsrichtungen aufzuführen. Es sollte angekreuzt werden, ob die Türen eine Dichtung und ob sie eine Verglasung haben. Neben dem Material war auch die Türfläche anzugeben.

Für alle Decken, Wände, Fußböden, Fenster und Türen sollten festgestellte Mängel mit aufgeführt werden. Zusätzlich waren in einem Extrafeld Besonderheiten der Kirche anzugeben.

Anschließend sollten Auskünfte zum Raumklima gemacht werden. Besonderes Interesse galt hier Problemen mit Schimmel und Feuchtigkeit. Dazu war auch anzukreuzen, ob das Raumklima erfasst wird. Wenn ja, sollte angegeben werden womit, von wann bis wann und bei wem dies einzusehen ist.

Des Weiteren wurde die Verschattung um die Kirche herum abgefragt. Hier wurde die Position und Höhe nahestehender Bäume und Gebäude aufgeführt. Diese Informationen könnten in Zusammenhang mit dem Fensterflächenanteil bei der solaren Wärmegegewinnung und dem örtlichen Schimmelvorkommen ausgewertet werden.

Schließlich wurde nach der wöchentlichen und jährlichen Nutzungsintensität gefragt. Beide Angaben waren in Tagesanzahl aufzuführen. Auch hier sollte eventuell ein Zusammenhang zum Schimmelvorkommen beleuchtet werden.

Auf der letzten Seite sollten alle Angaben zum Heiz- und Stromverbrauch genannt werden. Dafür war das aktuelle Heizsystem, das Anlagenalter, das Heizmedium, die Auslegung (Heizlast in KW), die Verteilung/Übergabe, das Übergabemedium und die Steuerung (manuell oder automatisch) anzugeben. Außerdem sollte eingetragen werden, ob es eine Vorrangschaltung für die Heizung gibt und ob eine Lüftungsanlage vorhanden ist.

Anschließend sollten die Wärme- und Stromverbräuche der letzten drei Jahre angegeben werden. Dafür waren die Zählernummer, der Abrechnungszeitraum, die verbrauchte Energie (in kWh oder bei Öl in Liter), die Kosten und das Verhältnis Kosten zu verbrauchter Energie zu nennen. Alle Angaben zum Wärme- und Stromverbrauch sollten erfasst werden, um mögliche Einsparpotenziale beim CO₂-Verbrauch und den Betriebskosten aufzuzeigen. Aus den Angaben zum Heizsystem und der Wärmeverteilung/Übergabe erwartete man Erkenntnisse zu den Problemen des Raumklimas (Kondensat und Schimmel).

Abschließend konnten unter Sonstiges alle weiteren, wichtig erscheinenden Anmerkungen gemacht werden.

2.3. Bestandaufnahme

Autoren: Thorsten Plath, Jürgen Rösing

Im Mai 2011 wurde allen Kirchengemeinden im Kirchenkreis Lübeck-Lauenburg ein Beispieldatenblatt und ein Datenblatt ihrer Kirche zugeschickt. Das auszufüllende Datenblatt enthielt

alle bis dahin vom Kirchenkreis erfassten Daten. Die Kirchengemeinden wurden gebeten, die Datenblätter bis Juli 2011 ausgefüllt an die Kirchenkreisverwaltungen zurück zu schicken. Parallel wurden weiter die Strom- und Wärmeverbräuche der Kirchengebäude im Kirchenkreis zusammengetragen, da sie dort überwiegend erfasst sind. Bis Mitte August 2011 sind etwa ein Viertel der Fragebögen ausgefüllt von den Kirchengemeinden an den Kirchenkreis Lübeck-Lauenburg zurück geschickt worden.

Diese bedurften einer nachträglichen Kontrolle und Nachbearbeitung. Die wenigsten Datenblätter waren komplett ausgefüllt. Gerade die Berechnungen, die im Datenblatt durchzuführen waren, mussten korrigiert oder ergänzt werden. Um fehlende Daten nachzutragen, mussten die einzelnen Tabellen des Datenblattes häufig noch erläutert werden.

Die Kirchen, die nicht von den Kirchengemeinden selbst erfasst wurden, wurden vom Kirchenkreis erfasst. Bei den Ortsterminen war es hilfreich, wenn die Erfassung durch eine Person aus der Kirchengemeinde begleitet wurde, um mögliche Fragen schneller zu klären. Gerade bei Angaben zu Mängeln an den verschiedenen Bauteilen, dem Raumklima und der Nutzung waren die Aussagen aus der Kirchengemeinde unabdingbar. Die Bestandserfassung enthält somit überwiegend die objektiven Wahrnehmungen einer oder zweier Personen. Schließlich nimmt jeder Mängel, Schäden und das Klima (Schimmel, Feuchtigkeit, ...) anders wahr. Folglich ist festzuhalten, dass an der Erfassung aller Kirchen im Kirchenkreis Lübeck-Lauenburg mehrere Personen mit unterschiedlichen Kenntnissen und Wahrnehmungen teilgenommen haben.

Zum Jahresbeginn 2012 war die Erfassung im Kirchenkreis Lübeck-Lauenburg abgeschlossen. Der nachfolgenden Bitte an die Kirchengemeinde, die Daten zu überprüfen, kam weniger als ein Viertel dieser Aufforderung nach. Nach Einarbeiten einiger kleiner Änderungen wurde die Bestandserfassung abgeschlossen.

In Bezug auf die Gebäudebetreuung in den jeweiligen Kirchengemeinden im Kirchenkreis Ostholstein sind Unterschiede festzustellen. Küster, Kirchenvorsteher, engagierte Kirchenmitglieder oder Pastoren üben diese Funktionen in den Kirchengebäuden aus und bedienen die Technik, wie z.B. die Beheizungsanlage. Für die Bestandsaufnahme werden neben allgemeinen Angaben auch Angaben benötigt, die spezielle Begrifflichkeiten über Materialien, Bauschäden, Formen und Konstruktionen erforderlich machen. Um Missverständnisse möglichst auszuschalten, hat man im Kirchenkreis Ostholstein entschieden, die örtliche Bestandsaufnahme vom Personal der Bau- und Liegenschaftsabteilung der Kirchenkreisverwaltung durchführen zu lassen. Alle sechs teilnehmenden Mitarbeiter wurden umfassend in diese Aufgabe eingewiesen.

Nach einem zuvor festgelegten Arbeitsplan wurden ab April 2011 systematisch die einzelnen Kirchengemeinden vom jeweiligen Bearbeiter informiert über den Umfang der Bestandsaufnahme, welche Daten und Auskünfte benötigt werden und welche Räume im Kirchengebäude begangen werden sollten. Die Besichtigungstermine vor Ort wurden von den jeweiligen Bearbeitern so gewählt und mit den Kirchengemeinden vereinbart, dass die Fahrwege und Fahrzeiten aus Gründen der Effektivität und des Klimaschutzes möglichst gering ausfallen.

Vor Ort standen Kirchengemeinemitglieder helfend zur Seite und haben die Bestandserfassung engagiert mit Auskünften unterstützt. Von den Mitgliedern der Kirchengemeinde empfundenen Schwierigkeiten oder bauliche Mängel am Kirchengebäude wurden geschildert, eine fachliche Überprüfung erfolgte jedoch bei der Datenerfassung nicht. Die Zuhilfenahme eines Laser-Entfernungsmessers ermöglichte die Aufmaßarbeit durch eine Person mit für diesen Zweck ausreichender Genauigkeit. Die gemessenen Werte und daraus berechneten Flächen- und Volumendaten erheben trotz seiner Genauigkeit keinen Anspruch auf Übereinstimmung mit nach gültigen DIN-Vorschriften errechneten Gebäudedaten.

Die erfassten Daten und Auskünfte wurden vor Ort handschriftlich in die Erfassungsbögen eingetragen, die Fotografien erfolgten digital. Alle Datenblätter wurden anschließend durch den jeweiligen Bearbeiter elektronisch erfasst, auf Zuordnungsfehler und Übertragungsfehler kontrolliert, missverständliche Angaben wurden hinterfragt und wenn möglich korrigiert. Die Bestandserfassung im Kirchenkreis Ostholstein wurde im Januar 2012 abgeschlossen.

Im ANHANG sind die 122 Datenblätter der Evangelisch-Lutherischen Kirchenkreise Lübeck-Lauenburg und Ostholstein und weitere Dokumente zu den erfassten Kirchen einsehbar.

2.4. Datenauswertung der Bestandsaufnahme

Autor: Werner Haase

Im Rahmen der Bestandsaufnahme wurden 122 Kirchen untersucht. Die Bestandsaufnahme umfasst u.a. die Gebäudeart, das Alter, die Größe, den Erhaltungszustand, die Heizungsart, den Energieträger sowie die Energieverbräuche und die damit verbundenen Heizkosten. Die Auswertung dieser Liste soll Gemeinsamkeiten oder Abhängigkeiten aufzeigen, um daraus Rückschlüsse ziehen zu können. Bei dieser Untersuchung wurde außerdem nach Bauschäden, Kondensat und damit zusammenhängender Schimmelbildung gefragt. Die Datenblätter wurden durch die Kirchenverwaltung erarbeitet und an die Gemeinden verschickt bzw. durch Personal der Kirchenverwaltung ausgefüllt. Anschließend erhielt mein Büro diese zur Auswertung und Bewertung. Hierbei stellte sich heraus, dass die Datenblätter unterschiedlich verstanden wurden. Ausgewertet werden konnten folgende Inhalte:

- Kirchenkreis
- Energieverbrauch
- Baujahr
- Denkmalschutz
- baulicher Zustand
- Dämmung der Außenwände
- Dämmung der obersten Geschossdecke
- durchschnittliche Energiekosten
- Nutzungsintensität
- eingesetzte Energieträger
- Art des Heizsystems
- Anlagenalter des Heizsystems
- Versalzung
- klimatische Auffälligkeiten
- Schäden

Um eine Auswertung zu ermöglichen, mussten die Inhalte in eine Excel-Tabelle übertragen und in eine möglichst einheitliche Form gebracht werden. Die Tabelle wurde so erstellt, dass beliebig viele Auswertungskriterien gleichzeitig angewählt werden können und jeweils eine Gewichtung des Kriteriums vom Benutzer eingebracht werden kann.

Schwierigkeiten bei der Auswertung der Datenblätter waren unterschiedlich begründet:

- Die Datenblätter wurden teilweise von Laien ausgefüllt und dadurch unterschiedlich interpretiert

- Oftmals werden mehrere Gebäude von einer Heizung versorgt und eine Verbrauchstrennung ist nicht ablesbar.
- Beim Ölverbrauch sind die Nachtankintervalle meistens unterschiedlich, sodass keine eindeutigen Abrechnungszeiträume festgestellt werden können.

Die Nutzung und die Größen der Kirchen sowie die Bauweisen sind sehr unterschiedlich; es müssten daher Verhältniszahlen gebildet werden. Der Energieverbrauch wird auf die beheizte Fläche bzw. beheiztes Volumen bezogen; hierbei kann jedoch sehr schwer der unterschiedliche Grad der Nutzungshäufigkeit der Kirche mit einbezogen werden.

Eine eindeutige Aussage, die eine Art „Gebrauchsanweisung“ zur energetischen Sanierung einer Kirche abgeben könnte, gibt es nicht. Ein direkter Zusammenhang zwischen Schadensfällen bzw. Nutzungsproblemen kann nicht eindeutig auf die Art der Beheizung oder Belüftung zurückgeführt werden.

Die Tabelle 1 zeigt die Verteilung der Energieträger für die Kirchen in den beiden Kirchenkreisen. Die ausgewerteten Kirchen werden überwiegend fossil geheizt. Der bundesweite Durchschnitt für regenerative Heizsysteme ist um ein vielfaches höher, als dies in Kirchenheizungen bisher umgesetzt wurde.

Klassen Heizungsart	Häufigkeit Heizungsart
Gas	63
Öl	25
Strom	27
Pellets	1
Fernwärme	2
Erdwärme	1

Tabelle 1: Häufigkeit Heizungsart

Die Verteilung der Heizungsarten zeigt lediglich wie häufig welche Art der Heizung eingebaut wurde. In einigen Kirchen werden gleichzeitig verschiedene Wärmeübertrager verwendet; deren genauer Anteil wurde nicht erfasst.

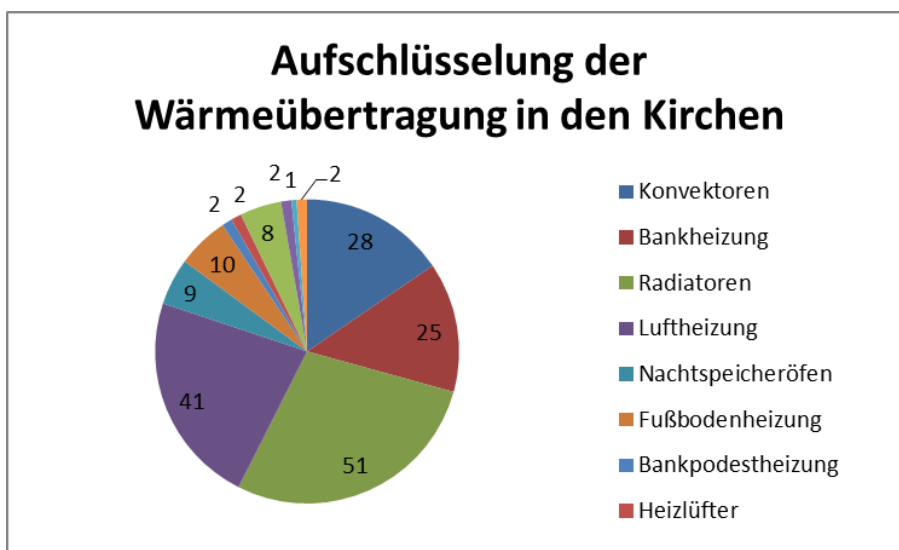


Abbildung 5: Aufschlüsselung der Wärmeübertragung in den Kirchen

Der Gesamtenergieverbrauch ergibt einen Durchschnitt von ca. 190 kWh/m²/a. Hierbei wurden jeweils die oberen und unteren 5 Spitzenwerte entfernt, da diese teilweise wohl auf Ablesefehlern beruhen haben und unmöglich erscheinen. Die Einzelbetrachtung zwischen den beiden Kirchenkreisen zeigt dieselbe Größenordnung.

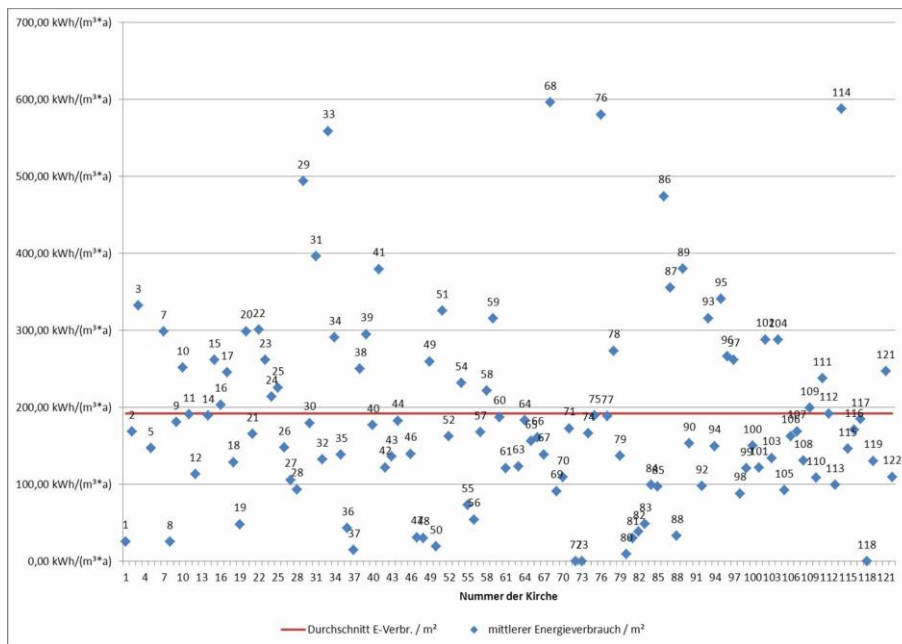


Abbildung 6: Gesamtenergieverbrauch der Kirchen pro Jahr

Insgesamt wurde der Energieverbrauch der untersuchten 122 Kirchen mit ca. 9,16 Mio. kWh/a und einen CO₂- Ausstoß von ca. 2.830 t/a festgestellt. Im Kirchenkreis Ostholstein wurden 34 und in Lübeck-Lauenburg 88 Kirchen untersucht.

Der durchschnittliche Energieverbrauch der untersuchten Kirchen in Ostholstein beträgt ca. 85.300 kWh/a bei einem CO₂-Ausstoß von ca. 24,8 t/a. Für den Kirchenkreis Lübeck-Lauenburg liegt der Durchschnittsverbrauch bei ca. 73.800 kWh/a und der CO₂-Ausstoß bei ca. 22,6 t/a.

Weiterhin wurde ein CO₂-Einsparungspotential ermittelt, bei dem eine Wichtung stattfand, in dem das Anlagenalter 1-fach, die Nutzung 1-fach, der Energieverbrauch und CO₂-Ausstoß jedoch 3 fach gewichtet wurde. Hieraus ergibt sich, dass 12 Kirchen den Hauptanteil von CO₂-Emissionen in Höhe von 876 t/a (31 %) der 122 untersuchten Kirchen haben. Diese Hauptverbraucher sollten vorrangig weiterbetrachtet werden.

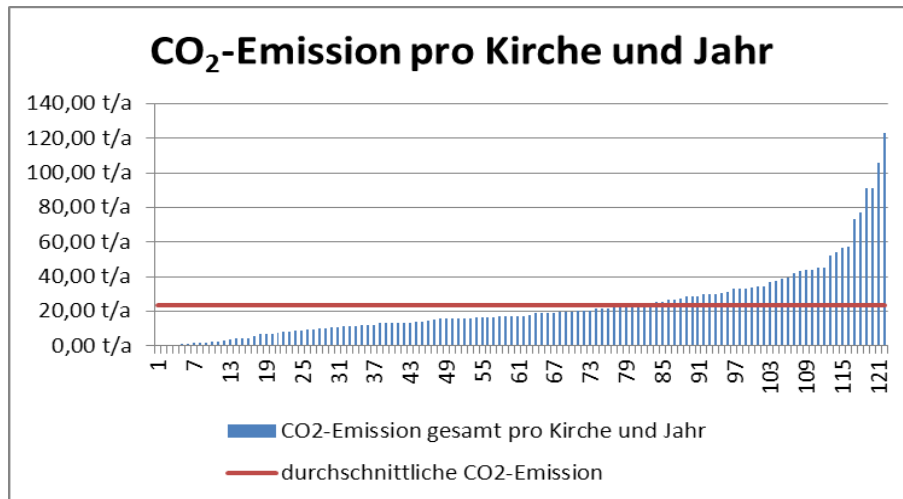


Abbildung 7: CO₂-Emission pro Kirche und Jahr

Neben der energetischen Untersuchung wurden ebenso Aussagen zu Bauschäden bzw. Mängeln erfasst. Hierbei wurden vorrangig Kondensatprobleme und eventuelle Konsequenzen daraus abgefragt. Wiederum lag ein großes Problem darin, dass unterschiedliche Bearbeiter, darunter viele Laien, den Begriff Bauschaden sehr unterschiedlich verstanden. Es wurde kein direkter Zusammenhang zwischen hohem Energieverbrauch oder niedrigem Energieverbrauch und Bauschäden festgestellt. Auch hier gilt, dass die Kirchen sehr unterschiedliche Bauweisen, Nutzergewohnheiten und Heizungsarten besitzen. Es kann keine Regel abgeleitet werden, dass z. B. alle hochverbrauchenden Kirchen verstärkt eine Art Schaden haben.

Auffällig war jedoch, dass es bei einigen Kirchen vereinzelt Kondensatbildung gibt. Die Mehrzahl dieser Kirchen besitzt gemeinsam die Eigenschaft, dass mehrere Heizsysteme gleichzeitig verwendet werden. Wahrscheinlich entstehen dadurch unterschiedliche Temperaturgefälle oder ungewollter Feuchte-Transport. In der folgenden Grafik ist dargestellt, welche Heizsysteme in den Kirchen mit unterschiedlich starken Kondensatproblemen eingebaut sind. Auch hier gibt es keine eindeutige Häufung eines einzigen Wärmeübertragersystems.

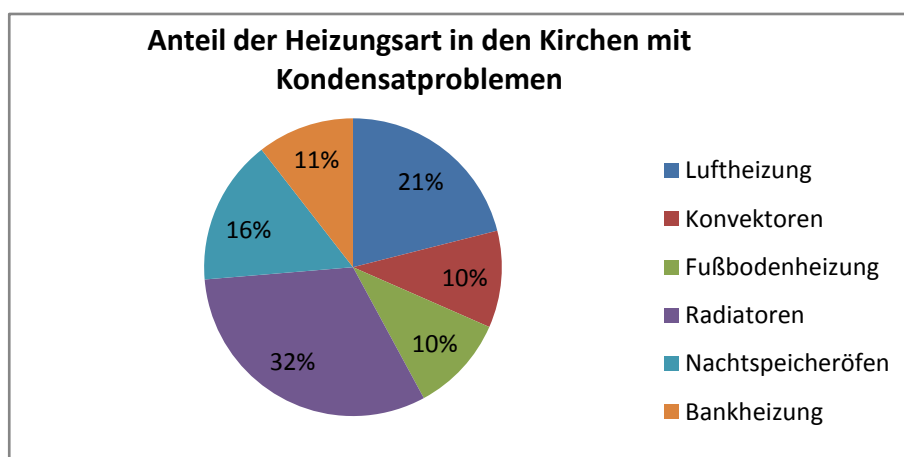


Abbildung 8: Kombinationen Wärmeübertrager in von Kondensatbildung betroffenen Kirchen

Weiterhin wurde der Zusammenhang zwischen Nutzungshäufigkeit und Kondensatbildung untersucht. Auch hier ist kein direkter Zusammenhang ablesbar.

Die Nutzungsintensität der untersuchten Kirchen mit Kondensatproblemen hat eine Spreizung von 30 Veranstaltungen (Nutzungen) bis über 350 pro Jahr mit einer relativ gleichmäßigen Verteilung ergeben. Die durchschnittliche Nutzung beträgt bei den untersuchten Kirchen ca. 145 Veranstaltungen pro Jahr. Da bei dieser Auswertung ca. ein Drittel deutlich über und ca. ein Drittel deutlich unter dem Schnitt liegt, ist auch hier kein direkter Zusammenhang ablesbar.

Weiterhin gab es eine Untersuchung, ob sich Schimmel- bzw. Feuchteanfall verstärkt zeigen, wenn die Deckenkonstruktion der Schlussdecke gedämmt wurde. Hier konnte kein Zusammenhang festgestellt werden.

Es zeigt sich, dass die Erfassung des Gebäudebestandes und eine möglichst ganzheitliche Gebäudebetrachtung sehr sinnvoll sind, auch wenn nur die Kirchen als Einzelgebäude innerhalb der Kirchengemeinde untersucht wurden. Eine weitere Erkenntnis ist, dass die einzelnen Kirchen im Verhältnis zur gesamten Liegenschaft wie Pfarrhaus oder Gemeindesaal, meistens den geringsten Energieverbrauchsanteil haben.

3. Simulation und Monitoring in Kirchen als Methode der TGA-Planung

Autoren: Jens Peters

3.1. Grundlagen zur Dynamischen Gebäudesimulation

Bei einer Simulation handelt es sich allgemein um eine Methode unter Zuhilfenahme von mathematischen Modellen reale Prozesse nachzubilden. Hierbei muss zwischen dem Gegenstand und dem Modell der Simulation eine Ähnlichkeitsbeziehung hergestellt werden [Her02, S. 981].

Ein Simulationsprogramm ermöglicht durch eine dynamische Simulation unter Bereitstellung verschiedener numerischer Routinen zur Lösung partieller Differentialgleichungen das Nachempfinden des thermisch-dynamischen Verhaltens des Gebäudes [Gla06].

Grundsätzlich muss bei thermischen Gebäudesimulationen zwischen einer Gebäudesimulationen und einer gekoppelten Gebäude- und Anlagensimulation unterschieden werden. Bei reinen Gebäudesimulationen werden die Energiebilanzen mit definierten Sollwerten ohne Überprüfung, ob die Sollwerte mit der vorhandenen oder geplanten Anlagentechnik erreicht werden können, durchgeführt.

Bei einer gekoppelten Gebäude- und Anlagensimulation wird das thermisch-dynamische Verhalten der Anlagenkomponenten in die Betrachtung einbezogen. Hierdurch wird der durch Übergabe, Verteilung und Erzeugung erforderliche Energieaufwand bilanziert und im Detail berechnet. Mit beiden Simulationstechniken können die Komplexität der Wechselwirkungen der inneren und äußeren Einflüsse auf ein Gebäude wie Außentemperatur, Sonneneinstrahlung, Wind, Verschattung, Nutzerverhalten, innere Wärmequellen bzw. -senken, Lüftung usw. realitätsnah abgebildet werden.

Für eine Gebäudesimulation werden üblicherweise Stundenschritte, also 8.760 Stundenwerte pro Jahr, verwendet. Bei der gekoppelten Gebäude- und Anlagensimulation kann diese Zeitschrittweite bis in den Sekundenbereich verkleinert werden, wenn es um die Abbildung von detaillierten Regelungsvorgängen geht. Hierdurch erhöht sich der Aufwand zur Berechnung und Auswertung beträchtlich.

Werden im Rahmen von Sanierungs-, Modernisierungs- oder Restaurationsarbeiten Veränderungen an der Gebäudehülle oder -technik vorgenommen, können die zu erwartenden bauklimatischen Auswirkungen dieser bereits in einem frühen Planungsstadium ermittelt und das Funktionsprinzip der Anlagentechnik überprüft werden. Hierfür ist eine gekoppelte Gebäude- und Anlagensimulation ein geeignetes Werkzeug. Da es sich bei historischen Sakralbauten nicht um Standardgebäude handelt, liegen in der Regel keine übertragbaren Erfahrungen hinsichtlich der Wirkungen von Maßnahmen vor.

Durch die Simulation der komplexen inneren und äußeren Einflüsse können vorab sowohl Energiebedarfe, als auch Jahrgänge von Feuchten realitätsnah ermittelt werden. Im Vergleich zu anderen Berechnungsverfahren werden Gebäudehülle und -technik nicht separat, sondern als Einheit betrachtet. Auch können die Einflüsse der Nutzung mit in die Berechnungen einbezogen werden.

3.2. Monitoring - Möglichkeiten zur Betriebsüberwachung und Verifizierung der TGA-Planung

Auf Grundlage einschlägiger Literatur kann Monitoring als jegliche Form der kontinuierlichen Erfassung bzw. Überwachung von relevanten Vorgängen wie Temperatur- oder Feuchteverläufen, Betriebszuständen oder Volumenströmen mittels Sensorik, EDV und Kommunikationstechnik bezeichnet werden. Der Zweck eines Monitorings besteht grundsätzlich in der Möglichkeit, zeitnah auf unerwünschte Veränderungen in den beobachteten Vorgängen reagieren zu können.

Aus technischer Sicht bestehen Monitoringsysteme aus Sensoren, die alle wichtigen Systemparameter, wie beispielsweise Temperaturen, Luft- und Bauteilfeuchten, Volumenströme und Schaltzustände erfassen. Weiterhin sind sie Datensammler, die Sensordaten einer Einheit zur Verarbeitung und Speicherung zuführt. Eine weitere Einheit übernimmt die Visualisierung, hiermit werden die erfassten und gespeicherten Daten dar- und somit die Schnittstelle zum Nutzer hergestellt. Bei dieser Darstellung können verschiedene Auswertungen gewählt werden [Bin03, S. 14].

Den Anforderungen entsprechend werden die relevanten Messwerte in der Regel als stündliche bis viertelstündliche Intervalle erfasst, gespeichert und weiterverarbeitet. Die so erlangten Messwerte dienen:

- der Kenntnis über den realen Verlauf des Verbrauchs von Wärme, Wasser, Strom, Druckluft, etc. für den betrachteten Zeitraum,
- der Ermittlung des witterungsbereinigten Verbrauchs witterungsabhängiger Medien (z. B. Raumwärme) für den betrachteten Zeitraum,
- dem Vergleich mit internen Referenzwerten (z. B. Vorjahresmonat, spezifische Monatswerte vergleichbarer Objekte),
- der permanenten Aktualisierung des Energieverbrauchskennwertes und dem Vergleich mit externen Referenzwerten (AGES1, VDI 3807, etc.),
- der kontinuierlichen Überwachung von Raumluft- und Bauteilfeuchten zur Vermeidung von Schäden an Bauteilen des Gebäudes und evtl. vorhandenen Kunstgegenständen / Kulturgütern.

Der Einsatz eines Monitoringsystems in historischen, denkmalgeschützten Gebäuden, insbesondere in Sakralbauten, ermöglicht durch eine kontinuierliche Überwachung von Feuchteverläufen die zeitnahe Reaktion zur Vermeidung von Schäden durch zu hohe oder zu niedrige Raumluft- und damit verbundenen Bauteilfeuchten.

In den meisten Kirchen ist die Orgel maßgeblich vor zu hohen und zu niedrigen Luftfeuchten sowie zu großen Schwankungen der Luftfeuchtigkeit zu schützen. Besteht für Orgeln ein ausreichender Schutz, ist davon auszugehen, dass auch für Bauteile des Gebäudes ein ausreichender Schutz gewährleistet ist. Besteht die Gefahr einer Schädigung konstruktiver Bauteile, so kann ein Monitoring auch hierfür speziell angepasst werden.

Um eine künstliche Befeuchtung und dem damit verbundenen zusätzlichen Energieaufwand zu vermeiden, können durch ein kontrolliertes Auf- und Abheizen des Gebäudes die von einem Orgelbauer, Restaurator oder Denkmalpfleger geforderten Toleranzen der Raumluftfeuchte eingehalten werden. Grundlage einer solchen kontrollierten Beheizung mit einer sogenannten Feuchtevorrangschaltung (die Raumtemperatur ist in der Regelung der Raumluftfeuchte untergeordnet) ist die fortlaufende Messung, Aufzeichnung und Kontrolle der Messwerte der Luftfechtigkeiten.

4. Darstellung der Einzelprojekte

4.1. Feldsteinkirche Ratekau

4.1.1. Ausgangssituation/Baubeschreibung/Sanierungsstand

Autor: Jürgen Rösing



Abbildung 9: Feldsteinkirche Ratekau



Abbildung 10: Innenansicht Feldsteinkirche Ratekau

Der Baubeginn des in heutiger Zeit als Feldsteinkirche zu Ratekau bezeichneten Kirchengebäudes wird auf das Jahr 1156 datiert. Bei dem Ratekauer Kirchengebäude handelt es sich um eine einschiffige Saalkirche mit östlichem Chor und abschließender Apsis, die romanische Architekturstile aufweist [Deh09, S.768]. Westlich schließt das Bauwerk mit einem ca. 48 Meter hohen Rundturm ab [Ban90, S.14-20]. 1913 ist als kleiner nördlicher Anbau der Sakristeiraum ergänzt worden.

Das Kirchengebäude wurde seinerzeit aus Feldsteinen unterschiedlicher Größe und Hochbrand-Gipsmörtel im Schal-Guss-Verfahren in der Weise erbaut, das sich die Kirche sowohl innen und außen in einheitlicher Optik mit homogener Oberfläche darstellte. Kirchenschiff und Chor schließen mit einer Holzbalkendecke ab, die Apsis ist gewölbt. Der Fußbodenbelag im Kirchenschiff besteht aus Öllandplatten, im Bereich des Kirchengestühls aus einer Holzdielung. Im Chor und im Bereich der Apsis bestand er aus roten Backsteinen. Die Dachdeckung von Kirchenschiff und Chor besteht aus roten Tonziegeln, der Turmhelm ist mit Holzschindeln eingedeckt.

Während der über tausendjährigen Baugeschichte verwitterten die äußeren Wandoberflächen wodurch nach und nach die Köpfe der Feldsteine sichtbar wurden. Die vermutlich vor ca. 1770 durchgeführten Reparaturen beschränkten sich nach den Untersuchungen von Dr. Reimers [Rei10] auf Mörtelergänzungen, die optisch wieder eine homogene Oberfläche zur Folge hatte, wenngleich der Hochbrand-Gipsmörtel teilweise nur an die Feldsteine herangeführt wurde. Der weitere Verwitterungsprozess ließ die Feldsteine wieder sichtbar werden, diese sichtbaren Feldsteine führten dann vermutlich zur romantischen Bezeichnung Feldsteinkirche. Neuzeitliche Reparaturen wurden teilweise mit anderen Mörtelarten durchgeführt. Die Außenwandstärken betragen im Sockelbereich des Hauptkirchenschiffes bis zu ca. 1,20 Meter, im Turmbereich bis zu ca. 2,30 Meter.

Aufgrund aufgetretener Schäden am Kirchengebäude wurde im Jahre 2005 im Auftrag der Ev.-Luth. Kirchengemeinde Ratekau eine Sanierungsstudie durch das Büro Architektur + Stadtplanung, Oldenburg in Holstein, erarbeitet. Die starken Verformungen im Turmbereich sowie nicht unerhebliche Beschädigungen des Außenmauerwerkes des Kirchenschiffes und des Chores machten den Sanierungsbedarf augenfällig. Mit den zur Verfügung stehenden Finanzmitteln wurde ein 1. Bauabschnitt für den Chorbereich von Oktober 2008 bis September 2009 durchgeführt. Mit dieser ersten Maßnahme wurden Dach und Wand des Chores saniert.

Die im Jahr 2009 erfolgte Einstufung der Feldsteinkirche zu Ratekau als kulturelles Erbe von nationaler Bedeutung führte zu einer zu diesem Zeitpunkt unerwarteten Zusage über die hohe finanzielle Förderung der in der Sanierungsstudie beschriebenen Sanierungsmaßnahme durch das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. Die Ev.-Luth. Kirchengemeinde Ratekau beschließt auf dieser Grundlage, mit dem 2. + 3. Bauabschnitt die Sanierung des Kirchenschiffes und des Kirchturmes anzugehen.

Das Büro Architektur + Stadtplanung konnte ebenso für den 2. + 3. Bauabschnitt mit der Planung und Durchführung der Baumaßnahme gewonnen werden. Die Planung umfasste neben der statisch-konstruktiven Sicherung der Außenwände, der Mauerwerkssanierung, der Erneuerung der Dachdeckung des Hauptschiffes und der baulichen Änderungen im Kirchenschiff auch die Behebung der Mängel im Heizungssystem des Kirchengebäudes.

4.1.2. Werkbericht des Architekten zur Sanierung der Kirche Ratekau

Autoren: Torsten Ewers, Jürgen Rösing

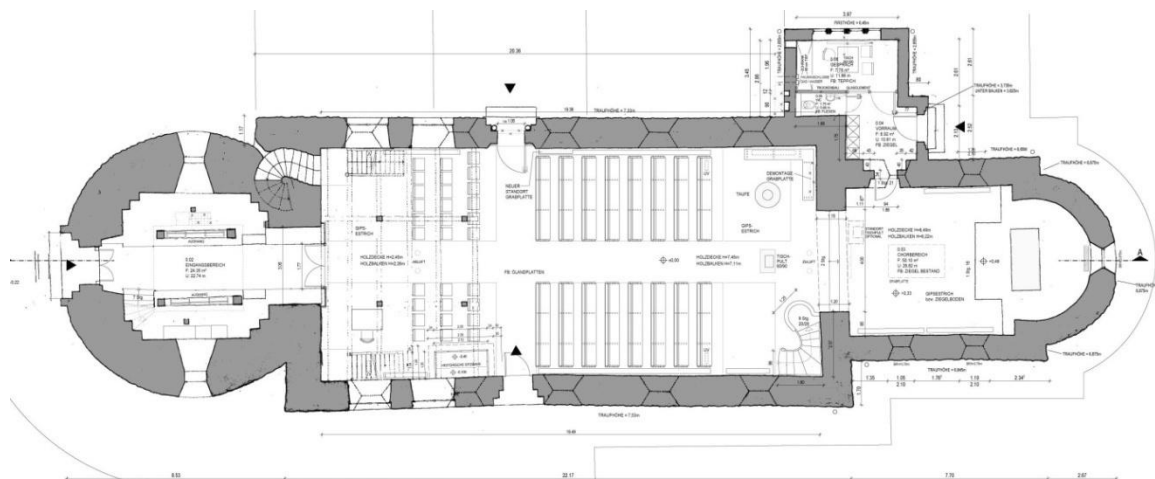


Abbildung 11: Grundriss Sanierungsplanung Kirche Ratekau (Architektur + Stadtplanung)

In der Feldsteinkirche Ratekau war eine Warmluftheizung mit zugehörigem ölbefeuertem Heizkessel aus dem Jahre 1973 mit 145 kW installiert. Es wurden im Laufe der Betriebsjahre Mängel festgestellt. Im Jahre 2003 wurde daraufhin von der Herstellerfirma der Warmluftheizung, der Firma Mahr, Aachen, ein Angebot für eine Überarbeitung der vorhandenen Warmluftheizung eingeholt, angeboten wurden drei Wärmestationen mit investiven Kosten der Kostengruppe 400 nach DIN 276 in Höhe von ca. 30.000 € und mit geschätzten Kosten der Kostengruppe 300 in Höhe von 8.000 €.

Das Sanierungsgutachten aus dem Jahr 2005 empfahl die gesamte Heiz- und Regeltechnik zu prüfen und den zukünftigen Wärmebedarf zu ermitteln. Weiterhin wurde ein Befall von Bauteilen und Ausstattung durch Schimmelpilze festgestellt, hervorgerufen vermutlich durch die regelmäßig notwendige Befeuchtung der Warmluftanlage zur Stabilisierung des Innenraumklimas zum Schutze der Ausstattung, insbesondere der Orgel. Die Heizungsanlage war bedingt durch die vorhandenen Defekte kaum noch in Betrieb. Während der Gottesdienste wurde der Aufenthalt durch eine elektrische Sitzbankheizung einigermaßen komfortabel gemacht.

Zuletzt traten giftige CO-Gase aus dem Heizsystem in den Kirchenraum aus, aufgrund einer möglichen Gefährdung der Kirchenbesucher führte diese Situation zur Stilllegung des gesamten Heizungssystems durch den Bezirksschornsteinfegermeister.

Im Sanierungsgutachten des Büros Architektur + Stadtplanung aus dem Jahre 2005 wurde die Reparatur der bestehenden Warmluftheizung in Verbindung mit der Installation einer neuen und aktuelleren Kirchenheizungsregelung sowie eine Einregulierung der Warmluftheizung in Erwägung gezogen. Aufgrund der nunmehr aufgetretenen Schadensbilder und der Stilllegung wurde es notwendig, im Zuge der Planungen für den 2. und 3. Bauabschnitt der Kirchen-sanierung die Planung eines neuen Heizungssystems in Betracht zu ziehen.

Im Jahr 2009 wurde von der Kirchengemeinde Ratekau das Ingenieurbüro für technische Gebäudeausrüstung Pahl und Jacobsen, Heide beauftragt, Konzepte für die Beheizung sowie für die Be- und Entlüftung der Feldsteinkirche Ratekau zu entwickeln. Die Wärmebedarfsberechnung unter Berücksichtigung der speichernden Flächen erfolgte nach dem Berechnungsverfahren „Krischer und Kast“. Bei nicht wärme gedämmter Holzdecke wurde ein Wärmebedarf von 50 kW, bei einer mit 140 mm Mineralwolle WLG 040 gedämmten Holzdecke wurde ein Wärmebedarf von 38 kW rechnerisch ermittelt. Als Rahmenbedingungen wurde hier von einer abgesenkten Innenraumtemperatur von 8 °C und einer Raumtemperatur von

ca. 15 °C nach entsprechender Aufheizzeit bei einer Außentemperatur von -10 °C ausgegangen.

Das Konzept vom 17.11.2009 beinhaltet die alternative Betrachtung einer temporären Beheizung mit Strahlungswärme auf elektrischer Basis und alternativ einer gas- oder ölerwärmten warmwassergeführten Beheizung. Beide Beheizungskonzepte erfordern danach ein Be- und Entlüftungskonzept für den Kirchenraum, um die durch Kirchenbesucher und Luftwechsel eingetragene Feuchtigkeit zum Schutz der Ausstattung und der Gebäudesubstanz zu minimieren.

Das Konzept zur Beheizung mittels elektrischen Strahlungs- und Konvektionsheizkörpern basierte auf der Annahme von 200 Vollbenutzungsstunden. Hierbei erfolgt keine Grundbeheizung des Kirchenraumes, sondern Ziel ist eine gewisse Behaglichkeit während der überwiegend sonntäglichen Nutzung.

Die Wirtschaftlichkeit dieser Beheizungsart ist stark abhängig von den Nutzungsstunden im Jahr, ein Stromverbrauch von ca. 12.000 kWh/a bei 200 Nutzungsstunden wurde prognostiziert. Das Konzept beinhaltet:

- die Anbringung von Niedertemperatur-Bankstrahlern unterhalb der 30 Sitzbänke,
- die Beheizung des Chorraumes mit drei Unterflurkonvektoren,
- die Beheizung der Empore mittels Fußleistenkonvektoren oder Wandanbaukonvektoren und
- die Beheizung der Sakristei mit Konvektionsheizkörpern an der Wand.

Die Regelung sollte in Abhängigkeit eines eingestellten Zeitprogramms bei Nutzungszeiten auf 15 °C und abgesenkt auf einen Sollwert von 4 °C zur Sicherstellung des Frostschutzes erfolgen. Zur Komfortsteigerung wurden Heizkörper im Bereich der Fensterbänke zur Verhinderung von abfallender Kaltluft vorgeschlagen, ebenso im Bereich des Orgelspieltisches. Das Konzept der Beheizung mit einer Gasbrennwerttherme und wasserführender Wärmeverteilung legte überwiegend Heizflächen mit Konvektionswärmeabgabe bei ca. 900 Vollbenutzungsstunden zu Grunde. Als Variante ist die Energieerzeugung mittels ölbefuerter Kesselanlage genannt.

Es erfolgte die Annahme, dass bei häufiger Nutzung die Innenraumtemperatur nicht unter 8-10 °C abfallen sollte, die maximale Nutzungstemperatur wird mit 15 °C angenommen. Dieses Konzept sah folgende Wärmeüberträger vor:

- die Ausstattung aller Bankreihen (105 lfm) mit aufgeständerten Heizkörpern unter den Sitzflächen im Fußbereich
- die Anordnung von 8 lfm Unterflurkonvektoren im Chorraum, alternativ drei gebläseunterstützte Konvektoren
- die Beheizung der Empore mittels 4,6 lfm Fußleistenkonvektoren
- die Beheizung der Sakristei mit Wandheizkörpern
- im Bereich des Orgelspieltisches ein Klaviaturheizstrahler und eine Orgelsitzheizung auf elektrischer Basis

Der Heizkessel wird in diesem Konzept im Raum der Sakristei angeordnet, für die Abgasführung wird der bestehende Schornstein ertüchtigt. Nachteil ist der hohe Installationsaufwand, die Leitungsführung wird aufgrund eines angestrebten geringen Eingriffes in die Bausubstanz angrenzender Bauteile möglichst als sichtbare Leitungsführung vorgesehen. Bei den angenommenen 900 Vollbenutzungsstunden im Jahr wird ein Erdgasverbrauch in Höhe von 50.000 kWh prognostiziert.

Die beiden Systeme wurden miteinander verglichen, bei der Elektroheizung sind Investitionskosten in Höhe von 38.500 € bei jährlichen Kosten von ca. 5.375 € geschätzt, bei der warmwassergeführten Heizungsanlage mit dem Energiemedium Erdgas sind dies Investitionskosten von 73.000 € bei jährlichen Kosten von ca. 8.833 €.

Das elektrische Heizungssystem ist einfach zu installieren, verursacht aber im Vergleich relativ hohe Betriebskosten. Bei wesentlich mehr als 200 Vollbenutzungsstunden ist dieses System unwirtschaftlich, dem Klimaschutz kann nur durch die Wahl der Stromart in Bezug auf die Stromerzeugung Rechnung getragen werden.

Mit dem warmwassergeführten Heizsystem lässt sich eine als vorteilhaft bezeichnete Grundtemperierung in wirtschaftlicher Weise bei mindestens 900 Vollbenutzungsstunden sicherstellen. Eine CO₂-Einsparung kann hier im Wesentlichen nur über die Reduzierung des Erdgas- oder Ölverbrauches durch die effizientere Anlagentechnik erreicht werden.

Das Konzept der Be- und Entlüftung basiert auf der Steuerung der Be- und Entfeuchtung über das natürliche Aussenklima. Über eine Regelanlage werden die absoluten Feuchtwerte außen und innen verglichen und der Feuchtegehalt über eine automatische Klappensteuerung unter Zuhilfenahme der Thermik verbessert. Die Klappen könnten im Kirchenschiff in Form elektrisch zu öffnender Fensterflügel und einer Klappe in der Decke vor dem Chorbogen bestehen, im Chorraum wird im Konzept ein verschließbare Wanddurchbruch als Zuluftöffnung hinter dem Altar und einer Abluftklappe im Deckenbereich vorgeschlagen.

Es wurde in dem Konzept darauf hingewiesen, das im Rahmen des Lüftungskonzeptes zur Einhaltung der Feuchtegrenzen im Kircheninnenraum die Notwendigkeit auftreten kann, das in den Frühlings- und Sommermonaten die Heizung zu betreiben ist.

Die elektrische Sitzbankheizung schnitt bei den angesetzten max. 200 Stunden hinsichtlich Investition und Betriebskosten in der vereinfachten Betrachtung wirtschaftlicher ab. Es wurde daher erwogen, die elektrische Sitzbankheizung zu erneuern und mit einer aktuellen Anlage und Steuerung des Kirchenraumes die Gottesdienste für die Gemeinde zu temperieren. Da die Wahl des zukünftigen Heizungssystems stark abhängig von den angesetzten Vollbenutzungsstunden ist, wurden die Anzahl der Nutzungsstunden noch einmal kritisch hinterfragt. Die Erneuerung der elektrischen Sitzbankbeheizung würde jedoch die Problematik der Raumluftfeuchte nicht lösen und fand auch aus energetischen Gründen keine Akzeptanz.

Nicht ausreichend berücksichtigt wurden die Datenaufzeichnungen der Datenlogger, die durch das Nordelbischen Kirchenamt empfohlenen und durch die Kirchengemeinde Ratekau installiert wurden. Letztendlich lieferten zwei von drei Datenloggern die notwendigen Raumlufttemperaturen und Raumluftfeuchte, die in regelmäßigen Abständen elektronisch aufgezeichnet wurden.

Nach Auswertung der Datenlogger im Kirchenraum wurde festgestellt, dass über längere Zeiträume im Kirchenraum eine Luftfeuchtigkeit von 70 % und mehr vorhanden war. Um die Spitzenausschläge der Luftfeuchtigkeit zu reduzieren und um ein günstigeres und möglichst kontinuierliches Innenraumklima zu schaffen, wurde jetzt das Heizungskonzept mit der Warmwassersitzbankheizung und Konvektoren als favorisiertes Heizungssystem genannt, das auch im Bereich des Chores und der Orgelempore Heizkörper vorsah. In Kombination mit der Warmwasserheizung wurde eine Steuerung mit Lüftungskonzept geplant, um somit feuchte- und temperaturgesteuert ein für Nutzer und Inventar günstiges Innenraumklima sicher zu stellen. Dieses Konzept zeigte jedoch, dass bei klassischer Heizungsplanung der gestalterische und technische Eingriff in die Gebäudesubstanz erheblich wäre und die konventionelle Planung und Betrachtung zu einem hohen Energieaufwand und zu einer langfristig hohen Belastung führen könnte. Dieses konventionelle Konzept wurde daraufhin vom Landeskirchenamt in Frage gestellt und ein Neuüberdenken gefordert.

Die Überprüfung des Konzeptes und die Neuausrichtung bzw. Betrachtung aus anderen Blickwinkeln heraus, erfolgte mit Unterstützung der Deutschen Bundesstiftung Umwelt sowie mit Unterstützung des Architekten Haase, der die energetischen Betrachtungen aus ganzheitlicher Bauwerks-Perspektive hinterfragte und insbesondere den Klimaschutz in den Focus rückte. Neue Lösungsansätze wurden angedacht und überprüft. Es sollte keine statische Temperierung erfolgen, sondern die Innentemperatur an die Außentemperatur gekoppelt werden. Bei dem Konzept einer dynamischen Temperaturkoppelung wurde davon ausgegangen, dass bei niedriger Außentemperatur auch die Innentemperatur nicht gleichmäßig hoch sein muss, sondern dass bei steigender Außentemperatur die Innentemperatur mitanziehen muss, um Kondensate im Kircheninnenraum zu vermeiden.

Bei niedriger Außentemperatur und somit auch niedriger Innentemperatur sind die Kirchenbesucher auch wärmer angezogen. Bei sommerlichen Außentemperaturen muss hingegen auch die Aufwärmung des Innenraumes mit den Außentemperaturen einhergehen. Bei dieser Konzeption wurde wegen der steigenden Energiepreise und der zwingenden Erfordernis langfristig die Betriebskosten zu senken, und der von der Nordelbischen Kirche angestrebte Klimaschutz durch Reduzierung des CO₂-Ausstoßes, Erdwärme für die Temperierung des Kirchenraumes angedacht und optional die Wärme aus dem Dachraum für eine Lufterwärmung und Luftumwälzung im Kircheninnenraum zu nutzen. In dieser Planungsidee sollen geringe Vorlauftemperaturen für möglichst geringe Luftbewegungen sorgen. Durch Luft- und Wärmetausch aus dem Dachraum sind somit auch keine Fensterlüftung und keine baulichen Maßnahmen in der Außenfassade mehr erforderlich. In dieser Planung sind über die Erdwärme nur geringe Betriebskosten zu erwarten, sofern die Arbeitszahl der Wärmepumpe weit über 3 liegt, grüner Strom eingesetzt wird und eine geringere Temperatur als dies üblicherweise in Kirchenräumen mit 16°C festgelegt ist. Im Winter erfolgt eine Grundtemperierung von ca. 8°C und die Temperatur in der Nutzungsphase wird bei winterlichen Bedingungen bei ca. 12°C liegen. Diese Rahmenbedingungen würden zu einer wesentlich reduzierteren Größe des Energieerzeugers führen.

Durch die Niedertemperaturkonzeption und geringere Luftbewegung, ist mit geringeren Verschmutzungen im Bereich der Wand und auch der Orgel zu rechnen. Die niedrigere Temperatur in Verbindung mit geringerer Luftfeuchte führt nicht zu einem unangenehmeren Klima, sondern zu einer zwar niedrigeren absoluten Temperatur, wobei die gefühlte Temperatur jedoch im akzeptablen Bereich liegt, in den Wintermonaten kann aber eher mit zu trockenen Feuchtigkeitswerten gerechnet werden. Optional sollten zusätzlich elektrische Sitzkissen zum Einsatz kommen, die sich lediglich beim Belegen des Sitzplatzes einschalten und ein angenehmeres Wohlbefinden (ein Wohlbefinden liegt vor, wenn die neuralgischen Punkte Ferse und Nacken erreicht werden) auch bei sehr niedrigen Temperaturen herbeiführen sollen.

Zur Energieerzeugung wurde eine Erdwärmennutzung angedacht, die Speicherung der gewonnenen Energie wäre in einem Eisspeicher oder Warmwasserspeicher möglich. Auch wurde zur Diskussion gestellt, einen gemeinsamen Wärmeerzeuger für alle vier im Ensemble der Kirche gelegenen Gebäude vorzusehen. Da die Notwendigkeit der Erneuerung der Wärmeerzeuger in den anderen Gebäuden auf längere Sicht nicht gegeben war, nahm man von dieser Idee Abstand.

Für die Planung mit alternativen regenerativen Energieerzeugungsformen und eines Wärmeübertragers in Form einer Temperierungsanlage, deren Planung sich von einer konventionellen Heizungsplanung unterscheidet, konnte die Kirchengemeinde Ratekau das Büro IbEM, Kiel, gewinnen. Das Büro IbEM übernahm die Temperierungs-Planung und die zugehörige Bauleitung für das Projekt der Feldsteinkirche Ratekau.

Um das erarbeitete Konzept zu verifizieren, wurde das Büro KAplus aus Eckernförde, mit einer Simulationsberechnung und einer abschließenden Klimadatenauswertung in Form eines Monitorings beauftragt, die das Temperierungskonzept in Verbindung mit der Gebäudehülle und den Baulichkeiten unter Berücksichtigung der Mauerwerksstärken, Mauerwerksmassen und gedämmten Deckenbereiche etc. überprüften und zu einer Optimierung des aufgestellten Konzeptes führen sollten.

Dieser beschriebene Planungsprozess für die Wärmeerzeugung und Wärmeverteilung verlief parallel zur Hochbauplanung, da die Umsetzung der baulichen Sanierung der Feldsteinkirche aus Gründen der befristeten Fördermittelbindung keinen Aufschub duldete.

Die Planung und bauliche Umsetzung mit der Wärmeübertragung als Temperierung und der Wärmeerzeugung in Form der Erdwärmegewinnung wurde in den baulichen Sanierungsprozess eingebunden dann auch umgesetzt, die technischen Erläuterungen sind dem Bericht von Herrn Dipl.-Ing. Morawe zu entnehmen. Die Leistungen der Temperierung wurden nach Fertigstellung der Planung während der laufenden Sanierungsarbeiten ausgeschrieben.

Zur Vorbereitung der Sanierung der Kirche Ratekau wurde eine umfassende Bestandsaufnahme notwendig. Diese bestand aus Anfertigung von Messbildern, umfangreichen Voruntersuchungen durch einen Bauforscher, Untersuchung und Auswertung mineralogischer Befunde durch eine Restauratorin. Laboruntersuchungen von Materialproben wurden unterstützend vorgenommen.

Die bauliche Umsetzung der Sanierungsmaßnahme begann im Februar 2010 mit der Einrüstung der Fassaden des Hauptschiffes zur Reparatur der Fassaden und des Daches. Die Sanierung umfasst die Reparatur der historischen Gips-Guss-Wände, die Instandsetzung der Dachkonstruktion des Hauptkirchenschiffes sowie Erneuerung der Dacheindeckung des Hauptschiffes. In der Sakristei war ein WC zu integrieren. Die Kirchenbänke wurden während der Sanierungsmaßnahme ausgelagert. Das Turmmauerwerk wurde statisch gesichert.

Bei der Überplanung des Kirchenraumes wurden auf Wunsch der Kirchengemeinde die zukünftige Anzahl der Sitzbankreihen reduziert, um einen größeren Nutzungsspielraum vor dem Chorbereich und unter der Empore zu gewinnen. In diesen Bereichen erfolgt zukünftig eine Bestuhlung.

Die Temperierung mittels Erdwärme benötigte große Wärmeübertragungsflächen. Die zur Verfügung stehenden Flächen waren die beiden mit Holzdielung versehenen Sitzbankpodestflächen und der Fußboden des Chorbereiches, der mit Gipsestrich neu belegt werden sollte. Die Wahl des Gipsestriches erfolgte in Anlehnung an den bei der Sanierung wiederentdeckten historischen Originalfußboden aus Gips.

Die Wärmeeinleitung über die Holzdielung der Podestflächen wurde mit Wärmeleitblechen flächig eingebracht. Die neu gestalteten Bodenflächen wurden mit WW-Fußbodenheizung versehen. Zusätzlich wurden wandbegleitend Konvektorschächte in die Podest- und Estrichflächen integriert.

Die freigelegten Bodenflächen wurden gegen das Erdreich mit Glasschotter in einer Stärke von ca. 20 bis 40 cm gedämmt. In dem estrichüberdeckten Bereich wurden zusätzlich 40 mm Foamglas als Montageebene für die Fußbodenheizung verlegt.

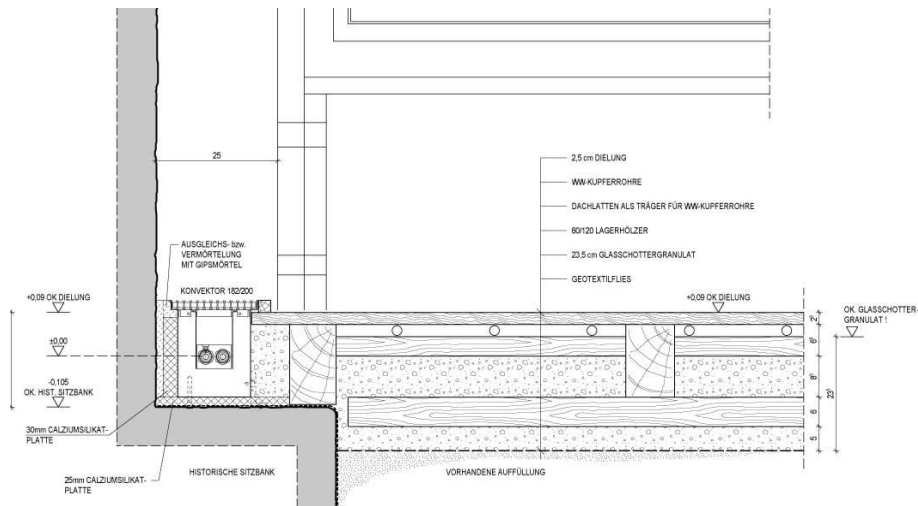


Abbildung 12: Detailplanung wandbegleitender Bodenkonvektor und Temperierungsflächen im Bereich der Sitzbankpodeste (Quelle: Architektur + Stadtplanung)

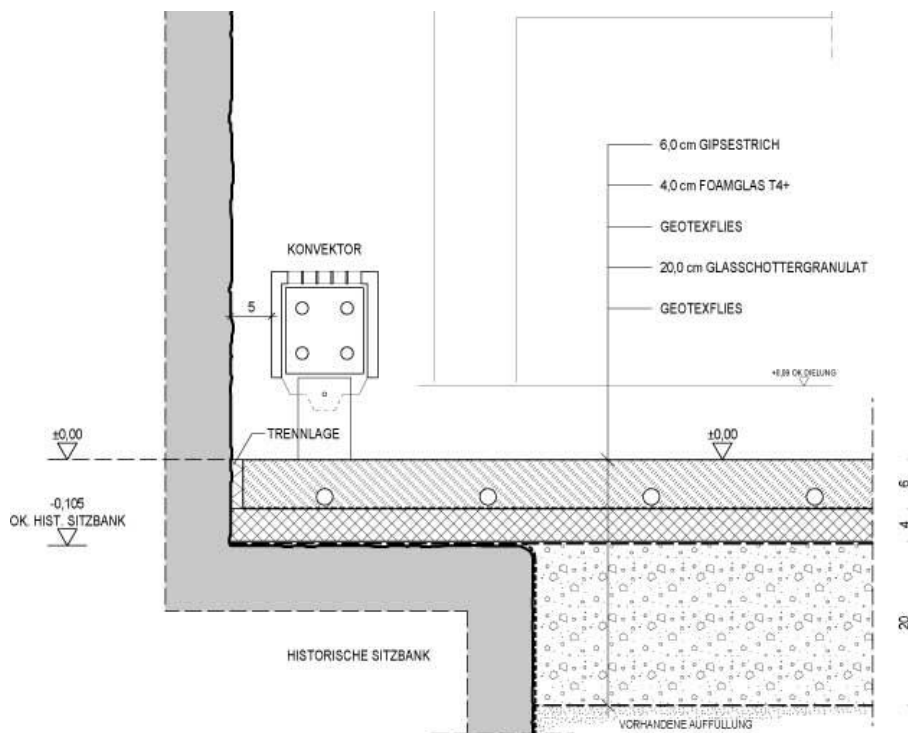


Abbildung 13: Detailplanung Temperierungsfläche im Bereich der Gipsestrichflächen (Quelle: Architektur + Stadtplanung)



Abbildung 14: Verlegung der hölzernen Lagerroste im Bereich der Bankpodeste

Das Mauerwerk wurde im erdberührten Bereich von außen mit einer Perimeter-Dämmung gedämmt. Im Dachbereich wurde der Mauerwerkskopf und die Ebene der Balkenauflage mit Zellulose-Dämmung gegen Wärmebrücken geschützt und damit mit einer angemessenen Winddichtigkeit versehen. Um die Winddichtigkeit zu verbessern, musste auch die Einhausung des rückwärtigen Orgelbereiches winddicht und leicht wärmegeklärt verkleidet werden.

Die Balkenlage über dem Kirchenschiff und dem Chor wurden im Deckenbereich konventionell mit 16 cm Mineralwolle gedämmt. Zum Kirchenraum hin wurde eine diffusionsoffene Vliesbahn, Fabrikat „Deltamax“ als Rieselschutz verlegt. Die Wärmezentrale konnte in der ehemaligen Leichenhalle untergebracht werden, da in der Kirche lediglich die Übergabe und Verteilung im Vorbereitungsraum der Sakristei unterzubringen war. Die Verbindung erfolgte mit einer stark gedämmten Nahwärmeleitung. Die Freifläche zwischen Kirche und Gemeindehaus bot ausreichend Platz für die erforderlichen Erdsonden. Die Limitierung der Bohrtiefe auf vertikal max. 19 m aufgrund einer nicht zu durchstoßenden Lehmlage und einem Tiefbrunnen in der Nachbarschaft ließ sich durch das vom Architekten Haase vorgeschlagene sternförmige eingebrachte Sondensystem gut kompensieren.

Zusätzlich zu der permanenten Temperierung mit Aufheizphase zu den Gottesdiensten wurde eine elektrische Sitzkissenheizung auf einigen Bänken installiert, um die relativ niedrige Grundtemperatur von 12 °C in der Wahrnehmung für die Kirchenbesucher zu kompensieren.



Abbildung 15: Fertiggestellter Innenraum (alle Fotos: Architektur + Stadtplanung)

4.1.3. Heizungs-, Temperierungs- und Lüftungssystem

Autor: Engelbert Morawe

Gemäß den Anforderungen des DBU Projekts sollte eine Beheizung bzw. Temperierung unter Nutzung von regenerativer Energie bei vorgegebenen Raumtemperaturen in der Kirche zur Ausführung kommen. Für den Gottesdienst wird eine Raumtemperatur von mindestens 12 °C im Kirchenraum angesetzt. Durch zeitweise Beheizung der Kirche soll ganzjährig eine Grund-Raumtemperatur von 8 °C nicht unterschritten werden.

Zur Vermeidung von Schäden an dem Kirchenbauwerk, den Gegenständen und der Orgel sollte das Raumklima in der Kirche entsprechend überwacht und im Rahmen der Möglichkeiten geregelt werden (Raumtemperatur, Aufheizvorgang, Raumluftfeuchtigkeit). Vom Architekturbüro Haase wurde ein entsprechendes Temperierungskonzept erarbeitet.

Eine Heizlastberechnung bzw. Wärmebedarfsberechnung ist für Kirchen nur nach einem Sonderverfahren möglich. Die aktuelle DIN EN 12831 zur Heizlastberechnung kann hier nicht zur Anwendung kommen, da es sich bei Kirchen um Bauwerke handelt, die von der Norm nicht erfasst werden. Die hier vorgesehene Aufheizung der Kirche Ratekau von 8 °C Grundtemperatur auf 12 °C ist als instationär anzusehen, so dass eine gesonderte Berechnung für speichernde und nicht speichernde Bauteile vorgenommen werden muss. Ein Berechnungsverfahren ist in der alten DIN 4701 nach Krischer und Kast enthalten.

Als Ergebnis ergibt sich unter bestimmten Randbedingungen (Aufheizdauer, vorgegebener Luftwechsel während der Aufheizung) eine erforderliche Heizwärmeleistung von ca. 21,5 kW. Diese vorab ermittelte Heizwärmeleistung wurde im Rahmen der Gebäudesimulation durch das Ingenieurbüro KApus verifiziert.

Die vorgesehene Ausführung der Temperierungseinrichtungen hinsichtlich Geometrie, Abmessungen und Heizleistungen wurden im Detail von IbEM vorgegeben und bei der Gebäudesimulation entsprechend berücksichtigt. Die sich aus der Gebäudesimulation ergebende erforderliche maximale Heizleistung für den Kirchen- und Chorraum beträgt für die Kirche Ratekau ca. 24 kW (einschl. 30 % angenommener Wärmeverluste) bei einer Außentemperatur von -10 °C.

Da die Beheizung bzw. Temperierung im Interesse einer hohen Jahresarbeitszahl für die Wärmepumpe bei möglichst niedrigen Heizwasser-Vorlauftemperaturen erfolgen muss, sind entsprechend große Niedertemperatur-Heizflächen erforderlich.

Das geplante Konzept sieht auf der Basis der Vorschläge des Architekten, Herrn Haase, der Fortentwicklungen durch das Ingenieurbüro IbEM und auf Grund der baulichen Randbedingungen folgendes System vor:

Die Heizwärme soll in der Kirche hauptsächlich über Strahlungsheizflächen (Fußbodentemperierung) abgegeben werden. Die Möglichkeit des Einbaus einer Fußbodentemperierung ergab sich dadurch, dass die Holzpodeste und die Holzfußböden im Bereich der Sitzbänke sanierungsbedürftig waren. Vor der Außenwand sollten zusätzlich Heizflächen als Unterflur- bzw. Überflurheizkörper installiert werden, die für die Aufheizung der Kirche von 8 auf 12 °C herangezogen werden sollten und während des Gottesdienstes den Kaltlufteinfall durch die Außenwände durch einen Warmluftschleier kompensieren. Insgesamt sollte das Heizsystem moderate Luftbewegungen ermöglichen, so dass Temperaturunterschiede im Kirchenraum und Zugserscheinungen insgesamt minimiert werden, und die Behaglichkeit für die Besucher erhöht wird. Die Überflur-Heizflächen vor den Außenwänden waren so zu gestalten, dass den Anforderungen des Denkmalschutzes Rechnung getragen wurde (möglichst niedrig und unauffällig).

Die Heizwärmeversorgung sollte gemäß Aufgabenstellung über eine elektrische Sole-Wasser-Wärmepumpenanlage mit einer Heißgas-Wärmeauskopplung erfolgen. Als Wärmequelle sollte

Erdwärme über Erdwärmesonden, die nach dem Schrägbohrverfahren in die Erde eingebracht werden, genutzt werden.

Eine Wärmepumpe mit Heißgas-Wärmeauskopplung besitzt 2 Wärmeauskopplungskreisläufe, und zwar für Niedertemperatur (max. 35 - 40 °C) und für „Hochtemperatur“ (max. 55 °C). Die aus dem Niedertemperatur-Heizkreislauf auskoppelbare Heizwärme kann unmittelbar für Niedertemperatur-Heizflächen genutzt werden. Die aus dem Hochtemperatur-Heizkreislauf ausgekoppelte Heizwärme kann zur Wärmespeicherung genutzt werden. Die Heißgas-Wärmeauskopplung kann von 0 bis 50 % der Wärmepumpen-Heizleistung gesteuert werden. Ohne Heißgas-Wärmeauskopplung (0 %) kann die gesamte Wärmepumpen-Heizleistung im Niedertemperatur-Kreislauf genutzt werden. Die Wärmepumpen-Leistungszahl ist dann am besten.

Folgende Bedingungen waren für die Dimensionierung der Gesamtanlage zu erfüllen:

- Die Wärmepumpenanlage sollte in der Betriebsstundenzahl möglichst gut ausgenutzt und eine zu große Dimensionierung aus Kostengründen vermieden werden, da insbesondere die Ausführung der Erdwärmesonden mit relativ hohen Kosten verbunden ist.
- Eine Heizleistung von ca. 24 kW müsste für die Aufheizung der Kirche von 8 auf 12 °C über die installierten Heizflächen zur Beheizung der Kirche ausreichend sein.

Die Temperierung erfolgt damit im Kirchen- und Chorraum wie folgt (siehe Anhang Grundriss mit Heizflächen und Heizungsleitungen):

Kirchenraum:

- Fußbodentemperierung unter den Holzfußböden und den Sitzbänken rechts und links mit Kupferrohren (18 x 1 mm) und aufgesetzten Alu-Leitblechen
- Fußbodentemperierung im Bereich des Gipsestrichs mit Kupferrohrschlangen mit einem Durchmesser von 14 x 0,8 mm mit Schutzmantel aus Kunststoff und einem Rohrabstand von 10 cm
- Unterflur-Konvektoren im Bereich der Holzfußböden vor den Außenwänden rechts und links
- Überflur-Konvektoren vor den Außenwänden im Bereich des Gipsestrichs und der Empore rechts und links
- Zur Steigerung der Behaglichkeit für die Besucher sollten im Bereich der Sitzbänke zusätzlich elektrisch beheizbare Sitzkissen zur Ausführung kommen, deren Beheizung partiell durch Sitzkontakt des Besuchers eingeschaltet wird.

Empore:

- Plattenheizkörper vor der Außenwand auf der rechten und linken Seite

Chorraum:

- Fußbodentemperierung im Bereich des Gipsestrichs mit Kupferrohrschlangen mit einem Durchmesser von 14 x 0,8 mm mit Schutzmantel aus Kunststoff und einem Rohrabstand von 10 cm
- Unterflur-Konvektoren vor den Außenwänden rechts und links

Die Grundtemperierung auf 8 °C Raumtemperatur außerhalb der Nutzungszeiten erfolgt hauptsächlich durch die Fußbodenheizung im Kirchen- und im Chorraum und Platten-Heiz-

körper auf der Empore. Hierfür wird eine Heizwasser-Vorlauftemperatur von max. 35 bis 40 °C angesetzt. Die Wärmepumpe erreicht dann theoretisch eine möglichst hohe Leistungszahl.

Die installierte Beheizungsleistung beträgt für die Heizflächen:

- Fußbodenheizung im Kirchen- und Chorraum insgesamt ca. 11,4 kW (VT 35 °C)
- Plattenheizkörper auf der Empore ca. 2,6 kW (VT 35 °C)
- insgesamt ca. 14 kW

Durch die vom Ingenieurbüro KApus durchgeführte Gebäudesimulation konnte nachgewiesen werden, dass eine Beheizungsleistung von max. ca. 14 kW für die Grundtemperierung ausreicht.

Über eine Zeit- und Programmschaltung wird die Raumtemperatur auf 12 °C innerhalb der Nutzungszeiten über die Fußbodentemperierung und die Konvektoren im Kirchen- und Chorraum und die Plattenheizkörper auf der Empore angehoben, so dass zu Beginn des Gottesdienstes eine Raumtemperatur von 12 °C im Kirchenraum erreicht ist. Die Konvektoren stellen somit neben der Fußbodentemperierung zusätzliche Heizleistung während der Aufheizphase zur Verfügung. Die Vorlauftemperatur aus dem Speicher beträgt hierbei bis zu 55 °C.

Die installierte Beheizungsleistung beträgt für die Heizflächen:

- Fußbodenheizung im Kirchen- und Chorraum insgesamt ca. 13,2 kW (VT 35 - 40 °C)
- Unter-/Überflurkonvektoren im Kirchen- und Chorraum ca. 8 kW (VT 55 °C)
- Plattenheizkörper auf der Empore ca. 4,6 kW (VT 55 °C)
- insgesamt ca. 25,8 kW

Durch die vom Ingenieurbüro KApus durchgeführte Gebäudesimulation konnte nachgewiesen werden, dass eine Beheizungsleistung von max. ca. 24 kW für die Temperierung während der Nutzungszeit ausreicht.

Die Raumtemperaturregelung erfolgt im Kirchenraum über 2 Temperaturfühler mit Mittelwertbildung, die im Kirchenraum rechts und links installiert wurden.

Es wurden 2 Heizkreise ausgeführt (siehe Anhang Schema):

- Heizkreis 1 für die Fußbodentemperierung (und Platten-Heizkörper auf der Empore)
- Heizkreis 2 für die Überflur-/Unterflur-Konvektoren (und Platten-Heizkörper auf der Empore)

Die Heizwasser-Vorlauftemperatur beträgt für die Platten-Heizkörper und die Konvektoren max. 55 °C bei -10 °C Außentemperatur. Die Heizwasser-Rücklauftemperatur soll max. 45 °C betragen. Jeder der beiden Heizkreise 1 und 2 wird über eine Hocheffizienzpumpe mit Heizwasser versorgt.

Für die Aufheizung der Kirche sind beide Heizkreise in Betrieb. Bei einem Gottesdienstbeginn um 10.00 Uhr und einer Aufheizzeit von 4 Stunden muss ab 6.00 Uhr mit dem Aufheizen begonnen werden. Die Raumtemperatursteigerung beträgt dann 1 K/h.

Für die Aufstellung einer Wärmepumpenanlage mit Wärmespeicher gab es in der Kirche leider keinen Platz. Eine Aufstellung bot sich in der benachbarten ehemaligen Leichenhalle an. Hier wurden eine elektrisch betriebene Sole/Wasser-Wärmepumpe und ein Heizwasser-Schichtwärmespeicher mit 4.000 Litern Inhalt installiert.

Heizleistung	Soletemperatur	Heizwassertemperatur	Leistungsziffer
19,5 kW	5 °C	35 °C	5,1

16,2 kW	0 °C	35 °C	4,4
15,4 kW	0 °C	50 °C	3,0

Tabelle 2: Leistungsdaten der Wärmepumpe

Die elektrische Leistungsaufnahme beträgt ca. 3,8 bis 5,1 kW. Über die Wärmepumpe ist es auch möglich, zu 100 % aus regenerativer Energie erzeugten elektrischen Strom einzusetzen.

Der Schichtwärmespeicher stellt zusätzliche Heizleistung mit entsprechender Vorlauftemperatur während der Aufheizphase des Kirchen- und Chorraumes zur Verfügung. Wärmepumpe und Heizwasserspeicher werden dann hydraulisch parallel betrieben.

Bei einer Temperaturspreizung von 10 K (55/45 °C) können ca. 45 kWh an zusätzlicher Heizwärmeenergie bereitgestellt werden. Bei einer Aufheizzeit von 4 h ist damit eine zusätzliche Heizleistung von ca. 11 kW über die Konvektoren und Plattenheizkörper möglich. Mit einer Heizleistung von ca. 13 kW über die Fußbodentemperierung und den NT-Kreislauf der Wärmepumpe ergibt sich dann insgesamt eine Heizleistung von ca. 24 kW.

Die erzeugte Heizwärmeenergie wird über 2 erdverlegte Nahwärmeleitungen von 45 m Länge mit je 2 Mediumrohren zum Verteiler in der Sakristei der Kirche transportiert. Von hier wird die Wärmeenergie weiter zu den Temperierungs- bzw. Beheizungseinrichtungen verteilt. Parallel zur Erdwärmeleitung wurden Signalkabel zur Kommunikation (Steuerung und Regelung der Komponenten) verlegt.

Die Erdwärmesonden wurden außen neben dem Aufstellungsraum der Wärmepumpenanlage im Schrägbohrverfahren (35°-65°) von 2 unterirdischen Verteilerschächten aus gebohrt. Insgesamt wurden 15 Sonden ausgeführt, im ersten Schacht 9 Sonden und im zweiten Schacht 6 Sonden. Die Sondenlänge betrug maximal ca. 30 m. Insgesamt wurden ca. 380 m Sondenlänge ausgeführt

Über die Erdwärmesonden wird dem Erdreich Wärme über einen Wasser-Glykol-Kreislauf entzogen. Die Wärmepumpe nutzt die Erdwärme über einen Platten-Wärmeaustauscher. Das Wasser-Glykol-Gemisch wird abgekühlt und über eine Umwälzpumpe zum Sondenkopf der einzelnen Sonden gefördert und wieder erwärmt. Die Temperaturdifferenz beträgt ca. 3 K. Bei einer Wärmepumpen-Austrittstemperatur von z.B. ca. - 3 °C tritt die Sole (Wasser-Glykol-Gemisch) nach der Erwärmung in den Sonden mit ca. 0 °C in die Wärmepumpe ein.

Die Belüftung des Kirchenraumes erfolgt zwangsläufig durch Infiltration und Öffnen der Türen. Auf eine mechanische Lüftungsanlage (mit Wärmerückgewinnung) sollte gemäß Vereinbarung zunächst verzichtet werden. Jedoch wurden bereits entsprechende Vorkehrungen getroffen, so dass eine spätere Nachrüstung möglich ist.

Es wird davon ausgegangen, dass der notwendige Außenluftaustausch zwischen den Gottesdiensten durch Infiltration und Außentüröffnung ausreicht und der große Luftraum in der Kirche eine ausreichende Raumluftqualität während der meist einstündigen kirchlichen Veranstaltungen sicherstellt.

Das Kirchenraumklima wird im Rahmen eines Monitoring an mehreren Stellen über einen längeren Zeitraum ab Inbetriebnahme der neuen Heizungs- und Temperierungsanlage aufgezeichnet und ausgewertet (Raumtemperaturen, Außentemperatur, Heizleistung, Energieverbrauch (elektrische Energie) und Luftfeuchtigkeit).

Die Auswertung soll aufzeigen, welche Optimierungsmaßnahmen noch erforderlich sind und ob eine mechanische Lüftungsanlage nachgerüstet werden soll.

4.1.4. Gebäudesimulation in Ratekau

Autor: Sören Vollert

Im Rahmen der laufenden Arbeiten wurde das Konzept zur Beheizung der Kirche durch eine dynamische Gebäudesimulation geprüft. Hierzu wird der Planungsstand durch ein Simulationsmodell abgebildet und das thermische Verhalten berechnet. Die Gebäudesimulation wurde mit dem validierten Programm BSim (Danish Building Research Institute, Universität Aalborg) durchgeführt.

Ziel der Berechnungen ist die Prüfung des vorgeschlagenen Heizkonzeptes. Es soll die Heizleistung, das Raumtemperaturverhalten in der Anheizphase und das Feuchteverhalten geprüft werden. Eine ergänzende Strömungssimulation ist zurzeit nicht geplant, Wärmebrückenberechnungen und eine Blower-Door Messung nach Herstellung der luftdichten Ebene (insbesondere im Übergang Orgel/Kirchturm) sollen noch erfolgen.

Zur Ist-Analyse stehen Messdaten früheren Jahren zur Verfügung, allerdings konnten die genauen Standorte der Datenlogger nicht zweifelsfrei angegeben werden.

Raumklima Sommer (2004, 2005)

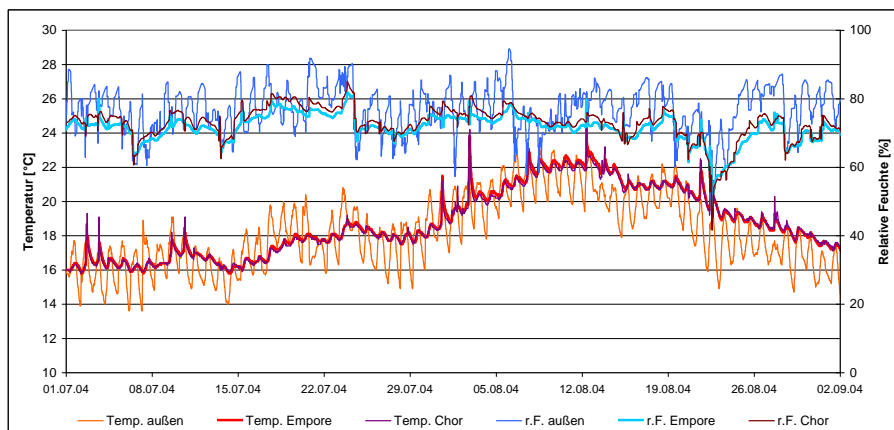


Abbildung 16: Beispiel Lufttemperatur Juli/August 2004

Die Raumlufttemperatur im Sommer liegt in einem Bereich von ca. 16 °C bis 25 °C. Der Verlauf folgt in gedämpfter Form in etwa dem Verlauf der Außentemperatur. Die rel. Feuchte liegt in einem Bereich von ca. 40 % bis 85 %. Auch hier ist die Abhängigkeit von den Werten der Außenluft erkennbar.

Raumklima Winter (2004/2005)

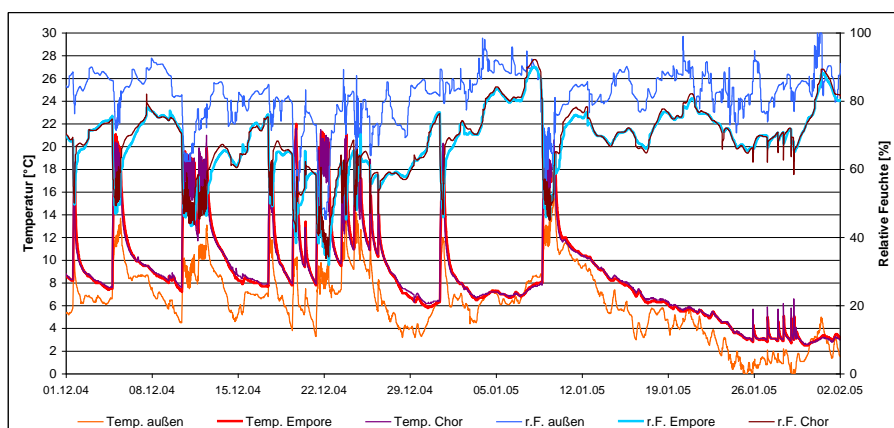


Abbildung 17: Beispiel Lufttemperatur Dezember 2004 bis Januar 2005

Die Beheizung während der Nutzung ist deutlich erkennbar. Außerhalb der Beheizung sinkt die Raumlufttemperatur bis auf 3 °C bis 8 °C ab. Während der Beheizung steigt die Raumlufttemperatur bis 22 °C an.

Die relative Feuchte schwankt zwischen ca. 35 % bis 90 % und ist von der Feuchte der Außenluft, dem Feuchteeintrag durch die Nutzung und der Beheizung abhängig.

Häufigkeitsverteilung rel. Feuchte (2005/2006)

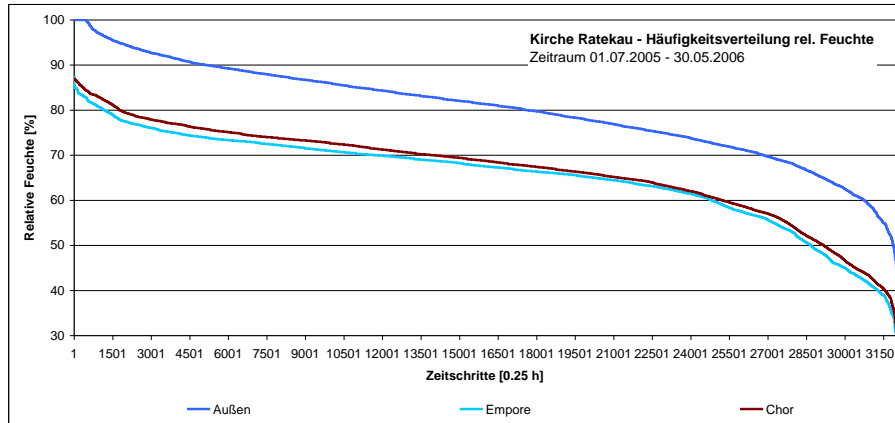


Abbildung 18: Häufigkeit der relativen Feuchte vom Juli 2005 bis Mai 2006

Die relative Feuchte liegt hauptsächlich in einem Bereich von 50 % bis 75 %.

Absolute Feuchte

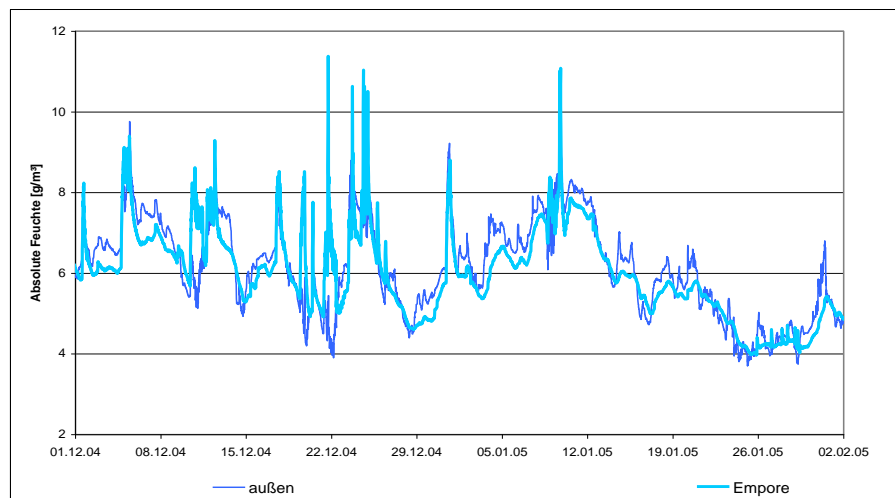


Abbildung 19: Verlauf der absoluten Feuchte Dezember 2004 bis Januar 2005

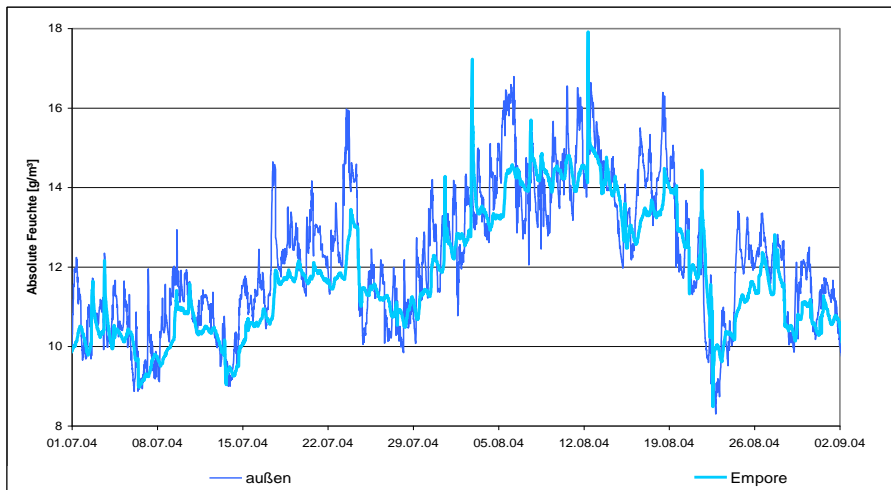


Abbildung 20: Verlauf der absoluten Feuchte Juli bis August 2004

Obige Abbildungen zeigen den Verlauf der absoluten Feuchte für Außen und die Empore. Durch eine geregelte Lüftung in Abhängigkeit der absoluten Feuchte könnte eine Entfeuchtung realisiert werden.

Nachfolgend erfolgte die dynamische Gebäudesimulation. Durch das Architekturbüro Werner Haase und IbEM (Ing.- Büro Morawe) wurden folgende Anforderungen genannt:

- Grundtemperatur mindestens 8 °C (Lufttemperatur)
- Temperatur während der Gottesdienste 12 °C (Lufttemperatur)
- Anhebung der Temperatur max. 1,0 K/h
- Relative Feuchte 55 bis 75 %

Das Wärmeversorgungskonzept basiert auf Ausführungen des Büro IbEM. Grundlage ist das Konzept des Büros Haase, Karlstadt.

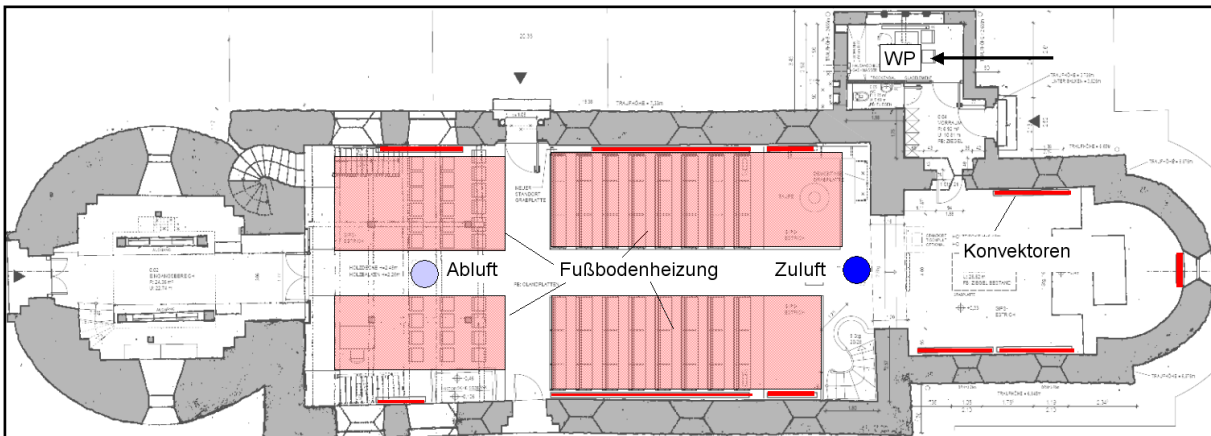


Abbildung 21: Fußbodenheizung, Konvektoren sowie Zu- und Abluft (RLT-Anlage Dachraum, Stand 21.02.2011)

Das Gebäude wird als geometrisches Modell im PC abgebildet und entsprechend detailliert. Eingesetzt wird das validierte Gebäudesimulationsprogramm BSim (Version 6), mit dem stündliche Daten für das Raumklima berechnet werden. Bauliche und technische Varianten sind so in ihrer Wirkung miteinander zu vergleichen.

Es wurden Klimadaten für die Region Lübeck/Ratekau generiert, die auf langjährigen gemessenen Werten basieren. Die stündlichen Klimadaten beinhalten u.a. die solare Einstrahlung, den Bewölkungsgrad, die Außenlufttemperatur, Windrichtung und -geschwindigkeit. Für die

Kirche Ratekau wird von zwei Veranstaltungen pro Wochen ausgegangen. Es wurden zwei Tage mit einer Belegung angenommen:

	Annahme Nutzung:	Personenbelegung:	Infiltration/Luftwechsel:
Betrieb:	mittwochs und sonntags: 9.00 bis 13.00 Uhr (9.00 bis 10.00 Uhr und 12.00 bis 13.00 Uhr 5 % Belegung)	Kirchenraum: 23 P., 1,6 kW Unter Empore: 13 P., 0,85 kW	0,2 1/h
kein Betrieb	-	-	0,1 1/h

Tabelle 3: Zonierung des Gebäudemodells

Der unkontrollierte Luftwechsel wird außerhalb der Betriebszeit insbesondere durch Fugen zwischen Orgelbereich zum Turm verursacht. Der Luftwechsel durch Infiltration soll im Rahmen der Sanierung verbessert werden. Weiterhin kommt es zu einem Luftaustausch durch geöffnete Türen vor und nach den Nutzungszeiten.

Die Geometrie und der Aufbau des Gebäudemodells basiert auf den Plänen und den Angaben des Büros Architektur und Stadtplanung, Ewers Dörnen + Partner GmbH vom 10.03.2010. Das Gebäude wird in verschiedene Zonen entsprechend Nutzung und Orientierung unterteilt.

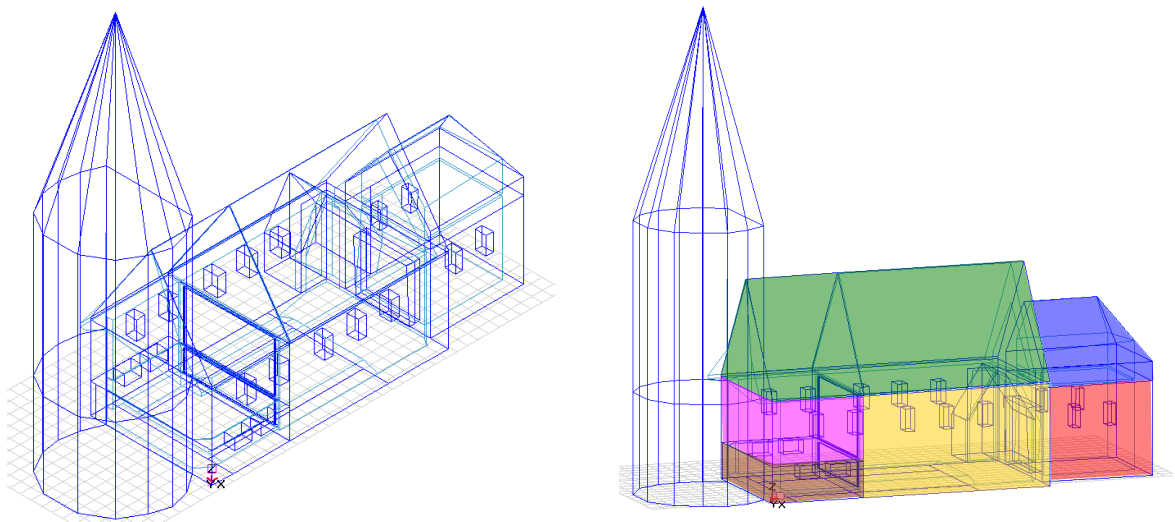


Abbildung 22: Simulationsmodell und Zonierung des Modells

Folgende Zonen werden bei der Berechnung detailliert untersucht und ausgewertet:

Nr.:	Zone:	Farbe:	Nettovolumen ca.:	Annahmen:
1	Kirchenraum	gelb	950 m ³	Beheizt, interne Lasten
2	Chorraum	rot	300 m ³	Beheizt
3	Empore	rosa	325 m ³	Beheizt
4	Unter Empore	braun	150 m ³	Beheizt, interne Lasten
5	Dach	grün	1.050 m ³	Nicht beheizt
6	Dach Chorraum	blau	180 m ³	Nicht beheizt

Tabelle 4: Zonierung des Gebäudemodells

Für die Grundbeheizung wurde in dem Modell nur die Fußbodentemperierung, sowie der Plattenheizkörper auf der Empore verwendet. Beim Aufheizvorgang werden zusätzlich die Konvektoren angesetzt.

	Konvektor/Plattenheizkörper	Fußbodenheizung
Aufheizvorgang	Kirchenraum: 3,6 kW Chorraum: 2,3 kW Empore: 4,6 kW Unter Empore: 1,9 kW	Kirchenraum: ca. 4,7 kW Chorraum: ca. 3,8 kW Empore: - Unter Empore: ca. 3,0 kW
Grundbeheizung	Kirchenraum: - Chorraum: - Empore: 2,6 kW Unter Empore: -	Kirchenraum: ca. 4,7 kW Chorraum: ca. 3,8 kW Empore: - Unter Empore: ca. 3,0 kW

Tabelle 5: Annahmen zu maximalen Leistungen in der Simulation (in Absprache mit IbEM)

Für die Konvektoren wird ein konvektiver Anteil von 80 % angesetzt. Für die Plattenheizkörper wird der konvektive Anteil auf 60 % gesetzt. Die Leistungen der Fußbodenheizung wurden den Ergebnissen der Simulation für den kältesten Tag des Klimadatensatzes entnommen (-11 °C).

Die Ergebnisse der Simulation werden nachfolgend ausgeführt. Die Grundbeheizung soll außerhalb der Nutzung eine Lufttemperatur von 8 °C sicherstellen. Hierfür soll vorrangig die Fußbodenheizung eingesetzt werden.

Aus Gründen des Denkmalschutzes ist die Größe der nutzbaren Flächen begrenzt und der Fußbodenbelag vorgegeben. Die Gangbereiche sind mit Ölandplatten belegt und nicht nutzbar. Es gibt zwei Varianten des Fußbodenaufbaus mit Fußbodenheizung:

- Holzfußboden: Bereich Sitzbänke ca. 48 m²
- Hochbrand-Gipsestrich: Bereiche Chorraum ca. 44 m², vorderem Kirchenraum und unter Empore ca. 52 m²

Ein Dielenbelag (2,5 cm Stärke) ist aufgrund der geringen Wärmeleitfähigkeit des Holzes ungünstig für eine Fußbodenheizung. In der Simulation wurde der Fußbodenaufbau in einer ersten Berechnung variiert. Nachfolgende Grafik zeigt den Verlauf der Lufttemperatur im Kirchenraum mit Fußbodenheizung und einem Holzbelag und einem Belag aus Ziegeln.

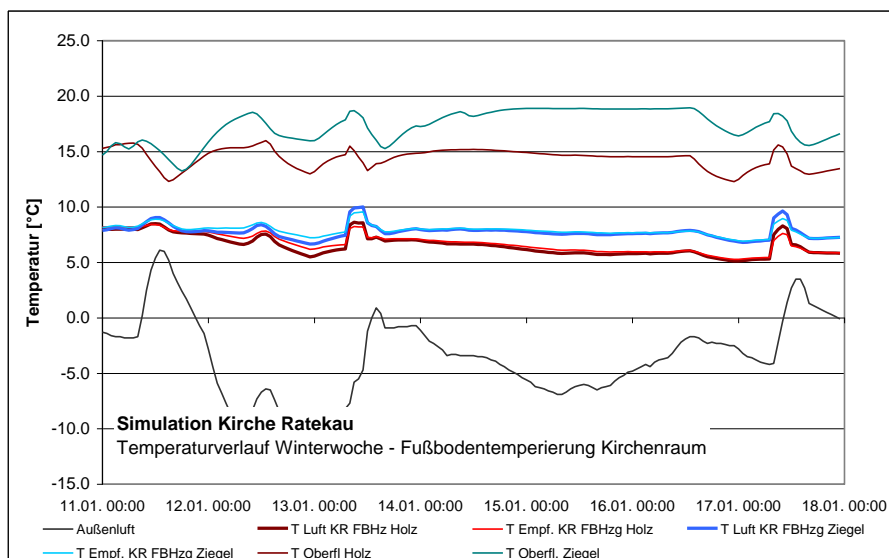


Abbildung 23: Temperaturverlauf Winterwoche. Vergleich Holz- und Ziegelboden

Durch den Einsatz einer Holzdielen kann die Raumlufttemperatur in Spitzen ca. 2 Kelvin niedriger ausfallen, als bei einer Fußbodenheizung mit Ziegelbelag. Zur Kompensation müsste die Vorlauftemperatur angehoben werden.

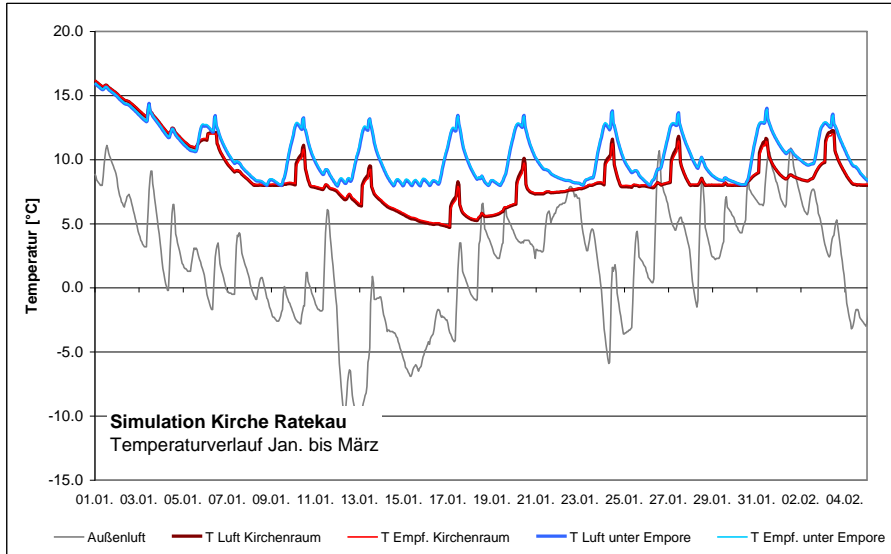


Abbildung 24: Temperaturverlauf Kirchenraum Winter. Grundbeheizung ohne Konvektoren.

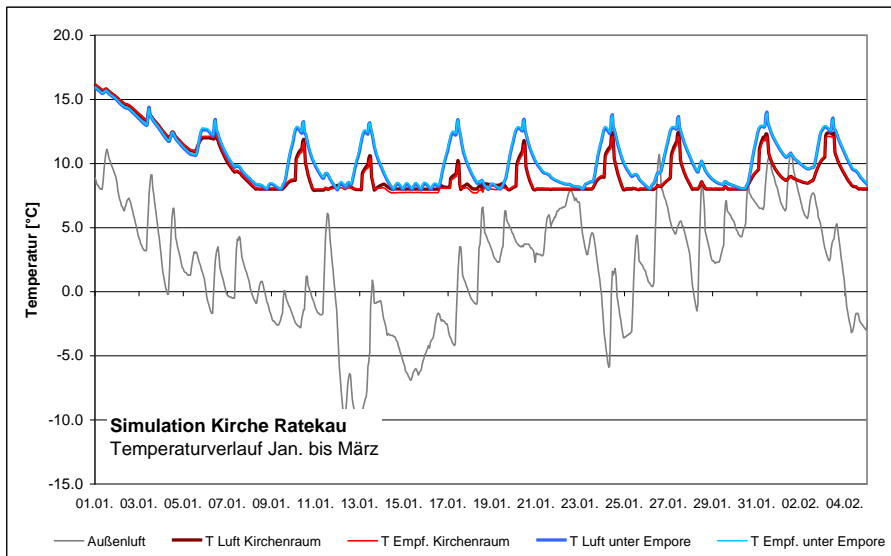


Abbildung 25: Temperaturverlauf Kirchenraum Winter. Grundbeheizung an kalten Tagen mit Konvektoren.

Grundsätzlich reicht die Fußbodenheizung für die Grundtemperierung auf 8 °C in der Regel aus. An sehr kalten Tagen reicht die Fußbodenheizung allein nicht aus, um im Kirchenraum die Grundtemperatur zu halten. Dann müssen die Konvektoren hinzugenommen werden, oder die Vorlauftemperatur der Fußbodenheizung angehoben werden. Für den späteren Betrieb ist eine Einregulierung der Regelung erforderlich. Aufgrund der hohen Gebäudemasse, ist das ganze System träge.

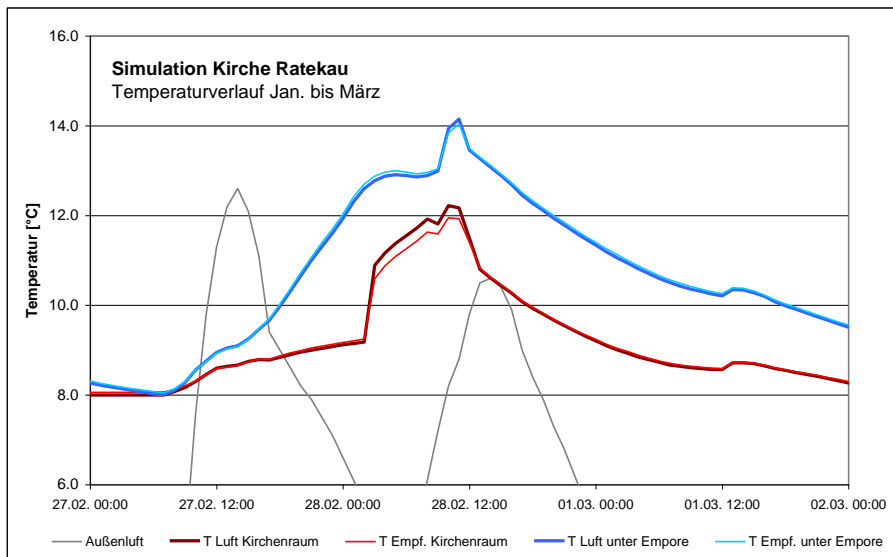


Abbildung 26: Temperaturverlauf an drei Tagen im Winter. Start Aufheizung Konvektoren 4 Uhr.

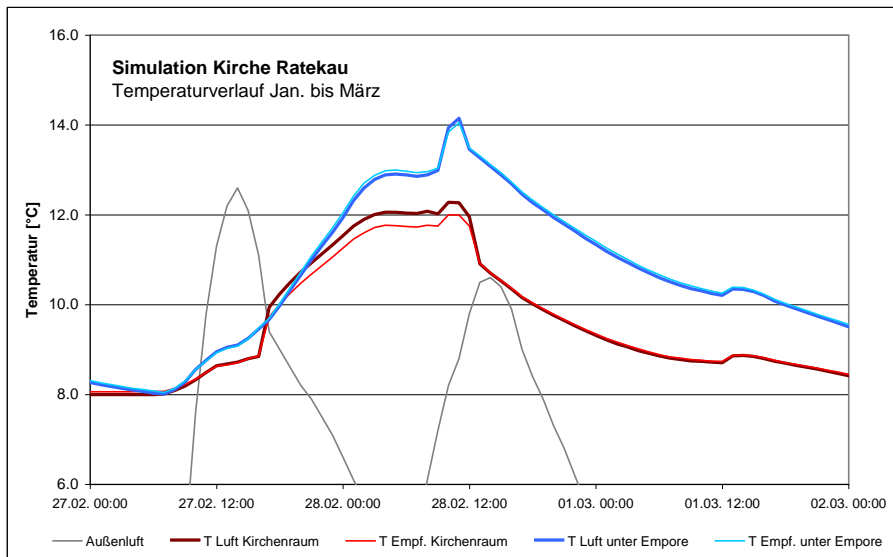


Abbildung 27: Temperaturverlauf an drei Tagen im Winter. Start Aufheizung Konvektoren 18 Uhr.

Nach Zuschaltung der Konvektoren steigt die Temperatur je nach Leistung entsprechend an. In obigem Bild beträgt der Anstieg ca. 1,6 Kelvin bei 3,6 kW Heizlast, im unteren Bild ca. 1,1 Kelvin bei 2,3 kW Heizlast. Die Regelstrategie für die Aufheizung sollte im laufenden Betrieb anpassbar sein und im Rahmen einer Einregulierung kontrolliert werden (Begrenzung auf 1 K/h, früherer Start des Aufheizbetriebs bei kalten Außentemperaturen, usw.).

Je nach Betrieb der Heizung stellen sich entsprechende Temperaturen ein. Nachfolgend ist für den Kirchenraum und für verschiedene Varianten die Verteilung der Raumlufttemperatur wiedergegeben. Es wurden drei Varianten der Regelung untersucht:

- Variante 1: Beginn Aufheizung/Zuschaltung Konvektor 4 Uhr morgens
- Variante 2: Beginn Aufheizung/Zuschaltung Konvektor 18 Uhr am Vortag
- Variante 3: Beginn Aufheizung/Zuschaltung Konvektor 4 Uhr morgens; an kalten Tagen gantztägig Einsatz Konvektor zur Unterstützung Grundtemperierung; Vorlauf Fußbodenheizung im Bereich Holzfußboden 45 °C

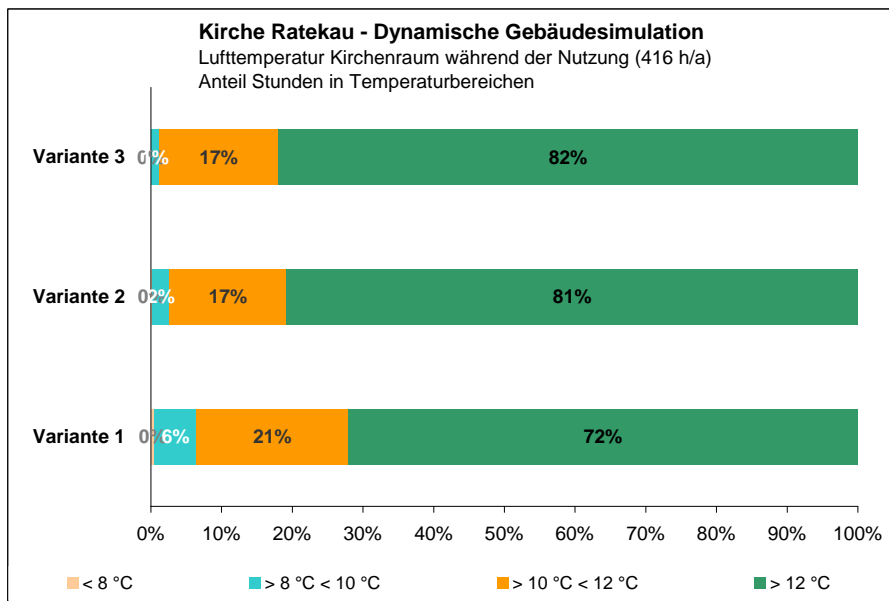


Abbildung 28: Anteile für Bereiche der Lufttemperatur für drei Varianten (hier Kirchenraum)

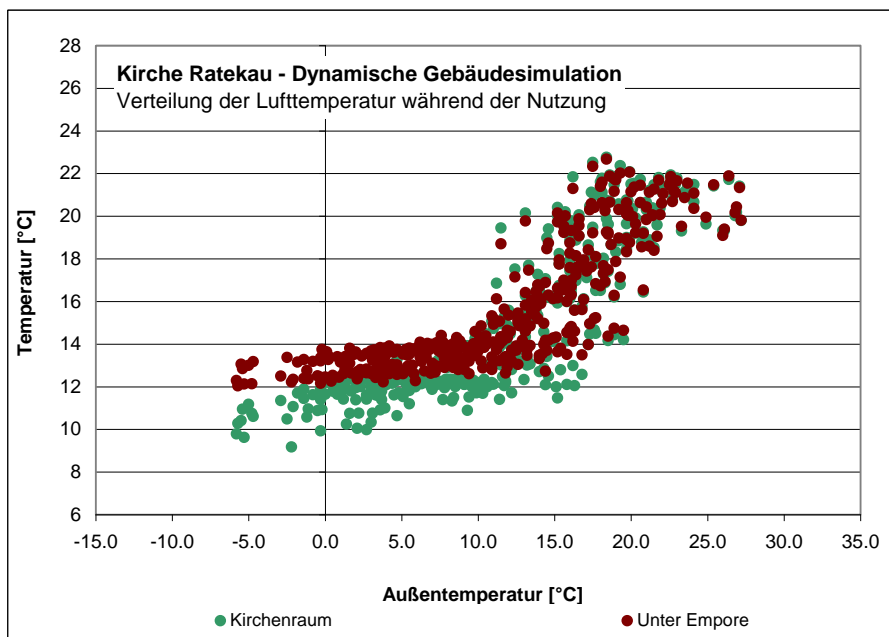


Abbildung 29: Temperaturverteilung für den Kirchenraum und unter der Empore - Variante 3

- Die Lufttemperatur im Kirchenraum erreicht in der Regel die aufgestellten Werte.
- Die Lufttemperatur im Bereich unterhalb der Empore erreicht die aufgestellten Werte.
- An sehr kalten Tagen wird die angestrebte Temperatur von 12 °C im Kirchenraum nicht ganz erreicht, dann liegt die Temperatur zwischen 10 °C und 12 °C.
- Je nach Art der Regelung liegen sehr wenige Stunden zwischen 8 °C und 12 °C

Für den Aufheizvorgang ist eine Einregulierung erforderlich und die Regelparameter sollten anpassbar sein.

Wenn eine strikte Einhaltung der 12 °C Temperaturgrenze gewünscht ist, so sind etwa 5 kW mehr Leistung notwendig. Das heißt, neben einer größeren Wärmepumpe sind z.B. auch Überflur- anstatt Unterflurkonvektoren einzusetzen. Eine Anhebung der konvektiven Wärmeleistung wird jedoch nicht empfohlen, da die Warmluft insbesondere die oberen Bereiche des

Luftraumes erwärmt und im Bereich der Nutzer kaum merkliche Verbesserungen für den thermischen Komfort bewirkt.

Für den Chorraum/die Empore ergibt sich folgender Temperaturverlauf

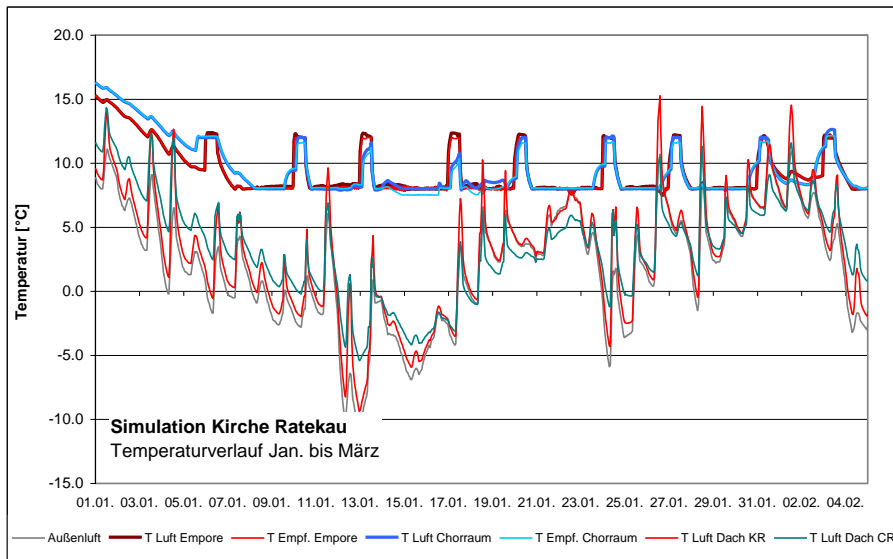


Abbildung 30: Temperaturverlauf Wintermonat

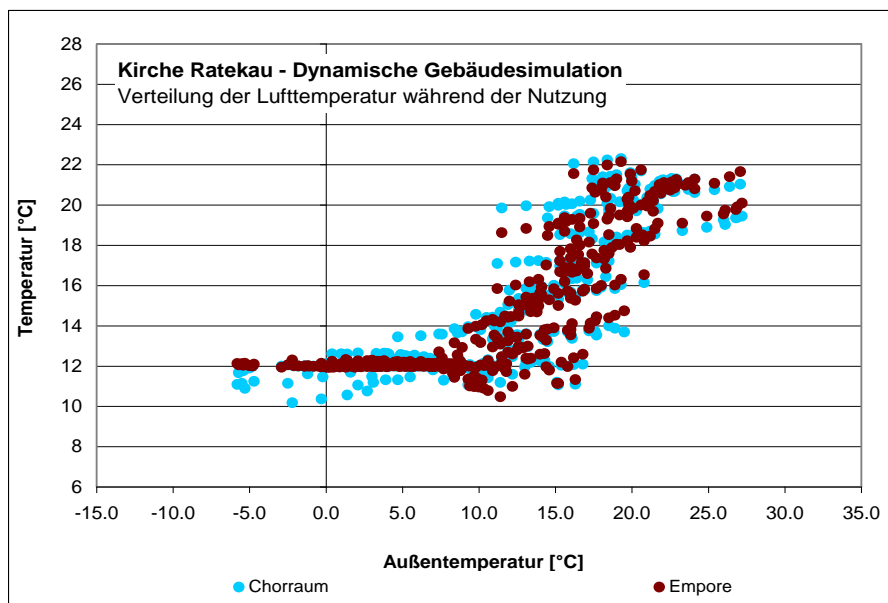


Abbildung 31: Temperaturverteilung Chorraum und Empore

Es gelten im Wesentlichen die Aussagen wie im Kirchenraum. Aus obiger Abbildung ist zu erkennen, dass auch bei Außentemperaturen größer 12 °C Innentemperaturen kleiner 12 °C vorliegen können. Dies ist durch die Trägheit der Gebäudemasse begründet und muss bei der Regelung berücksichtigt werden. (Anmerkung: Im Simulationsmodell liegt die Heizgrenze bei +12 °C.)

Mit Hilfe der Simulation wurde auch der Energieverbrauch für die Heizwärme berechnet (siehe folgende Abbildung). Die Simulation beinhaltet keine Anlagentechnik, Verluste wurden pauschal aufaddiert. Die im Betrieb auftretende sommerliche Speicherbeladung war hier ebenso nicht enthalten.

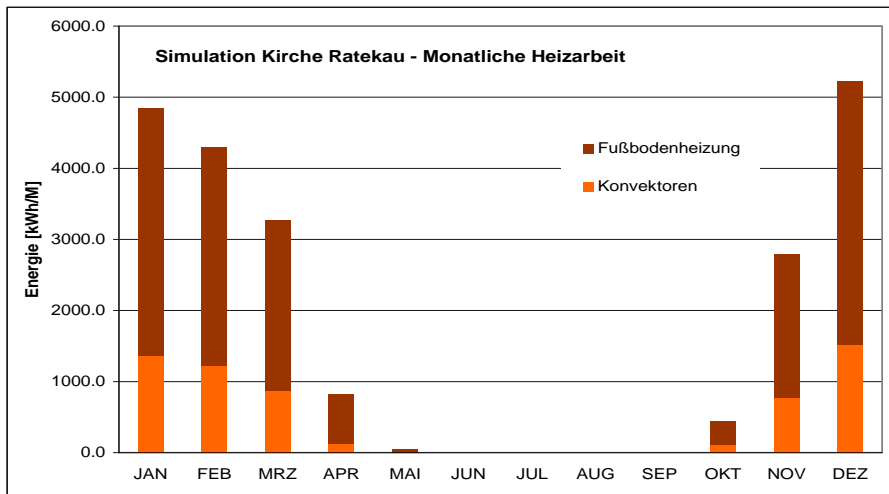


Abbildung 32: Monatliche Heizarbeit (inkl. pauschal 30 % Verluste). Ohne Beheizung im Sommer

In der Summe ergibt sich eine Jahresheizarbeit von knapp 22 MWh. Falls die Raumtemperatur über 12 °C angehoben wird, steigt der Verbrauch entsprechend. Die erforderliche Heizleistung liegt bei ca. 24 bis 25 kW.

Die relative Feuchte der Kirchenraumluft wird u.a. durch die folgenden Parameter bestimmt:

- Raumlufttemperatur (Beheizung)
- Personenbelegung
- Luftwechsel/Infiltration mit der Außenluft

Eine Beheizung kann die relative Feuchte der Raumluft reduzieren. Der absolute Feuchtegehalt wird dadurch nicht verändert und ist von der Belegung (Atmung, nasse Kleidung) und dem Luftwechsel mit der Außenluft abhängig. Eine aktive Be- oder Entfeuchtung ist nicht vorgesehen, so dass Spitzenwerte nicht ausgeschlossen werden können.

In der Simulation wurde die relative Raumluftfeuchte für nachfolgende Varianten berechnet:

Variante:	Belegung:	Infiltration:
Variante 1 (V1 68P 4h)	Mi.+So., 9.00 bis 13.00 Uhr: 68 Personen	immer 0,2 1/h
Variante 2 (V1 68P 2h)	Mi. + So., 10.00 bis 12.00 Uhr: 68 Personen Mi. + So., 9 bis 10 und 12 bis 13 Uhr: 3 Personen	immer 0,2 1/h
Variante 3 (V1 34P 2h)	Mi. + So., 9.00 bis 12.00 Uhr: 34 Personen Mi. + So., 9 bis 10 und 12 bis 13 Uhr: 3 Personen	immer 0,2 1/h
Variante 4 (V1 34P Inf)	Mi. + So., 9.00 bis 12.00 Uhr: 34 Personen Mi. + So., 9 bis 10 und 12 bis 13 Uhr: 3 Personen	außerhalb der Nutzung 0,1 1/h, während der Nutzung 0,2 1/h
Variante 5 (V1 0P Inf)	0 Personen	außerhalb der Nutzung 0,1 1/h, während der Nutzung 0,2 1/h

Tabelle 6: Annahmen zur Belegung und Infiltration der simulierten Varianten

Als Anforderung für die relative Feuchte wurde ein Bereich von 55 % bis 75 % vorgegeben. Nachfolgende Grafik zeigt anteilig die Stunden im Jahr, in denen die Vorgabe eingehalten wird und die Über- bzw. Unterschreitungshäufigkeit.

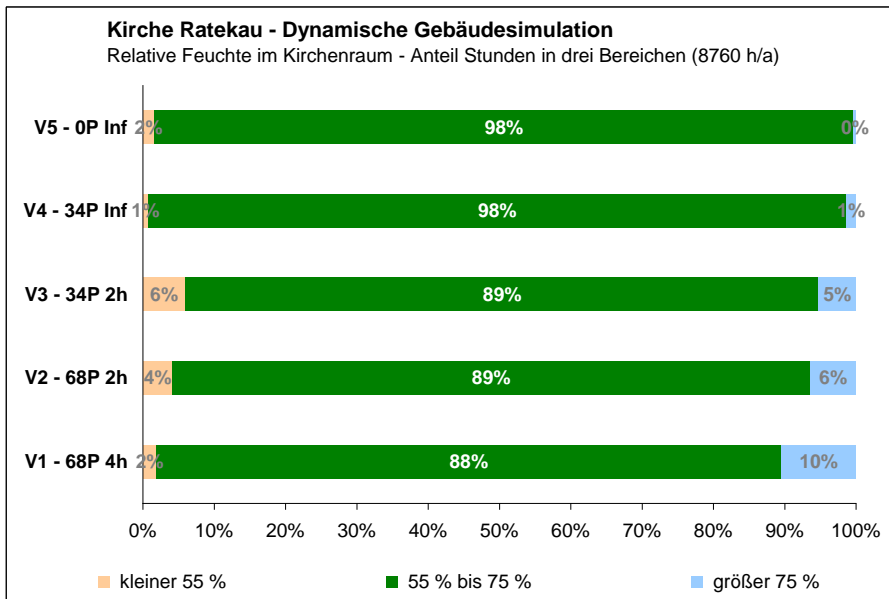


Abbildung 33: Relative Feuchte im Kirchenraum

Mit abnehmender Belegung (Feuchtelasten) reduziert sich die Stundenanzahl, in denen die relative Feuchte über 75 % liegt. Gleichzeitig steigt die Stundenzahl, in denen die relative Feuchte unter 55 % liegt. Mit Reduzierung der Infiltration steigt der Stundenanteil im gewünschten Bereich.

Der Feuchteeintrag durch die Belegung ist wenig zu beeinflussen. Für die Infiltration und die Beheizung sollten folgende Punkte beachtet werden:

- Das Herstellen einer luftdichten Ebene insbesondere an Schnittstellen zum Kirchturm im Eingang und Orgelbereich (Gebläseraum) und Überprüfung mit Blower-Door Messung wird empfohlen.
- Eine hohe relative Feuchte kann durch die Beheizung der Raumluft reduziert werden. Der Einsatz einer Heizungsregelung nach der relativen Feuchte sollte geprüft werden.
- Der Einsatz der Lüftungsanlage ist zurzeit nicht vorgesehen. Wird die Anlage nachgerüstet, wird eine Regelung nach der absoluten Feuchte dringend empfohlen.
- Zur Überprüfung der relativen Feuchte der Raumluft sollte ein Hygrometer mit Anzeige in der Kirche installiert werden. So kann zumindest im Winter durch gezielte Lüftung über die Fenster entfeuchtet werden.

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen den beispielhaften Verlauf der relativen Feuchte für zwei Varianten (hohe und niedrige Belegung) im Kirchenraum.

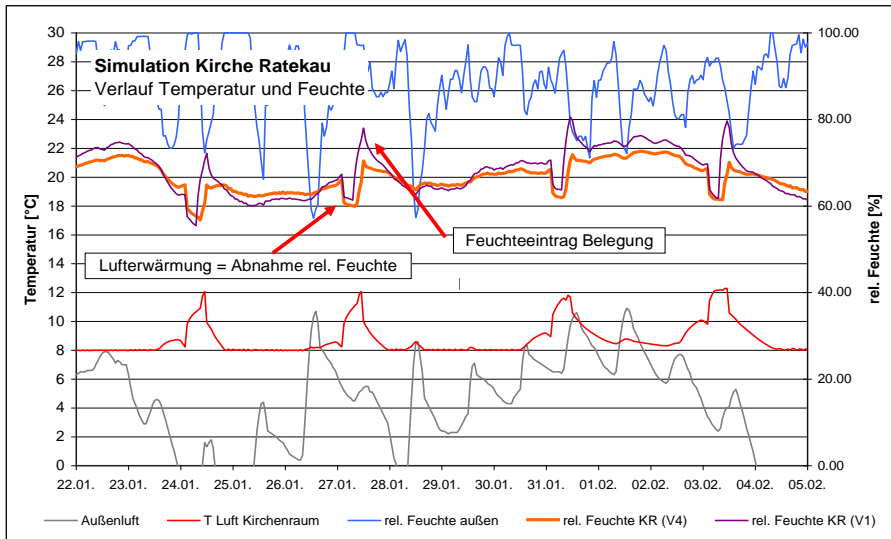


Abbildung 34: Verlauf von relativer Feuchte und Temperatur für zwei Wochen im Winter

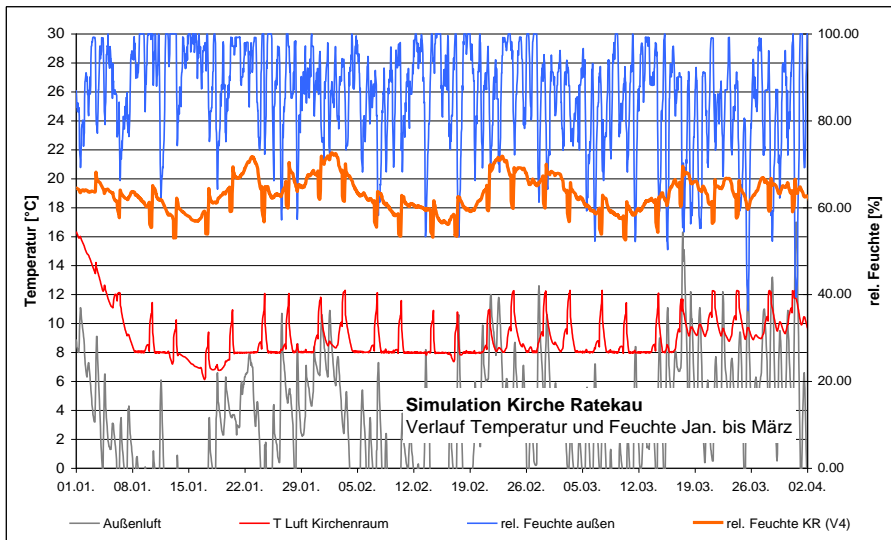


Abbildung 35: Verlauf rel. Feuchte und Temperatur im Kirchenraum, Januar bis März, Variante 4

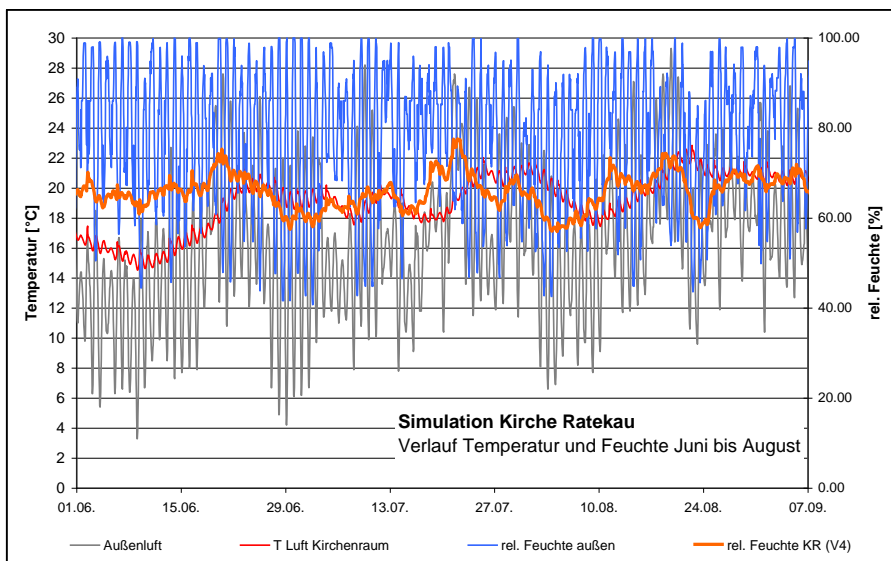


Abbildung 36: Verlauf rel. Feuchte und Temperatur im Kirchenraum, Juni bis August, Variante 4

Die relative Feuchte liegt im Winter und im Sommer etwa in einem gleichen Bereich. Im Winter ist das zwischen 53 % und 72 %, im Sommer zwischen 58 % bis 77 %. Die absolute Feuchte ist im Sommer bei gleicher relativer Feuchte entsprechend höher.

Eine aktive Nutzung solarer Energie über Kollektoren ist aus Gründen des Denkmalschutzes nicht möglich. Aufgrund der großen Südfläche des Daches und der fehlenden Dämmung ist im Dachraum mit relativ hohen Temperaturen im Sommer zu rechnen. Im Rahmen des technischen Vorkonzeptes stellte sich die Frage, ob die gegenüber dem Kirchenraum deutlich höheren Temperaturen über die Lüftungsanlage nutzbar sind. Der Punkt wurde mit Hilfe der Simulation geprüft. Ein positiver Effekt konnte nicht nachgewiesen werden.

In dem Modell wurde ein Luftwechsel von 500 m³/h vom Dachraum in den Kirchenraum abgebildet. Der Luftaustausch wird aktiviert, wenn eine Temperaturdifferenz zwischen Dachraum und Kirchenraum von 5 Kelvin vorliegt.

Der Ertrag aus dem Dachraum ist gering. Zusätzlich ist mit weiteren Verlusten über den Wärmetauscher zu rechnen. Die Einbringung der warmen Luft in den Kirchenraum ist auf einfache Art nicht sinnvoll lösbar. Die Erwärmung der Lufttemperatur um max. 2 Kelvin führt zu einem Anstieg der Strahlungstemperatur der Oberflächen von unter 0,3 Kelvin.

Die Erwärmung der Traufe wird durch die Abkühlung des Dachraumes gemindert. Über die Lüftungsanlage ist bei Regelung nach absoluter Feuchte eine Absenkung der Raumluftfeuchte im Sommer möglich. Alternativ kann eine Entfeuchtung über eine natürliche Lüftung über motorisch angetriebene Fensterflügel und entsprechender Regelung erfolgen.

Zusammenfassung

Die Messdaten aus den Jahren 2004/2005 zeigen, dass bisher relativ hohe Schwankungen der Raumtemperatur und der relativen Feuchte zu verzeichnen sind. Im Sommer sind relative Feuchten von ca. 40 % bis etwa 85 % feststellbar. In den Wintermonaten sind ca. 35 % bis 90 % relative Feuchte gemessen worden. Diese Werte liegen außerhalb des zulässigen Bereiches in Hinblick auf Kondensatbildung und Schutz der Orgel.

Die Simulation ergab nachfolgende Ergebnisse:

- Die vorgesehenen Flächen für die Fußbodentemperierung reichen alleine nicht aus, um die Beheizung in den geforderten Grenzen sicherzustellen.
- Die geplante Leistung durch Fußbodentemperierung und Konvektoren reicht aus, um die Grundbeheizung (8 °C) und die Aufheizung auf 12 °C (Luft) in der Regel sicherzustellen. An sehr kalten Tagen (< -5 °C) können Temperaturen unter 12 °C auftreten.
- Die Differenz zwischen Strahlungstemperatur der Oberflächen und der Lufttemperatur steigt mit zunehmendem konvektivem Anteil.
- Die Nutzung der Wärme des durch Sonneneinstrahlung aufgeheizten Dachraumes (max. 36 °C) in der Übergangszeit und im Sommer hat einen relativ geringen Effekt. Die Oberflächentemperatur in der Kirche steigt max. um 0,3 Kelvin.
- Unter den angenommenen Randbedingungen beträgt der Wärmeverbrauch ca. 22 MWh/a. (Hinweis: ohne sommerliche Beheizung)
- Die Heizleistung beträgt für Kirchenraum, Empore und Chorraum knapp 25 kW. Hier wurden ebenfalls Verluste berücksichtigt.

Damit können folgende Empfehlungen gegeben werden:

- Grundsätzlich ist die Strahlungsheizung (Fußboden) der konvektiven Beheizung der Vorzug zu geben. Grund ist die Trägheit des Systems (1 K/h wird einfacher eingehalten) sowie die deutlich geringere Schichtung der Lufttemperatur.
- Da die geplanten Fußbodenflächen alleine nicht ausreichen, ist eine Erweiterung der Flächen für die Fußbodentemperierung wünschenswert. Entscheidung/Planungsstand: Im Chorraum wird die Fläche erhöht.
- Die Dielen im Bereich der Bänke stellen einen Widerstand für den Wärmestrom dar. Die Heizleistung kann durch die Anhebung der Vorlauftemperatur vergrößert werden. Allerdings sinkt dadurch die Effizienz der Wärmepumpe. Wünschenswert ist ein klassischer Aufbau der Fußbodentemperierung mit Estrich bzw. Ziegelbelag. Da dieser Aufbau hier nicht möglich ist, können Wärmeleitbleche die Leistung etwas erhöhen, so dass die Vorlauftemperatur etwas geringer ausfallen kann.
- Falls die Fläche der Fußbodenheizung nicht deutlich vergrößert werden kann, sollten die zusätzlichen Heizflächen einen höheren radiativen Anteil aufweisen. Entscheidung/Planungsstand: Dieser Punkt wird wegen Erhalt der Ölandplatten in den Gangbereichen nicht umgesetzt. Geplant sind zum Teil Unterflurkonvektoren.
- Der Energieeintrag vom Dachraum in den Kirchenraum über eine Lüftungsanlage wird als relativ gering eingeschätzt. Die eingebrachte Warmluft wird vorrangig den oberen Bereich des Kirchenraumes erwärmen.
- Sinnvoll erscheint der Einsatz einer Lüftungsanlage zur Begrenzung der relativen Feuchte im Sommer. Hierzu ist eine Regelung in Abhängigkeit zur absoluten Feuchte erforderlich. Alternativ kann diese Funktion über zwei motorisch angetriebene Fensterflügel und eine geregelte natürliche Lüftung erfolgen. Entscheidung/Planungsstand: Eine geregelte natürliche Lüftung ist hier nicht umsetzbar. Der Einsatz einer Lüftungsanlage wird derzeit nicht erwogen. Nach Auswertung der Messdaten kann ggf. die Nachrüstung einer Lüftungsanlage erfolgen.
- Falls später eine Lüftungsanlage nachgerüstet werden soll, wird von einem Heizregister für die Lüftungsanlage abgeraten. Die Rückwärmzahl sollte mindestens 80 % betragen, und es sollte auf effiziente Antriebe geachtet werden (max. 250 W elektrischer Gesamtantriebsleistung).
- Die Reduzierung der Infiltration ist zur Minimierung von Wärmeverlusten und des sommerlichen Feuchteintrages von großer Bedeutung (Dichtheit zum Kirchturm).
- Die Raumtemperatur von 12 °C wird an sehr kalten Tagen zum Teil geringfügig unterschritten. Eine Anhebung der konvektiven Wärmeleistung wird jedoch nicht empfohlen, da die Warmluft insbesondere die oberen Bereiche des Luftraumes erwärmt und im Bereich der Nutzer nicht zu einer weiteren Verbesserung des thermischen Komforts führt.
- Konvektoren vermindern den Kaltluftabfall. Eine Erwärmung der kalten Wände – die Ursache des Kaltluftabfalls – erfolgt nur geringfügig durch an der Wand vorbei streichende Luft. Eine detaillierte Untersuchung durch eine Strömungssimulation wurde im Rahmen des Projektes nicht durchgeführt.

4.1.5. Monitoring in Ratekau

Autor: Sören Vollert

Die Sanierung der Kirche in Ratekau wurde Ende 2011 abgeschlossen und das Gebäude wird wieder genutzt. Seitdem wird das Konzept zur Beheizung der Kirche durch ein Monitoring geprüft. Des Weiteren dienen die Erkenntnisse zur Einregulierung der Regelung.

Die Kirche wird über eine Sole Wasser Wärmepumpe mit Wärme versorgt. Die Wärmeabgabe erfolgt über eine Fußbodenheizung, Konvektoren und Plattenheizkörper. Darüber hinaus sind auf den Sitzbänken elektrische Heizkissen auf Betreiben der Kirchengemeinde Ratekau montiert worden.

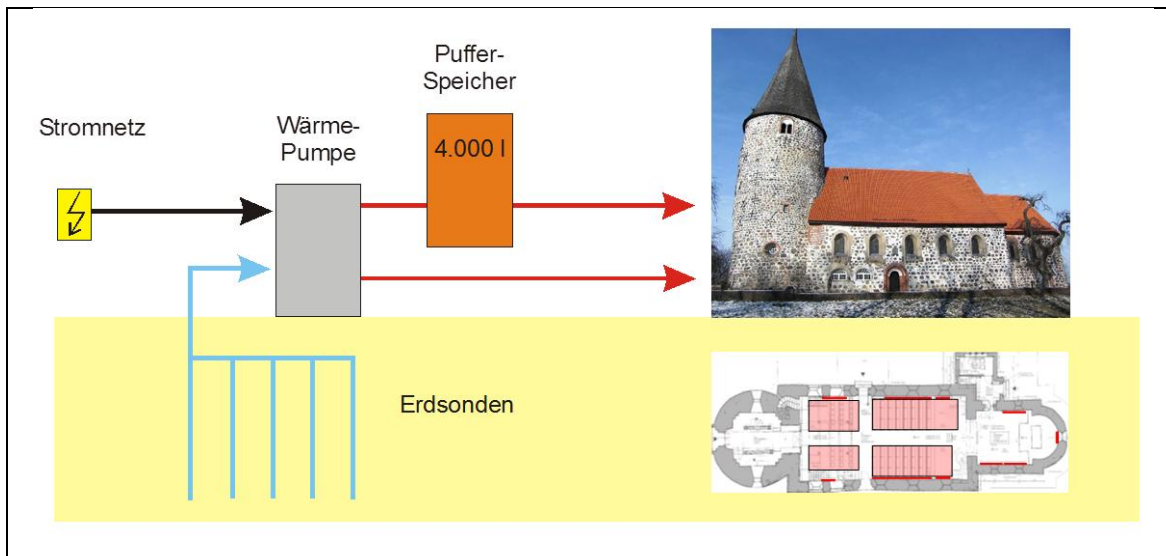


Abbildung 37: Schema Energiekonzept

Nach Umsetzung der Sanierung wird eine Erfolgskontrolle im Betrieb durchgeführt. Wichtige Ziele sind:

- zufriedenstellende thermische Behaglichkeit für die Besucher,
- Vermeidung von Bauschäden (Sommer und Winter),
- niedrige Energiekosten, minimale Umweltbelastung.

Der Betrieb wird durch kontinuierliche Messungen des Raumklimas über Datenlogger und der Energieverbräuche begleitet. Dazu kommen begleitende Messungen wie die Messung der Luftdichtheit (Blower-Door) und Aufnahme der Oberflächentemperaturen der Gebäudehülle (Thermografie).

In der Kirche sind 11 Datenlogger (easylog) fest sowie vier Datenlogger (Testo) temporär installiert, die die Raumlufttemperatur und die relative Feuchte mitschreiben (Installation Datenlogger Anfang November 2011).

Des Weiteren werden folgende Energiemengen erfasst und notiert:

- Wärmemenge Heizkreis Niedertemperatur, Beladung durch Wärmepumpe
- Wärmemenge Beladung Pufferspeicher durch Wärmepumpe (Heißgasauskopplung)
- Wärmemenge Heizkreis Hochtemperatur, Beladung durch Pufferspeicher
- Strommenge Nieder- und Hochtarif Wärmepumpe
- Strommenge Gesamtverbrauch
- Strommenge beheizte Sitzkissen

Die Datenlogger sind wie folgt verteilt:

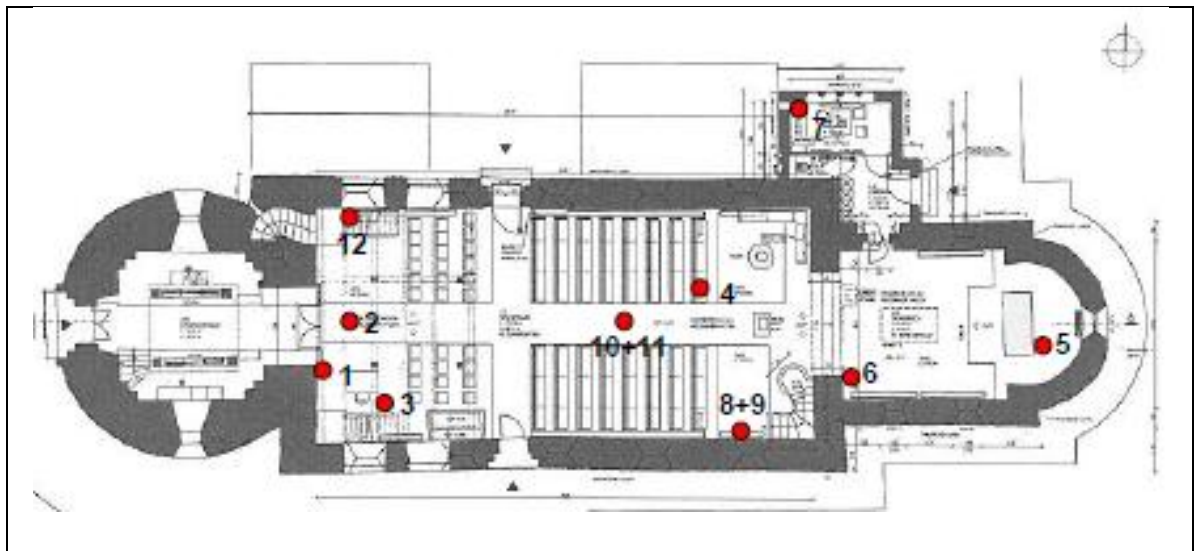


Abbildung 38: Verteilung Datenlogger easylog

Zusätzlich zu den oben angegebenen Datenloggern wurden zwei Datenlogger im Turm, ein Datenlogger auf dem Dachboden und ein Datenlogger unter der Kanzel installiert. Die Datenlogger wurden vom Evangelisch-Lutherischen Kirchenkreis Ostholstein Anfang November 2011 installiert und im April und September 2012, sowie im Februar 2013 ausgelesen. Für den Zeitraum 2012 stehen somit ausreichend Daten zur Verfügung.

Zunächst soll der grundsätzliche Verlauf von Temperatur und relativer Feuchte über das Jahr 2012 dargestellt werden.

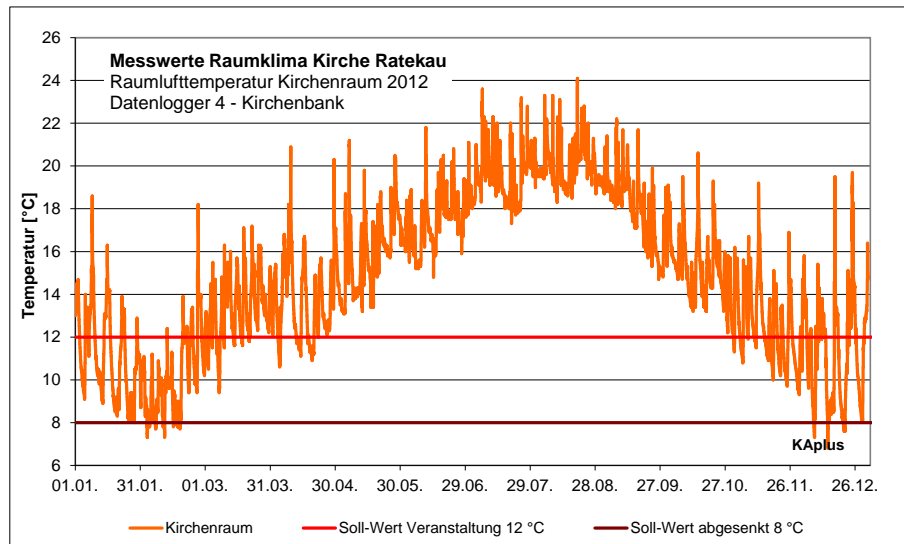


Abbildung 39: Verlauf Raumlufttemperatur, Datenlogger 4 / Sitzbank Kirchenraum

Die Raumlufttemperatur im Kirchenraum Bereich Sitzbank verläuft entsprechend dem Außenklima und liegt in der Heizperiode weitestgehend in dem gewünschten Temperaturband von 8 °C bis 12 °C. Anfang Februar 2012 (bis zu -14 °C Außentemperatur) unterschreitet die Raumlufttemperatur punktuell die 8 °C Grundtemperatur und die 12 °C im Veranstaltungsfall werden nicht erreicht. Hier lag allerdings teilweise eine Fehlfunktion des Heizsystems vor, bzw. das gesamte System befand sich noch in der Einregulierung.

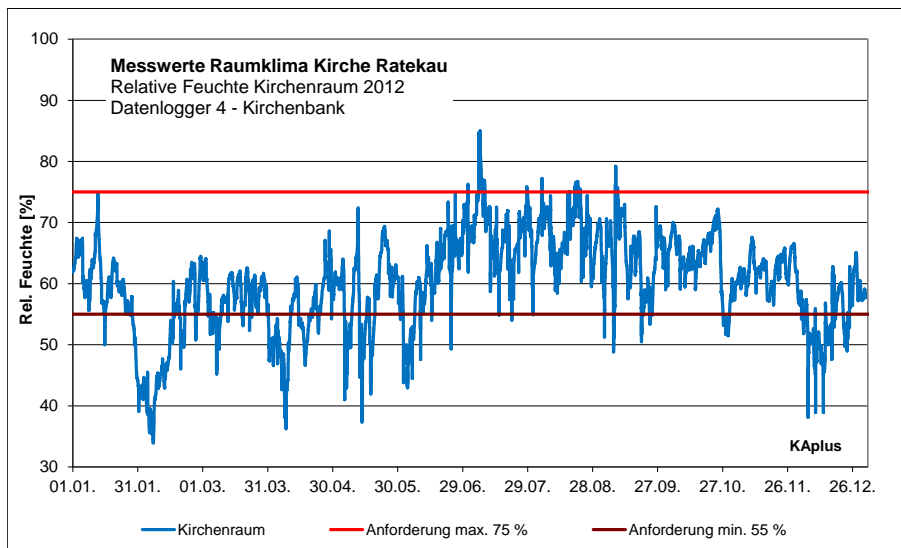


Abbildung 40: Verlauf relative Raumluftfeuchte, Datenlogger 4 / Sitzbank Kirchenraum

Die relative Raumluftfeuchte liegt mehrfach deutlich unter den gewünschten 55 % (Minimalwert 34 % relative Feuchte). Außerhalb der Heizzeit liegt die Raumlufttemperatur zu Zeiten mit geringer relativer Feuchte über dem Sollwert. Durch eine Absenkung der Raumlufttemperatur in der Kirche kann ggf. die relative Feuchte zu diesen Zeiten angehoben werden. Hier erfolgt eine Anpassung der Regelung.

Die sehr niedrigen Werte für die relative Feuchte Anfang Februar fallen zusammen mit einer sehr geringen absoluten Feuchte der Außenluft (unter 2 g/m^3) und einer eher geringen Belegung in der Kirche (wenig Feuchtelasten). Es ist zu vermuten, dass eine bessere Gebäudedichtheit bzw. ein reduzierter Außenluftwechsel aufgrund von Speichereffekten zu höheren Werten führt. Die Dichtheit soll in einigen Punkten nachgebessert werden.

Die aktuellen Messwerte im Januar 2013 zeigen, dass die relative Feuchte weniger stark absinkt. Es ist zu vermuten, dass die jetzt verschlossene Tür vom Orgelraum zum Turm die Infiltration stark begrenzt hat. Damit wird belegt, dass eine Minderung der unkontrollierten Infiltration das Problem der zu trockenen Luft maßgeblich löst.

In dem beheizten Bereich der Kirche sind 11 Datenlogger an verschiedenen Orten installiert. Nachfolgend werden die lokalen Temperaturunterschiede während der Heizzeit dargestellt.

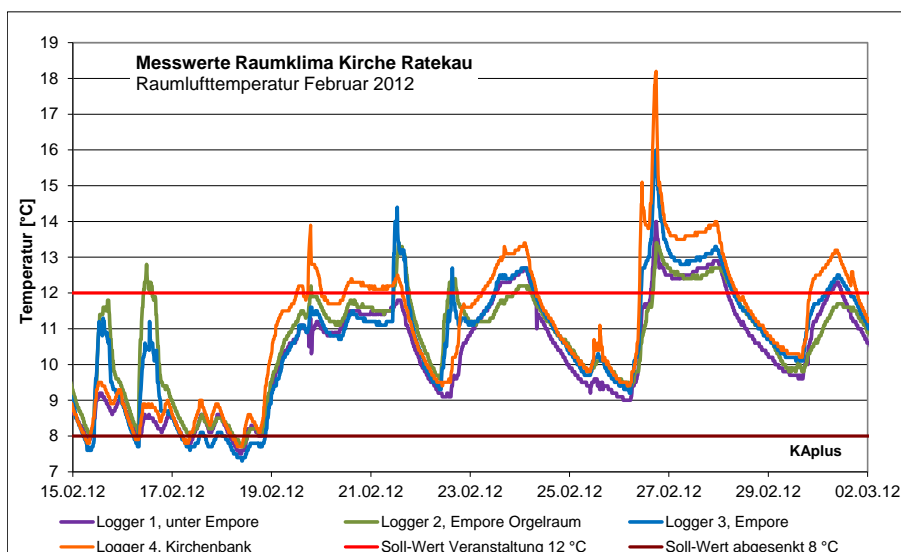


Abbildung 41: Verlauf der Raumlufttemperatur Ende Februar 2012, Logger 1-4

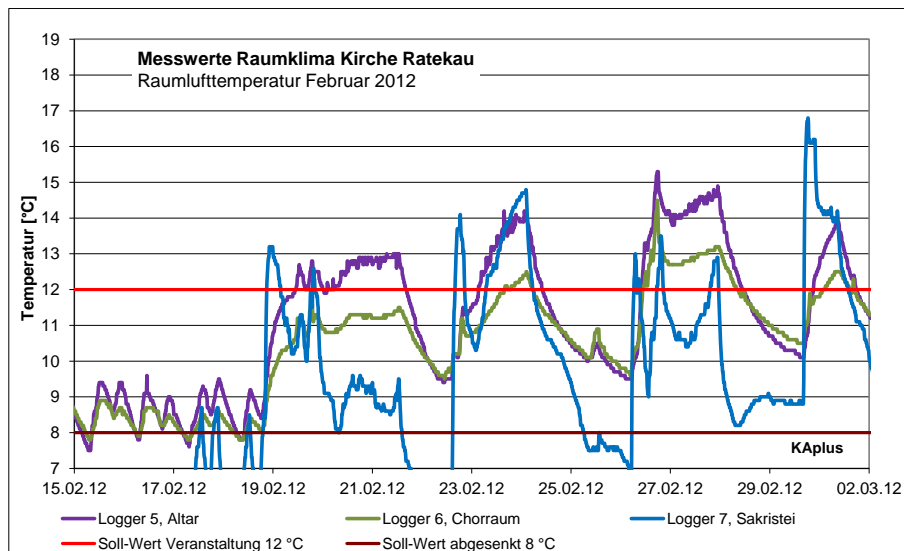


Abbildung 42: Verlauf der Raumlufttemperatur Ende Februar 2012, Logger 5-7

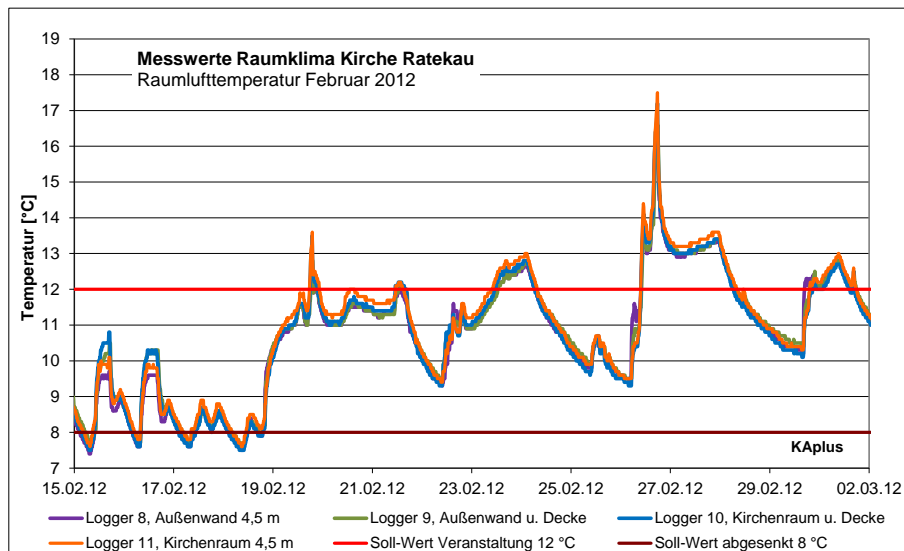


Abbildung 43: Verlauf der Raumlufttemperatur Ende Februar 2012, Logger 8-11

Die Temperaturen im Kirchenraum sind nahezu gleich und liegen nicht mehr als ca. 1 Kelvin auseinander. Ausnahme sind Zeiten mit hoher Personenbelegung (26.02.2012). Im Februar ist an vier Tagen der Einsatz der Konvektoren auf der Empore erkennbar. Ohne Betrieb und Nutzung gleichen sich die Werte wieder an und liegen maximal 0,5 Kelvin auseinander (Abklingkurve).

Der absolute Wärmeverbrauch für 2012 beträgt 42,0 MWh.

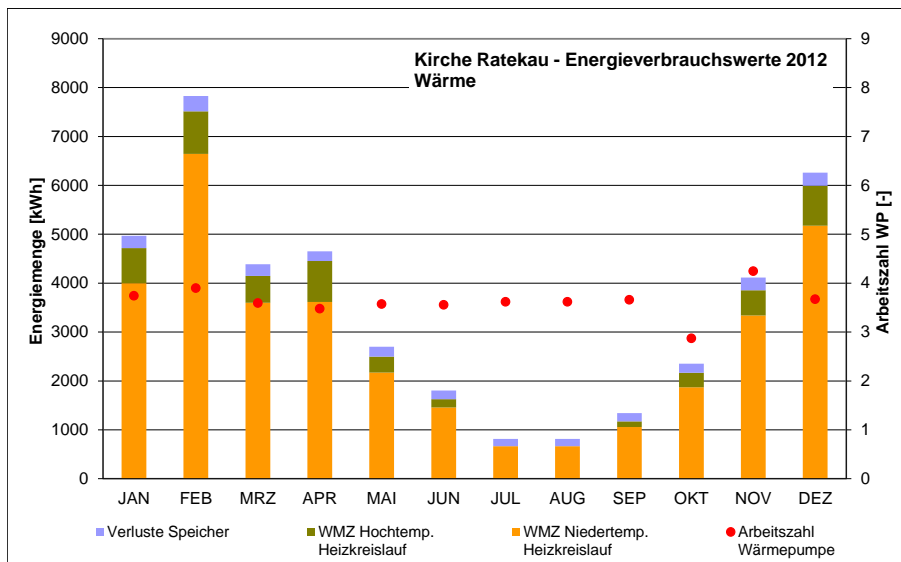


Abbildung 44: Monatliche Verbrauchsdaten Wärme 2012
(Werte WMZ; Werte wurden teilweise auf Monatswerte umgerechnet; nicht witterungsbereinigt)

Der absolute Stromverbrauch der WP beträgt für 2012 ca. 11,5 MWh.

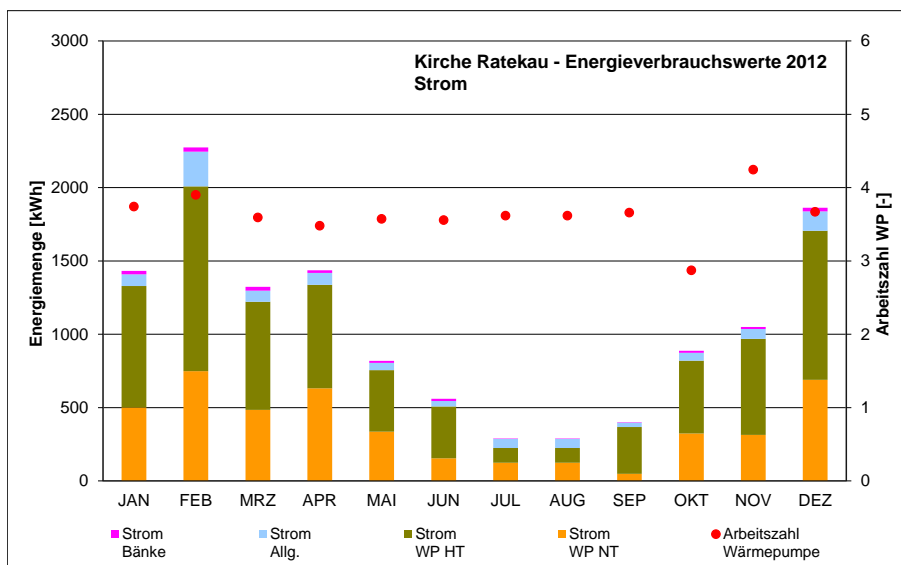


Abbildung 45: Verbrauchsdaten Strom
(Ablesewerte umgerechnet auf Monatswerte)

Die Arbeitszahl der Wärmepumpe liegt im Mittel bei 3,6.

Die CO₂-Abminderung beträgt derzeit 42 %. (Annahme: Heizöl 302 g/kWh, Nutzung der Geothermie 633 g/kWh / 3,6= 176 g/kWh, Ansatz CO₂-Emissionfaktoren GEMIS 4.5)

Zusammenfassend ergaben sich aus dem Monitoring folgende Ergebnisse:

Erfahrung Raumkomfort und Betrieb Anlagentechnik

- Die Rückmeldungen zum Raumklima sind weitgehend positiv. Vereinzelt werden Beschwerden wegen Zugluft geäußert. Problematisch sind hier die Fenster und der Turmaufgang. Die Temperaturverteilung ist wesentlich gleichmäßiger geworden.

- Im sehr kalten Frühjahr 2012 waren teilweise Heizflächen nicht in Betrieb und die Regelung war noch nicht richtig eingestellt.
- Ab Ende März 2012 sind keine Daten vom Regler verfügbar. Der Regler wurde Ende Juni 2012 ausgetauscht, da ein Fehler auf der Leiterplatine vorlag.
- Die elektrische Sitzkissenheizung wird genutzt. Der Stromverbrauch ist im Verhältnis zum Gesamtverbrauch gering.
- Die Tür zum Orgelraum/Tret-Blasebalg vom Turm wurde mehrfach offen stehend vorgefunden. Über diesen Weg kann es zu einem hohen Luftwechsel kommen, der im Winter zu sehr trockener Raumluft führt.

Messwerte Raumklima

- Die Raumlufttemperatur liegt während der Heizperiode zum größten Teil in dem gewünschten Band von 8 °C bis 12 °C. Teilweise liegen die Werte eher etwas über den gewünschten Zielwerten.
- Anfang Februar 2012 (bis zu -14 °C Außentemperatur) unterschreitet die Raumlufttemperatur punktuell die 8 °C Grundtemperatur und die 12 °C im Veranstaltungsfall (zum Teil Fehlfunktion Heizsystem).
- Im Winter 2012/2013 äußert die Kirchengemeinde den Wunsch, die Raumtemperatur zu bestimmten Anlässen auf 14 °C zu erhöhen. Bei sehr kalten Außentemperaturen mit starken Ostwinden ist diese Raumtemperatur nicht erreichbar. Die Heizleistung wurde für 12 °C dimensioniert. Aufgrund der relativ hohen Infiltration wird der Zielwert von 12 °C bei starkem Windeinfluss teilweise leicht verfehlt.
- Die relative Raumluftfeuchte liegt mehrfach deutlich unter den gewünschten 55 % (Minimalwert 34 % relative Feuchte). Allerdings beträgt die absolute Feuchte der Außenluft zu diesem Zeitpunkt unter 2 g/m³.

Energieverbrauch und Arbeitszahl Wärmepumpe

- Der Energieverbrauch für Wärme beträgt für 2012 absolut 42,0 MWh.
- Der Energieverbrauch Strom beträgt für 2012 absolut 12,6 MWh.
- Die Arbeitszahl der Wärmepumpe liegt 2012 im Mittel bei etwa 3,6. Der absolute Stromverbrauch der Wärmepumpe beträgt 11,5 MWh.
- Der Energieverbrauch bewegt sich grob im Bereich der Jahre zuvor. Es ist allerdings zu erwarten, dass sich eine Absenkung des Verbrauches nach Beendigung der Einregulierung um 5 bis 8 MWh/a einstellen wird.
- Die CO₂-Abminderung beträgt derzeit 42 %.

Maßnahmen Ende 2012

- Anfang Dezember erfolgte eine Anpassung der Regelung. Der Sollwert der maximalen relativen Feuchte beträgt jetzt 70 %. Dadurch wird die Laufzeit der Wärmepumpe reduziert.
- Auf die geringe relative Feuchte soll mit einer Absenkung der Raumlufttemperatur reagiert werden. Diese Maßnahme wurde bisher nicht umgesetzt, da insbesondere eine Absenkung unter 8 °C die Erreichung von 12 °C im Veranstaltungsfall zusätzlich erschwert hätte.

- Die Speicherbeladung wurde auf den Zeitraum vom 15.10. bis zum 30.4. begrenzt. Die bisherige unnötige sommerliche Beladung wird somit vermieden. Dadurch ist eine Absenkung des Energiebedarfs zu erwarten.
- Die Tür zum Orgelraum/Tret-Blasebalg vom Turm ist jetzt verschlossen. Diese Maßnahme hat die Absenkung der relativen Feuchte gemindert (abgeleitet aus den Messwerten Januar 2013).

Trockene Raumlufte im Winter

- Es muss festgestellt werden, dass im Winter 2011/2012 die Raumlufte zu oft den definierten Grenzwert von 55 % unterschreitet.
- Da die Raumtemperatur nur moderat auf 8 °C bis 12 °C angehoben wird, liegt der Hauptgrund in der zu hohen Infiltration der Gebäudehülle.
- Es sollte ein Messwert durch das Blower-Door Verfahren von $n_{50} < 4,0$ 1/h für Kirchen angestrebt werden. Diese Messung sollte vor und nach einer erfolgten Sanierung durchgeführt werden.
- Durch den im Turm befindlichen Orgelraum ist die Herstellung einer hinreichenden Dichtigkeit in der Kirche Ratekau besonders schwierig. Es wurde jedoch eine deutliche Verbesserung im Rahmen der Sanierung erreicht (Messung erfolgte nach der Sanierung). Allerdings wurden weitere festgestellte Leckagen, wie die Undichtigkeit der Außentüren, noch nicht zufriedenstellend abgedichtet. Eine hohe Infiltration führt zusätzlich zu einer höheren Wärmelast, so dass bei starkem Windeinfluss im Winter die Zieltemperatur nicht immer erreicht werden kann.
- Grundsätzlich kann festgestellt werden, dass der Zusammenhang zwischen der trockenen kalten Außenluft, der Infiltration und der dadurch resultierenden Absenkung der relativen Feuchte im Kirchenraum zum Teil nicht ausreichend Beachtung findet. Im Gegenteil wird eine Verringerung der unkontrollierten Infiltration teilweise noch als Nachteil empfunden.
- Der Versuch mit einer mechanischen Lüftung die relative Feuchte anzuheben ist mit vertretbarem Aufwand nicht möglich, da eine Befeuchtung in erheblichem Umfang erforderlich wäre. Es ist unabdingbar, dass die Infiltration deutlich abgesenkt wird. Diese Maßnahme, zusammen mit einer moderaten Raumtemperatur, wird als ausreichend erachtet. Anlagentechnik ist lediglich geeignet das Problem der zu hohen Feuchte zu lösen. Dieser Weg sollte nach Auffassung des Verfassers auf Kirchen mit einem hohen Anteil an Sonderveranstaltungen beschränkt bleiben (meist Großkirchen).

4.1.6. Zusammenfassung

Autor: Jürgen Rösing

In einer Rückschau kann festgestellt werden, dass möglichst frühzeitig eine Analyse der Rahmenbedingungen hinsichtlich Temperierung und Raumluftefeuchte vorgenommen werden sollte, damit bereits in der ersten Planungsphase die entscheidenden Parameter berücksichtigt werden können. Bei der Bearbeitung der Kirche Ratekau ist die energetische und raumklimatische Betrachtung erst kurz vor Abschluss der Planung in den Focus gerückt

worden. Die Umsetzung ließ sich wegen der Vorarbeiten dennoch problemlos bewerkstelligen. Eine längerfristige Vorbereitung ist jedoch empfehlenswert.

Die unterschiedlichen Lösungsansätze wurden unter bautechnischen, wirtschaftlichen und nachhaltig energetischen Gesichtspunkten geprüft und abgewogen. Der gewählte Lösungsansatz wurde dann mit einer Simulation geprüft, ob die rechnerischen Annahmen prinzipiell realistisch sind und ob und an welchen Stellen zusätzlicher Handlungsbedarf besteht.

Die verschiedenen Temperierungsvarianten haben größtenteils direkte Auswirkungen auf die Flexibilität der Nutzung des Kirchenraumes, insbesondere in den Wintermonaten. Hier hat sich herausgestellt, dass die Vorlage einer schriftlichen Nutzungsdokumentation mit ergänzenden Aussagen über die zukünftige Nutzung durch die Kirchengemeinde zu Beginn der Planungsphase wichtig ist. Die Fachplaner sollten angehalten werden, detailliertere Aussagen über mögliche zeitliche oder räumliche Nutzungseinschränkungen bei den jeweiligen Konzepten aufzuführen.

Für den baulichen Bereich wurden die schwierigen Rahmenbedingungen im Mauerwerksbereich mit erhöhten Wärmedämm-Maßnahmen im Fußboden- und Deckenbereich kompensiert. Darüber hinaus wurde versucht, mit dem Temperierungskonzept die Innenwandtemperatur permanent auf mindestens 8 °C zu halten, damit Zuglufterscheinungen und Kondensate mit eventueller Schimmelbildung vermieden werden.

Die Umsetzung der erforderlichen baulichen Maßnahmen für eine konsequente und nachhaltige Temperierung lassen sich jedoch nur bei einer umfassenden Sanierungsmaßnahme sinnvoll integrieren. Die erforderlichen Eingriffe in Boden und Decke sind Rohbaumaßnahmen und müssen bautechnisch und entsprechend in der Aufwandanalyse berücksichtigt werden, da zu den haustechnischen Installationen für die Wärmeerzeugung und Wärmeverteilung (Kostengruppe 400, hier sind ca. 120.000 € aufgewendet worden) erhebliche Kosten im Bauwerksbereich (Kostengruppe 300) anfallen, die primär haustechnikbedingt sind.

Eine Aussage über die Wirtschaftlichkeit in Bezug auf die umfassende energetische Betrachtung bei dieser Sanierungsmaßnahme steht noch aus, dieses kann erst nach langfristiger Betrachtung mit Unterstützung des Monitorings erfolgen. Es wird vermutet, dass es ein sinnvoller und im Sinne der Substanzsicherung ein richtiger Ansatz sein kann, um Schimmel und thermisch bedingte Verschmutzungen zu vermeiden. Die wirtschaftliche Nachhaltigkeit ist, bei richtiger Einstellung des Systems, durch die steigenden Energiepreise gegeben und die permanente Temperierung stellt eine Substanzsicherung im besten Sinne dar.

4.1.7. Projektbeteiligte

Auftraggeber

Evangelisch-Lutherische Kirchengemeinde Ratekau
- vertreten durch den Kirchengemeinderat –
Hauptstr. 10, 23626 Ratekau

Betreuung DBU

Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Dr. Wulf Grimm
An der Bornau 2, 49090 Osnabrück

Betreuende Behörden

Landeskirchenamt der Evangelisch-Lutherischen Kirche in Norddeutschland
Dezernat Bauwesen / Bau- und Denkmalpflege,
Dr. Heiko Seidel und Dirk Behrens, Dänische Str. 21-35, 24103 Kiel

Landesamt für Denkmalpflege Schleswig-Holstein, Dr. Dirk Jonkanski+
Wall 47/51, 24103 Kiel

Ev.-Luth. Kirchenkreis Ostholstein, Jürgen Rösing, Königstr 8, 23730 Neustadt

Planer

Planung + Bauleitung

Architektur + Stadtplanung, Ewers Dörnen + Partner GmbH
Neustädter Str. 23, 23758 Oldenburg/H.

Tragwerksplanung

Gladigau & Schmahlfeldt, Hagenstr. 16, 23843 Bad Oldesloe

Heizung/Temperierung

IbEM Ingenieurbüro Dipl.-Ing. Engelbert Morawe
Zehlendorfer Straße 32, 24111 Kiel

Energetische Beratung

Architekturbüro Werner Haase
Julius-Echter-Straße 59, 97753 Karlstadt

Themografie/Monitoring

KAplus, Ing.-Büro Vollert, Mühlenstraße 29, 24340 Eckernförde

Messbilder Fassade

Hanack & Partner, Langenhorst 1, 22453 Hamburg

Bauforschung

Dr. Holger Reimers, Dauenhof 5, 25358 Hohenfelde

Restauratorische Betreuung

Dipl.-Rest. Marion Eifinger
Bergstraße 1, 21521 Aumühle bei Hamburg

Mineralogische Untersuchungen

ZMK-Norddeutsches Zentrum für Materialkunde von Kultur e.V.
Dr. Hendrik Visser, Scharnhorststraße 1, 30175 Hannover

Sicherheits- u. Gesundheitskoordination

planhof Architekten, Rainer Tantius
Waschgrabenstraße 13-15, 23730 Neustadt/H.

4.2. St. Marienkirche Gudow

4.2.1. Ausgangssituation/Baubeschreibung/Sanierungsstand

Autoren : Liane Kreuzer, Thorsten Plath



Abbildung 46: St. Marienkirche Gudow

Die Kirchengemeinde Gudow liegt im Kreis Herzogtum Lauenburg, circa 20 km entfernt von Ratzeburg und gehört zum Kirchenkreis Lübeck-Lauenburg. Am Gudower See befindet sich das Gut der Familie von Bülow, die seit dem Mittelalter das Lastenpatronat für die St. Marien Kirche Gudow trägt. Die Kirche befindet sich gegenüber dem Gut in zentraler Lage. Die Fläche um die Kirche herum wird seit Jahrhunderten als Friedhof genutzt. Neben dem Kirchhof befindet sich der Pfarrhof, bestehend aus dem Pfarrhaus, der Pfarscheune, dem Schweinestall und dem Backhaus.

Im Jahr 1194 wurde mit dem Bau der Kirche mit Feldsteinen in Gipsmörtel in romanischem Baustil begonnen. Die Kirche war gegliedert in einen steinernen Rundturm im Westen, einem rechteckigen Schiff und einem rechteckigen Chor mit runder Apsis. An der Südseite des Chores befand sich die Sakristei. Die um 1300 durch einen Brand zerstörte Apsis ist durch einen verlängerten rechteckigen Chor ersetzt worden. Im 16. Jahrhundert wurde eine neue Sakristei mit Eingangshalle in Ziegelbauweise errichtet, um der Neigung der südlichen Chorwand entgegenzuwirken. Der östliche Chorabschluss ist ebenfalls teilweise mit Ziegeln neu aufgemauert worden. Mitte des 17. Jahrhunderts wurde der eingestürzte Steinturm durch einen rechteckigen, hölzernen Turm ersetzt.

Im Innenraum ist die Kirche mit Altar, Kanzel, Triumphkreuz, Madonnenstatue, Taufstein, Taufengel, Orgel, Holzepitaph, Patronatsgestühl, Emporen und weiteren Kunstgegenständen reich ausgestattet. Die Holzdecke wird durch sichtbare, starke Eichenbalken, die im Chor bemalt sind, getragen.

In den 1970er Jahren wurde durch den Einbau einer elektrischen Fußbodenheizung in die Kirche der Fußbodenaufbau grundlegend verändert. In den 1990er Jahren wurden die Fenster durch Isolierglasfenster ausgetauscht. Im Rahmen einer Dachinstandsetzung 2006 und mit Blick auf die Erneuerung der Heizung ist 2007 die Holzbalkendecke von oben mit Zellulose gedämmt worden.

2006 wurde das Ingenieurbüro Rainer Heimsch aus Rastede mit einer Konzepterarbeitung zur Sanierung der Heizungsanlage beauftragt. Die Kirchengemeinde einigte sich auf eine Variante mit Warmwasserbankheizung kombiniert mit einer Warmwasser-Warmluftstation im Schiff und Warmwasser-Warmlufttruhe im Chor. Die Umsetzung des Vorschlags wurde damals aus Kostengründen zurückgestellt.

In einem zweiten Bauabschnitt wurde 2011/2012 mit der Instandsetzung des historischen Gipsmauerwerks durch die Kirchenbauhütte des Kirchenkreises Lübeck-Lauenburg begonnen. Dabei ist der zwischenzeitlich verwendeten Reparaturmörtel aus Kalk und Zement durch Gipsmörtel ersetzt worden. Lediglich an der Südfassade wurde eine, bis etwa auf Brüstungshöhe der Fenster, neu aufgemauerte Schale in Zementmörtel aus Zeit- und Kostengründen zunächst mit Kalkmörtel ausgebessert.

Parallel dazu wurde 2011, im Zusammenhang mit dem DBU-Projekt erneut über ein Heizungssystem nachgedacht, welches in einem zukünftigen dritten Abschnitt umgesetzt werden soll. Dabei wurden die vorausgegangenen Planungen unberücksichtigt gelassen, um die Situation unbeeinflusst betrachten zu können.

4.2.2. Restauratorische Untersuchungen

Autor: Heiko Brandner

Die im Ursprung romanische Kirche zu Gudow (Anhang - Abb. 1) ist nicht nur baugeschichtlich und bautechnologisch von hohem Zeugniswert, sie besitzt auch ein sehr reiches und kulturhistorisch beachtenswertes Inventar (Abb. 2, 3). Neben Grabplatten und der mittelalterlichen Taufe aus Naturstein sind viele überwiegende gefasste, hölzerne Ausstattungsstücke vorhanden. Dazu zählen u.a. die mittelalterliche Triumphkreuzgruppe (um 1310) und der Altar (Retabel um 1400), eine Madonna (um 1400) sowie die Kanzel, eine zweigeschossige Patronatsloge und das Epitaph J.v.Bülow, die in das letzte Viertel des 16. Jahrhundert datieren. Nicht zuletzt sei der bis heute in Gebrauch genommene Taufengel (1724) zu nennen, der schwebend im Kirchenschiff hängt.

1973–74 fand eine umfangreiche bauliche Instandsetzung verbunden mit dem Einbau einer elektrisch betriebenen Fußbodenheizung im Schiff und Wandkonvektoren im Chorraum statt. Die Heizung muss, auch wenn sie noch in Gebrauch ist, als technisch veraltet und physisch verschlissen eingestuft werden. Das Bewusstsein, dass man für technische Installationen auch in Baudenkmälern nur von einer Lebensdauer von 40–60 Jahre ausgehen muss, sollte ein wichtiger Aspekt bei der Bewertung und Planung von Neuinstallationen und deren Eingriffe in die Bauhülle sein. Die Nutzung der Heizung in der Gudower Kirche führte zu großen konservatorischen Problemen, insbesondere am hölzernen Inventar. Am Altar sind heute kaum Beeinträchtigungen aufgrund einer umfassenden Restaurierung von 2010 ablesbar. Alle anderen Ausstattungen zeigen starke Schäden.

Holz ist ein hygroskopischer Werkstoff, er nimmt Feuchtigkeit aus der Luft auf und gibt sie auch wieder ab. Er hat das Bestreben einen Ausgleich zwischen der Holzfeuchte und der umgebenden Raumfeuchte herzustellen. Dabei kommt es zum Quellen und Schwinden, d.h. zur Volumenveränderung. Man unterscheidet zwischen radialem und tangentialem Schwund, aus beiden Werten ergibt sich ein Durchschnittswert. Es wird die Volumenveränderung in % je Änderung von 1 % der Holzfeuchte angegeben. Für Nadelhölzer und Eichen liegt dieses Schwund- oder Quellmaß bei 0,24 % [DIN1052]. Die sehr geringe Volumenveränderung in Längsrichtung ist bei der Betrachtung zu vernachlässigen.

Für die Kirche Gudow gibt es umfangreiche Klimamessungen. Es sind Jahresschwankungen von 80–42 % relativer Luftfeuchte (rF) zu verzeichnen. Die Werte und die Differenz sind als

sehr hoch zu charakterisieren und auch auf die Nutzung der Heizung zurückzuführen. Innerhalb einer Woche gibt es zum Teil sehr große Schwankungen von 60–40 % rF bzw. Differenzen von 20 % rF, z.B. im Juli, Oktober und Dezember 2010 sowie im September 2011.

Im Winter sind zyklische Wochenkurven zu dokumentieren, bei denen die Temperatur am Sonntag zum Gottesdienst auf ca. 18°C ansteigt und kontinuierlich wieder fällt auf max. 8 °C. Die relative Luftfeuchte entwickelt sich gegensätzlich, mit der Heizung wird es trockener, beim Abkühlen wieder feuchter. Auch hier gibt es Differenzen innerhalb einer Woche von 15 % rF und im Verlauf der Wintermonate Dezember bis Februar von 42–70 % rF.

Tabelle 1 zeigt die Abhängigkeit der Holzfeuchte von der relativen Luftfeuchte unter Berücksichtigung der Raumtemperatur. Sinkt beispielsweise die relative Feuchte von 80 % auf 60 %, verringert sich die Holzfeuchte bei 10 °C von 16,2 % auf 11 %, das entspricht einer Differenz von 5,2 %. Wenn man von einem Durchschnittswert des Schwindens von 0,24 % je 1 % Holzfeuchte ausgeht, folgt daraus $1 \% / 0,24 = 5,2 \% / x = 1,248 \%$ Schwund. 1,25 % Schwund oder Quellen bedeutet bei einem 100 cm breiten Brett eine Breitenänderung von 1,25 cm, entsprechend bei 10 cm = 1,25 mm und bei einer 50 cm breiten Holztafel = 6,25 mm.

Dies ist nicht nur Theorie, sondern auch in Gudow am Inventar, z.B. am Bülowschen Epitaph von 1588, ablesbar (Abb. 4, 5). Die relativ breiten Eichenholztafeln, die als Träger der Bildmalschicht dienen, zeigen starke Schwundrisse auf. Auch schon vormalig gab es Risse, denn bei einer früheren Restaurierung wurden einige 5–7 mm breite Leisten zur Risseschließung eingeleimt.

Des Weiteren kommt es zu Schäden der Malschicht oder auch der Grundierung in Folge des Holzschwindes (Abb. 6, 7). Das Holz verringert sein Volumen, die Grundierung und Farbschichten machen dies nicht im gleichen Maße. Es entstehen durch „Stauchung“ aufstehende Malschichten und Hohllagen. Die Haftung zum Untergrund geht verloren und es sind Fassungsverluste zu verzeichnen. (Abb. 8–11)

Die Ablagerung von Staub wird durch die Zirkulation der Luft befördert. Zirkulation entsteht durch Temperaturunterschiede und kann durch Strahlungsheizungen (z.B. Bankheizungen, Konvektoren) oder auch Warmluftheizungen begünstigt werden. Staubablagerungen und hohe Luftfeuchten begünstigen die Schimmelbildung. Laut der Empfehlungen der Bundeskonferenz der Kommunalarchive 1/14 beim Deutschen Städtetag Unterausschuss Bestandserhaltung wird eine relative Luftfeuchte < 60 % empfohlen. [Arbeitshilfe 1 Umgang mit Schimmel in Archiven; Beschluss der BKK von 28./29.9.2010 in Dresden, unveröffentlicht]

4.2.3. Werkbericht des Architekten zur Sanierungsplanung der Kirche Gudow

Autor: André Schuldt

Im Januar 2011 wurde das Architekturbüro Schlutt + Schuldt Architekten mit der Betreuung einer integralen Planung zur Temperierung der Kirche Gudow im Kirchenkreis Lübeck-Lauenburg unter Berücksichtigung der festgeschriebenen Parameter des DBU-Antrages beauftragt. Gleichzeitig war das Architekturbüro mit der Fassadensanierung der historischen Gipsmörtelkirche beauftragt. Diese Arbeiten wurden im Jahr 2012 durchgeführt.

Die aus dem Jahre 1194 stammende Kirche Gudow stellt eine denkmalpflegerische und historische Besonderheit dar. Die Kirche mit ihrem mittelalterlichen Dachstuhl gilt als eine der ältesten im Bereich der ehemaligen Nordelbischen Kirche. Das Außenmauerwerk, erstellt in Gipsmörtelschaltechnik, ist bis auf die äußere Putzschicht im Bestand erhalten. In Gudow steht einer der wenigen Altäre mit original erhaltener mittelalterlicher Farbfassung.

Neben Gudow wurde im Rahmen des DBU-Projektes ebenfalls die Kirche zu Ratekau bei Lübeck ausgewählt und beplant. Beide Kirchen ähneln sich in Größe und Kubatur. Auch die Kirche Ratekau ist eine Gipsmörtelkirche. Im Unterschied zu Gudow wurde dort die Planung zur Temperierung auf Grund von laufenden Förderungen jedoch bereits baulich umgesetzt. Erste Ergebnisse und Erkenntnisse zum Heizsystem liegen bereits vor und flossen in die Planung für Gudow ein. Jedoch muss hier noch das Langzeit-Monitoring abgewartet und später mit Gudow verglichen werden.

Ferner geht es bei diesen exemplarischen Planungsprojekten um die zukunftsweisende Weiterentwicklung zur Temperierung der Kirchen im gesamten Raum der Evangelisch-Lutherischen Kirche in Norddeutschland unter Beachtung nachfolgend genannter Parameter:

- CO₂ Minderung
- geringe Verbrauchskosten
- Wirtschaftlichkeit
- Verbesserung Feuchtehaushalt
- geringe Konvektion
- Denkmalschutz
- Reversibilität
- Erscheinungsbild
- Behaglichkeit
- einfache Bedienung/einfache Steuerung
- Übertragbarkeit auf andere Kirchen

Dabei wird die bisher gültige KHeizRL (Kirchenheizungsbaurichtlinie) zur Diskussion gestellt. Bisherige Aussagen dieser sollen überprüft werden.

Im Rahmen des DBU-Projektes wurde das Architekturbüro Haase mit der Projektbetrachtung und Auswertung einer Bestandsaufnahme aller Kirchen im Raum der Kirchenkreise Lübeck-Lauenburg und Ostholstein beauftragt. Es war Ziel des Projektes, Ergebnisse dieser Auswertung für die technische Planung der Kirche Gudow nutzbar zu machen.

Die Aufgabenstellung für die Planung in Gudow leitet sich aus dem DBU-Antrag ab.

- Erarbeitung eines differenzierten und angemessenen Temperierungs-, Heizungs- und Lüftungskonzeptes
- deutliche Verringerung des momentanen Heizenergieverbrauches von 56.000 kWh/a
- Erzeugung einer Grundtemperatur von 8 °C
- Maximaltemperatur von 12 °C.
- Verringerung der Aufheizvorgänge auf min. 1 K/h oder geringer

Aus der Vorgabe des Projektantrages bedeutete dies für die Planung in Gudow die Bearbeitung folgender Ziele. Dabei wurde es erforderlich, die unmittelbaren Ziele im Gebäude von den übergeordneten des Energieeinsatzes zu unterscheiden. Denn für das Innenraumklima ist die Art der Wärmeerzeugung nur von untergeordneter Bedeutung.

Wärmeübergabe:

- Überprüfung/Anpassung der relativen Luftfeuchtigkeit, besonders im Übergang der Jahreszeiten
- Vermeidung von Kondensatbildung
- Senkung der Energieeinsätze
- Geringe Investitionskosten
- Verringerung des Betreiberaufwandes/einfache Steuerung
- Verringerung/Vermeidung von Konvektion und damit Fallwinden
- Steigerung der Behaglichkeit durch Vermeidung von Fallwinden
- Senkung der Grundtemperatur auf 8 °C
- Senkung der Maximaltemperatur auf 12 °C
- maximale Aufheizung von 1 K/h
- Schutz der Kirche, der Ausstattung und des Kunstgutes

Wärmeerzeugung:

- Verwendung regenerativer Energien
- nachhaltige CO²-Minimierung
- Einstieg in das systematische Energiecontrolling
- Einstieg in das Facility Management für alle Kirchen

Für beide Themenbereiche sind möglichst geringe Investitionskosten Ziel.

Zur Koordinierung der Projekte fanden regelmäßige Plenumsitzungen im Kirchlichen Verwaltungszentrum in Lübeck statt. Auf diesen Sitzungen waren alle an beiden Modellprojekten beteiligten Personen anwesend bzw. eingeladen. Zur Steuerung des Einzelprojektes Kirche Gudow fanden sehr häufig Planungsrunden in Gudow, Lübeck, Kiel oder auch in Hamburg mit den hier beteiligten Personen statt. Ziel dieser häufigen Beratungen war es, alle Beteiligte ständig auf dem gleichen Wissensstand zu halten und einen regen Wissensaustausch zu gewährleisten. Weiterhin fanden häufige Sitzungen im Kirchengemeinderat (KGR) Gudow statt, um die Kirchengemeinde und den KGR in das Projekt einzubinden und den jeweiligen Wissensstand des Forschungsprojektes dem KGR mitzuteilen. Zu allen o.g. Sitzungen wurden Protokolle erarbeitet und per E-Mail verteilt.

Am 28.01.2011 besuchte der Architekt das erste Mal die Kirche in Gudow. Dabei wurden die vorhandenen Schäden gezeigt und erörtert.

- Austrocknungserscheinungen an der Ausstattung
- zum Teil Schimmelbildungen im Bereich der Orgel und an den Fensterleibungen
- Rissbildungen im Mauerwerk
- die marode Elektroheizungsanlage
- Luftfeuchtigkeitsprobleme in der Sakristei
- Gravierende Schäden an den Fassaden

Das Ingenieurbüro Wagner & Weidner für Gebäudetechnik aus Schwerin wurde im I. Quartal 2011 mit der Erarbeitung der TGA-Planung (Technische Gebäudeausstattung) beauftragt. Dabei wurden in der darauffolgenden Zeit diverse Varianten zur Wärmeerzeugung und Wärmeübergabe erarbeitet mit Hilfe einer Vergleichsmatrix mit Positiv-Negativbetrachtung untersucht.

Als übergeordneter fachlicher Projektbegleiter erarbeitete das Architekturbüro Werner Haase parallel verschiedene Varianten zur Wärmeerzeugung und Wärmeübergabe. Dadurch wurden neue Technologien, wie z.B. den Einsatz eines Eisspeichers in die Diskussion mit eingebracht.

Die vorgeschlagenen Systeme beider Büros beruhten auf einer Wärmepumpentechnologie. Jedoch fanden beide vor genannten Büros keine gemeinsame Entwurfs- und Planungslinie. Es bestanden große Planungsunterschiede in Bereichen wie: Wärmespeicherung, Aufstellort der Heizungsanlage + Speicher, Steuerung, Art und Ort der Tiefenbohrungen, Arten + Kombinationen der Wärmeübergabe in der Kirche. Man entschied sich, die Zusammenarbeit mit dem Büro Wagner & Weidner am 18.02.2012 zu beenden. Mit der weiterführenden TGA-Planung wurde am 12.03.2012 das Ingenieurbüro ENGEMA aus Wismar beauftragt. Entscheidend war, dass das Büro Referenzen im Forschungsbereich nachweisen und die neue, sehr kurze Bearbeitungsfrist einhalten konnte. Alle bereits erarbeiteten und zusätzliche Varianten der Wärmeerzeugung (VE) und der Wärmeübergabe (VÜ) wurden aufgegriffen und in einer neuen, sehr umfangreichen Matrix mit einem auf Schulnoten basierendem Wertungssystem nochmals miteinander verglichen. In der nachfolgenden Zeit fand eine intensive Bearbeitung des Projektes durch alle Beteiligten statt. Dazu gab es diverse Planungsrunden.

Am 31.03.2012 fand eine Bereisung der Gudower Kirchengemeinde und deren Fachplaner nach Ratekau statt. Sie erhielten eine fachkundige Führung und Vorträge des Architekten und einem Vertreter des KGR Ratekau. Die Erkenntnisse aus Ratekau flossen in die Planungen der ENGEMA ein.

In Gudow wurden zu Beginn der Projektes zu den 3 vorhandenen 4 zusätzliche Datenlogger installiert. Die zwischenzeitlich bereits ausgelesenen Werte flossen in die fachlichen Diskussionen und die Planungen ein. Erste wesentliche Erkenntnisse daraus sind zum Teil enorme Sprünge der Temperaturen und der Luftfeuchten in der Kirche.

Das Büro KApplus führte in Gudow eine Thermografie zur Bewertung des bestehenden Heizsystems durch.

Die von der ENGEMA erarbeiteten Lösungen zur VE und VÜ führten zu teils umfangreichen Diskussionen innerhalb der Planungsgruppe. Laut Berechnung nach VDI 3801 (Krischer und Kast) und DIN EN 12831 werden zur Beheizung der Kirche nach den DBU Parametern 45 kW Heizleistung benötigt. Hierzu besteht Übereinstimmung mit dem Büro Haase. Die Problematik lag jedoch in der sinnvollen Kombination der Wärmeübergabevarianten, da keines der einzelnen Systeme für die Beheizung allein ausgereicht hätte. Es galt nun, die für die Kirche Gudow am besten geeignete Kombination der VÜ herauszuarbeiten.

Im Zuge der Erarbeitungen kam es innerhalb der Planungsrunde wegen gestalterischer, architektonischer und denkmalpflegerischer Inhalte zeitweise zu Kontroversen. Dies erfolgte jedoch äußerst fachbezogen und konstruktiv und verdeutlicht die Problematik einen Lösungsansatz für eine historische Kirche zu erarbeiten.

Unter Abwägung aller Parameter wurde der Kirchengemeinde und dem KGR von der Planungsrunde die Variante Wärmepumpe mit Aufstellort im Turm und die Wärmeübergabekombination bestehend aus zwischen den Deckenbalken abgehängten Deckenstrahlplatten und einer neuen Fußbodenheizung inkl. komplett neuem Fußbodenaufbau empfohlen.

Der KGR stimmte nach intensiver Diskussion dieser Empfehlung am 12.11.2012 zu. Zur besseren Bewertung der Deckenstrahlplatten und deren optischen und technischen Auswirkungen wurden zwei Musterheizkörper gefertigt und unter die Decke geschraubt. Diese wurden am 13.12.2012 von der Planungsrunde und Vertretern des KGR vor Ort bemustert.

Zeitgleich zum beschriebenen DBU Projekt wurde im Jahr 2012 eine Fassadensanierung der historischen Feldstein-Gipsmörtelkirche durchgeführt. Es wurde darauf geachtet, dass nur solche Arbeiten ausgeführt wurden, die keinerlei Auswirkungen auf evtl. spätere Maßnahmen im Zuge einer energetischen Sanierung und Umsetzung der DBU Planung haben. So wurden unter höchsten konservatorischen Ansprüchen die Fassaden nacheinander saniert.

Zusammenfassung

Die in Zusammenarbeit mit allen Beteiligten erarbeitete Lösung stellt einen richtigen und richtungsweisenden Ansatz zur zeitgemäßen Temperierung der Kirche in Gudow dar.

Eine Wechselwirkung der Planungen von Ratekau und Gudow war kaum gegeben, da das Projekt Ratekau auf Grund damals bestehender Gegebenheiten umgesetzt wurde und die Planungsphase demnach früher stattfand. Somit konnten einzelne Erfahrungen aus Ratekau in Gudow einfließen, aber nicht umgekehrt. Bei dem Projekt Gudow wurde erstmalig die Bedeutung einer integralen Planungsphase für die Beteiligten deutlich.

So wie in einer klassischen Hochbauplanung im Rahmen der Grundlagenermittlung alle relevanten Fachdisziplinen einzubeziehen sind, wurde hier allein für die technische Gebäudeplanung eine gleichermaßen umfangreiche fachliche Auseinandersetzung geführt. Voraussetzung dafür war eine positive engagierte und konstruktive Zusammenarbeit. Diese Art der Planung sollte bei weiteren Projekten Vorbild sein.

Im Januar 2013 wurde für die fertiggestellten Planungen für die Kirche in Gudow eine Simulationsberechnung vom Büro ENGEMA durchgeführt.

4.2.4. Infrarot-Thermografie und Luftströmungsuntersuchung

Autor: Sören Vollert

Die St. Marien-Kirche in Gudow wird durch eine Stromdirektheizung betrieben. Im Fußboden sind Heizdrähte integriert, die den Fußboden erwärmen. Aufgrund von Zugscheinungen im Winter wurde die Funktion der Heizung geprüft. Dafür wurden an verschiedenen Terminen in der Heizperiode Thermografie Aufnahmen des Innenraumes und Messungen zur Raumluftströmung durchgeführt.

Die Messungen wurden am 12.04.12 von 9.00 Uhr bis ca. 11.00 Uhr durchgeführt, bei Außentemperaturen zwischen 8 und 10 °C und einer Innentemperatur von 17,5 °C. Die Feuchte betrug ca. 55 %. Der Aufheizvorgang über Nachtstrom begann 2 Nächte zuvor, die Konvektoren waren nicht in Betrieb.

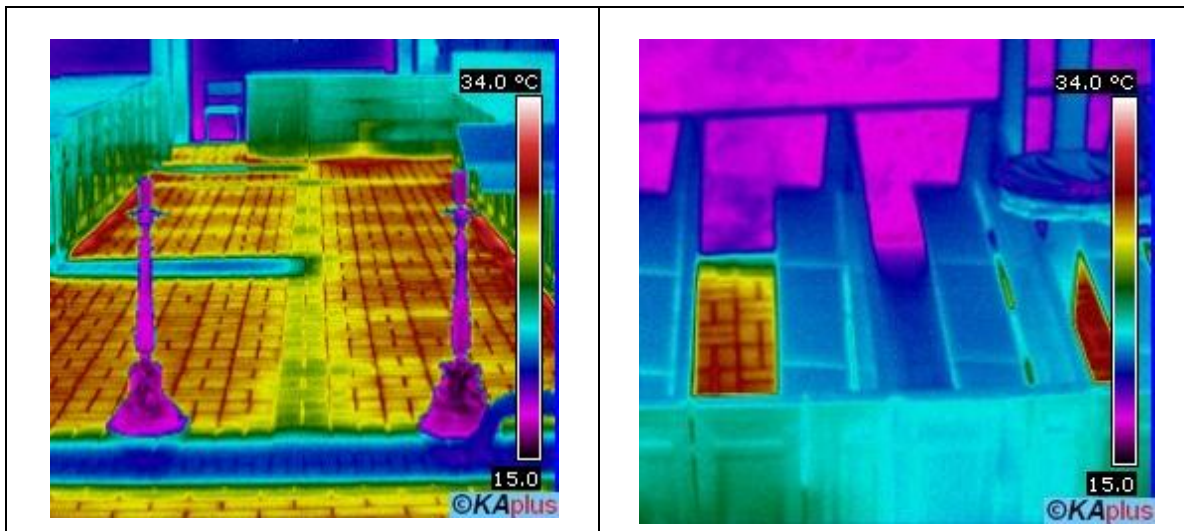


Abbildung 47: Infrarot Thermografie Fußboden Kirche Gudow

Die Ergebnisse der Infrarot-Thermografie sind:

- Die Fußbodenheizung ist weitgehend intakt.
- Mittig sind 2 bekannte Bereiche ohne Heizschlaufen.
- Im Bereich der 6. Bank rechts unter der Empore (vom Eingang kommend) ist keine Heizfunktion erkennbar.
- Im Bereich des Patronatsgestühls ist ebenfalls keine Heizfunktion im Boden nachweisbar.

Weitere Aufnahmen der Thermografie sind im Anhang ersichtlich.

In der Woche vor Ostern 2013 wurden die Innentemperatur, die Raumluftfeuchte und die Luftströmung im Bereich der Sitzbänke gemessen. Die Beheizung der Kirche wurde mit Beginn der Messung am Montag (25.03.2013) ausgeschaltet und am Mittwochabend aufgrund einer Veranstaltung am Donnerstag (28.03.2013) wieder eingeschaltet.

Die Geschwindigkeit der gemessenen Raumluftströmung steigt mit Nutzung und Beheizung. Das Zugluftrisiko von 20 % (Kategorie B, nach DIN ISO 7730) wird während der Nutzung überschritten. Auch eine Zugluftrate von 30 % (Kategorie C) wird gelegentlich überschritten (Nutzung 28.03.2013 ca. 11.00 Uhr bis 12.00 Uhr). Ein Windeinfluss wurde nicht erfasst und kann die Ergebnisse überlagern.

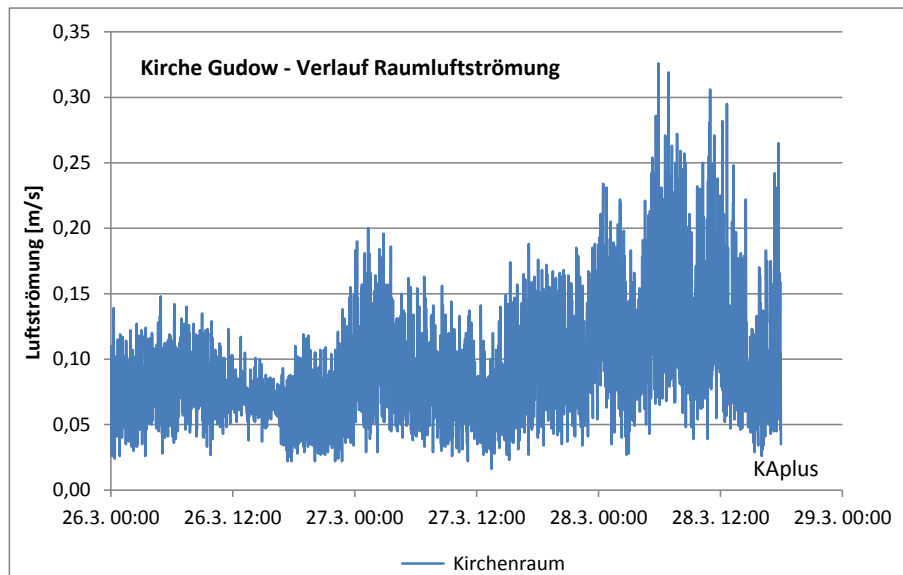


Abbildung 48: Gemessene Raumluftrömung Kirche Gudow

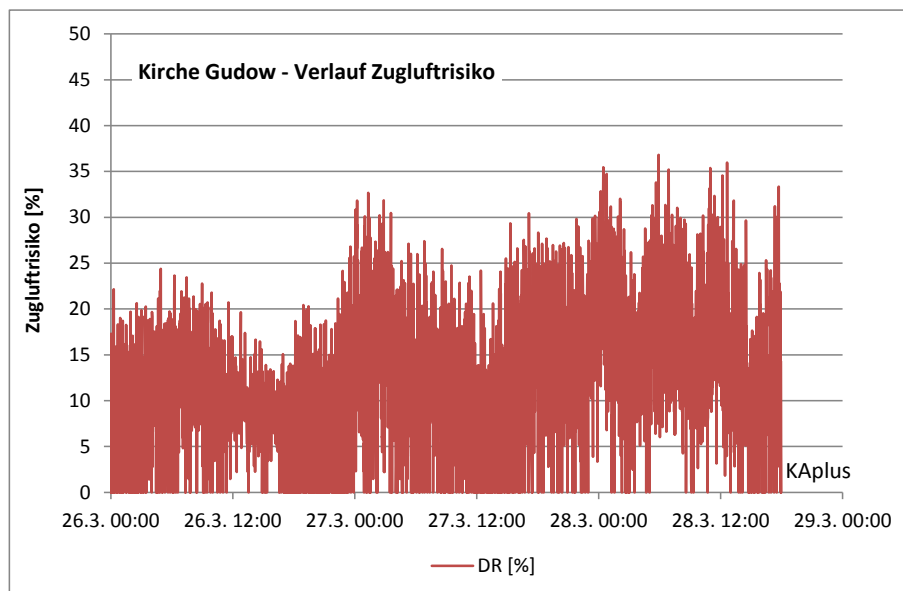


Abbildung 49: Zugluftrisiko Kirche Gudow

Zusammenfassend wurden folgende Ergebnisse ermittelt:

- Die Kaltluft fällt an den kühlen Außenwänden nach unten. Über dem beheizten Boden erwärmt sich die Raumluftrömung und steigt hoch.
- Im Bereich der noch einfachverglasten Fenster auf der Südseite ist von höheren Fallströmungen auszugehen. Weiterhin sind die Türen hier relativ undicht, so dass kühle Luft einströmen kann. Deshalb ist an der Wand südlich zum Altar mit den höchsten Fallströmungen zu rechnen.
- Windeinfluss wird diesen Effekt vermutlich überlagern. Aufgrund der Undichtigkeiten auf der Südseite, müsste Südost- bis Südwest-Wind zu einer Verstärkung der Strömungen führen.
- Insgesamt stellen sich Raumluftröhrwalzen ein: An der Außenwand nach unten, mittig nach oben, sowie am Boden von Ost nach West, sowie vermutlich oben von West nach Ost.

Bilder zur Untersuchung der Luftströmung sind im Anhang beigefügt.

4.2.5. Heizungs-, Temperierungs- und Lüftungssystem

Autoren: Jens Peters

Im Januar 2011 stellte sich folgende Situation dar:

- Elektrofußbodenheizung (66 kW) in Kombination mit Elektrokonvektorheizkörpern (22,8 kW); Baujahr 1973
- Heizstromverbrauch im Jahr 2009/2010: 44.490 kWh (Heizkosten 7.382 €)
- Austrocknungserscheinungen und Rissbildungen an Kunstgütern durch zu geringe Luftfeuchtigkeit
- stellenweise Schimmelbildung
- Rissbildung in Fußboden und Decken
- versiegelte Fußbodenoberfläche
- Schadensbilder an Patronatsloge und Epitaph

Erste Konzepte zur Temperierung der Kirche wurden vom Architekturbüro Haase und dem Ingenieurbüro Meier entwickelt. Diese umfassen folgende erste Ideen zur Wärmeerzeugung und Wärmeübergabe:

- Wärmepumpe mit Eisspeicher und Luftkollektoren
- konventionelles Heizsystem (Gas, Öl)
- umlaufende Sockelheizung
- Unterbankheizung
- Luftheizung
- altes Stromheizsystem mit neuer Regelung und autarker Stromversorgung
- keine Heizung

Die Varianten wurden in enger Zusammenarbeit der Projektbeteiligten, wie der Kirchengemeinde Gudow, dem Kirchenkreis Lübeck-Lauenburg, dem Nordelbischen Kirchenamt Kiel sowie Architekten, Planern und Restauratoren weiterentwickelt, ergänzt, diskutiert und bewertet. Im Verlaufe des Projektes wurden die konkreten Zielstellungen herausgearbeitet und präzisiert. Es ergaben sich folgende Prämissen für die Konditionierung der Kirche:

- nachhaltiges Heizsystem
- CO₂-Reduzierung
- Schonung fossiler Energien
- Verringerung des Energieverbrauches und -kosten
- Verringerung/Vermeidung von Fallwinden/Konvektion
- Regulierung der Luftfeuchtigkeit
- Vermeidung von Schimmelbildung bzw. Trocknungsschäden
- Schutz der Kirche, Kunstgut und Ausstattung
- geringer Eingriff in die Bausubstanz

Für die Kirche Gudow wurden in Zusammenarbeit mit allen relevanten Projektbeteiligten auf diese Zielstellungen aufbauend folgende Anforderungen an das Heizsystem festgelegt:

- Grundtemperatur 8 °C ganzjährig
- Temperatur während Nutzung 12 °C
- Nutzung ca. 2-mal wöchentlich
- Auf- und Abheizen max. 1 K/h
- wenig bis keine Konvektion
- relative Luftfeuchte 55–70 % bzw. max. Schwankungen von 15 %
- Regelung der Raumtemperatur mit (relativer) Feuchteaufschaltung
- langlebiges und reversibles System

- geringer Bedien- und Wartungsaufwand
- Heizkonzept möglichst auf weitere Kirchen übertragbar

Die Berücksichtigung der relativen Feuchte bei der Raumtemperaturregelung wird u.a. auch in der DIN EN 15759-1 als „konservatorisches Heizen“ empfohlen. Bei zu geringer Feuchte wird die Temperatur abgesenkt, bei hoher Feuchte wird zu jeder Jahreszeit aufgeheizt. In speziellen Anwendungsfällen kann eine Lüftungsanlage, geregelt nach absoluter Feuchte, zusätzlich eingesetzt werden.

In Andachtsstätten, welche kulturelles Erbe aus hygroskopischen Materialien enthalten, sind die raumklimatischen Anforderungen zumeist ein Kompromiss aus Anforderungen aus konservatorischer und aus Sicht der thermischen Behaglichkeit. Im Verlauf der Untersuchungen zur Beheizung der Kirche wurden unter Einbeziehung erster Ideen verschiedene Möglichkeiten zur Wärmeerzeugung und Wärmeübergabe ausgearbeitet.

Für die Wärmeerzeugung sind im ersten Schritt weitere folgende Varianten denkbar:

- Heizkessel für fossile Brennstoffe (Öl, Gas)
- Festbrennstoffkessel (Pellets, Holzhackschnitzel)
- Blockheizkraftwerk (Öl, Gas)
- Luft/Wasser-Wärmepumpe
- Sole/Wasser-Wärmepumpe mit den Wärmequellen Erde, Grundwasser oder Eisspeicher
- Elektroheizung

Im fortschreitenden Projektverlauf wurden die Varianten Gas- bzw. Ölheizung ausgeschlossen, da es sich um fossile Brennstoffe handelt. Von einem gänzlichen Verzicht auf Beheizung wurde ebenfalls Abstand genommen, da sich dieses weder mit dem Ziel des DBU-Projektes noch mit den Interessen der Kirchennutzer vereinbaren lässt.

Das wirtschaftliche Betreiben eines Blockheizkraftwerkes setzt eine hohe Anzahl an Vollbenutzungsstunden (lange Laufzeit) voraus. Hierfür ist die kontinuierliche Abnahme der anfallenden Abwärme eine grundlegende Voraussetzung. Diese wäre bei einer bestehenden Grundlast (beispielsweise einem hohen Warmwasserbedarf über das gesamte Jahr) gegeben. Diese Voraussetzung wird bei der Beheizung der Kirche nicht erfüllt. Somit entfällt auch diese Variante der Wärmeerzeugung.

Die Temperierung der Kirche mit einer direkten Stromheizung wurde auf Grund schon bestehender Nachteile, wie schlechter Regelbarkeit und hoher Kosten, ebenfalls ausgeschlossen. Des Weiteren handelt es sich bei elektrischem Strom um eine hochveredelte Energieform, deren direkte Nutzung zur Erzeugung von Heizungswärme nicht empfehlenswert ist.

Es wurden daraufhin weitere Möglichkeiten untersucht. Diese umfassten Holzpellets, Holzhackschnitzel, Mais und Rapsöl. Die Verwendung von Holzpellets und Holzhackschnitzeln scheidet aus Gründen des hohen Bedien- und Wartungsaufwandes aus, die Verwendung von Mais bzw. Rapsöl wurde aus ethischen Gründen abgelehnt, da es sich um Energieträger handelt, die auch der Ernährung dienen könnten.

Für die Wärmeübergabe sind im ersten Schritt zusätzlich zu den bereits ausgearbeiteten folgende Varianten denkbar:

- Konvektoren
- Heizkörper (Platten, Radiatoren)
- Luftheizung (dezentrale oder zentrale Lüftungsanlage)
- Flächenheizungen (Fußboden, Wand, Decke)
- Strahlungsheizungen (Strahlplatten)

Konvektoren und Heizkörper wurden aufgrund des hohen Konvektionsanteiles bei der Wärmeabgabe bei der weiteren Planung nicht berücksichtigt. Heizungen, die Luft als Wärmeträger nutzen, wie Luftheritzer und raumlufthechnische Anlagen mit Heizregistern, führen aus funktionellen Gründen zu Luftbewegungen. Ihre Verwendung wurde ebenfalls ausgeschlossen.

Nach Ausschluss der Varianten, die den Zielstellungen und Vorgaben des Projektes grundsätzlich nicht entsprachen, wurden die verbleibenden Wärmeerzeuger und Wärmeübertragungssysteme zur näheren Untersuchung bestimmt. Eine erste Präsentation der erarbeiteten Varianten der ENGEMA erfolgte am 25.04.2012 vor der Kirchengemeinde Gudow. Nach Einarbeitung von Vorgaben und Wünschen der Kirchengemeinde folgte am 02.05.2012 eine zweite Präsentation der Varianten vor den zuständigen Vertretern des Nordelbischen Kirchenamtes in Kiel.

Um ein Instrument für die objektive Beurteilung der Varianten nutzen zu können, wurde eine Bewertungsmatrix entwickelt. Als Beispiel ist hier die Bewertungsmatrix für die Wärmeerzeugung dargestellt:

Bewertungsmatrix Heizsystem																			
Heizsystem: Wärmeerzeugung																			
Nr.	Bewertungskriterien	Gewicht (G)	Wärmepumpe in d. Kirche								Wärmepumpe in Nebenglass								
			Luft		Erde		Wasser		Eis		Luft		Erde		Wasser		Eis		
			N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	N	W	
1	Investitionskosten	1	4	4,0	3	3,0	3	3,0	2	2,0	3	3,0	2	2,0	2	2,0	1	1,0	
2	Verbrauchs-kosten	3	3	9,0	4	12,0	4	12,0	4	12,0	2	6,0	3	9,0	3	9,0	3	9,0	
3	Wartungskosten/aufwand	3	6	18,0	5	15,0	3	9,0	5	15,0	6	18,0	5	15,0	3	9,0	5	15,0	
4	Betriebs-sicherheit	3	4	12,0	5	15,0	3	9,0	5	15,0	4	12,0	5	15,0	3	9,0	5	15,0	
5	Lebens-dauer	3	5	15,0	5	15,0	3	9,0	5	15,0	5	15,0	5	15,0	3	9,0	5	15,0	
6	Platz-bedarf	2	5	10,0	3	6,0	4	8,0	1	2,0	5	10,0	3	6,0	4	8,0	1	2,0	
7	Umwelt-freundlichkeit	3	4	12,0	5	15,0	4	12,0	5	15,0	4	12,0	5	15,0	4	12,0	5	15,0	
8	Verfüg-barkeit des Energieträgers	3	6	18,0	5	15,0	4	12,0	6	18,0	6	18,0	5	15,0	4	12,0	6	18,0	
9	Bedien-aufwand	2	6	12,0	6	12,0	6	12,0	6	12,0	6	12,0	6	12,0	6	12,0	6	12,0	
10	Regel-barkeit (Trägheit)	2	4	8,0	5	10,0	5	10,0	5	10,0	4	8,0	5	10,0	5	10,0	5	10,0	
11	Geräusch-emissionen	3	3	9,0	4	12,0	4	12,0	4	12,0	4	12,0	5	15,0	5	15,0	5	15,0	
12	Stand der Technik	3	6	18,0	6	18,0	6	18,0	4	12,0	6	18,0	6	18,0	6	18,0	4	12,0	
13	Förder-fähigkeit	2	2	4,0	4	8,0	4	8,0	3	6,0	2	4,0	4	8,0	4	8,0	3	6,0	
14	Genehmigungsaufwand	2	6	12,0	3	6,0	1	2,0	5	10,0	6	12,0	3	6,0	1	2,0	5	10,0	
15	Eingriff in die Bausubstanz	3	3	9,0	4	12,0	4	12,0	3	9,0	5	15,0	5	15,0	5	15,0	4	12,0	
16	Installationsaufwand	1	5	5,0	2	2,0	2	2,0	3	3,0	4	4,0	1	1,0	1	1,0	2	2,0	
17	Integration in das Gesamtbild der Kirche	3	3	9,0	4	12,0	4	12,0	2	6,0	4	12,0	4	12,0	4	12,0	2	6,0	
18	Übertragbarkeit auf andere Objekte	3	6	18,0	3	9,0	2	6,0	4	12,0	6	18,0	3	9,0	2	6,0	4	12,0	
		Summe	202,0		197,0		168,0		186,0		209,0		198,0		169,0		187,0		
Legende																			
N	Note (1 schlecht -6 gut)																		
W	Wert (N x G)																		
G	Wert 1 - 3 (1: unwichtig; 3: wichtig)																		

Tabelle 7: Bewertungsmatrix Heizsystem

Die Matrix enthält Bewertungskriterien von unterschiedlicher Gewichtung (1: eher unwichtig; 3: sehr wichtig). Diesen wird mittels Noten (N), die in ihrer Wertigkeit den Schulnoten von 1–6 im umgekehrten Sinne entsprechen (6: gut; 1: schlecht) ein Wert zugeordnet. Hierbei bedeutet eine 6 beispielsweise niedrige Investitionskosten bzw. geringen Eingriff in die Bausubstanz. Dieser Wert wird mit der Gewichtung multipliziert. Als Ergebnis ergibt sich eine Gesamtnote, die Wichtigkeit und Bewertung einer bestimmten Eigenschaft widerspiegelt. Die Summe aller Gesamtnoten macht somit die verschiedenen Varianten objektiv vergleichbar. Je größer ihr Wert ist, desto besser vereint die Variante die bewerteten Eigenschaften positiv miteinander.

Mit der Matrix als Entscheidungshilfe wurden die Varianten der Wärmepumpen, die die Wärmequellen Grundwasserbrunnen und Eisspeicher nutzen, ausgeschlossen. Gründe hierfür sind beispielsweise der hohe Installationsaufwand verbunden mit hohen Investitionskosten. In

der Planerrunde am 02.05.2012 im Nordelbischen Kirchenamt in Kiel wurden für eine weitergehende Betrachtung folgende Varianten ausgewählt:

Wärmeerzeugung:

1. Luft/Wasser-Wärmepumpe
2. Sole/Wasser-Wärmepumpe
 - 2.1. Vertikale Tiefenbohrungen
 - 2.2. Schrägbohrungen
3. Sole/Wasser-Wärmepumpe
 - 3.1. Erd-Flächenkollektor
 - 3.2. Spiralkollektoren

Für die Beurteilung der Wärmeübergabesysteme wurde im ersten Schritt ebenfalls eine Bewertungsmatrix erstellt. Diese beinhaltet einzelne Systeme der Wärmeübergabe, die für die Temperierung der Kirche verwendbar sind. Es stellte sich nach der Berechnung der Heizlast (45 kW) und der Auslegung der Wärmeübergabesysteme heraus, dass ein System allein für die Beheizung nicht ausreichend ist. Deshalb wurden sinnvolle Kombinationen entwickelt.

Kombinationen der Wärmeübergabesysteme:

1. Variante
 - Deckenheizung oben aufgelegt im Altarraum und Schiff (22 kW)
 - Fußbodenheizung im Altarraum und Schiff (20 kW)
 - Wandheizung im Bereich des Kastengestühls bis Höhe Brüstung (3 kW)
2. Variante
 - Deckenstrahlplatten (25 kW)
 - Bankkonvektoren (20 kW)
3. Variante
 - Deckenheizung unterhalb im Altarraum und Schiff (20 kW)
 - Fußbodenheizung nur im Altarraum (7 kW)
 - Fußbodenheizung Bankpodest (6 kW)
 - Bankkonvektoren (12 kW)
4. Variante
 - Deckenstrahlplatten Altarraum und Schiff (25 kW)
 - Fußbodenheizung Altarraum und Schiff (20 kW)

Diese Kombinationen wurden der Kirchengemeinde Gudow präsentiert. Es wurde der Beschluss gefasst, diese 4 Varianten auf ihre Gesamtwirtschaftlichkeit hin zu untersuchen. Um die Wirtschaftlichkeit des gesamten Heizungssystems beurteilen zu können, sind die verschiedenen Wärmeerzeuger mit den Wärmeübergabesystemen kombiniert worden. Die Ergebnisse der Berechnungen zur Gesamtwirtschaftlichkeit wurden jeweils der Kirchengemeinde Gudow und vor dem Plenum präsentiert.

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung erfolgt in Anlehnung an die VDI 2067, es werden demgemäß folgende Kosten berücksichtigt:

1. kapitalgebundene Kosten
2. verbrauchsgebundene Kosten
3. betriebsgebundene Kosten

Die Wirtschaftlichkeit wird unter Berücksichtigung der Investitionskosten sowie der laufenden betriebsabhängigen und betriebsunabhängigen Kosten über den gesamten zu erwartenden Nutzungszeitraum (für heiztechnische Anlagen 15 a) [AfA Tabellen des Bundesfinanzministeriums] analysiert. Zu den betriebsabhängigen Kosten zählen die Kosten für Wartung und Instandhaltung, zu den verbrauchsgebundenen Kosten zählen die Kosten für den Endenergieeinsatz unter Berücksichtigung jährlicher Preissteigerungen. Die kapitalgebundenen Kosten beinhalten Kosten für Tilgung und Zinsen der Investitionen.

Bei dem Variantenvergleich unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten wurden nur solche Investitionskosten berücksichtigt, in denen sich die einzelnen Varianten unterscheiden. Kosten, welche für alle Varianten in etwa gleich anfallen (z.B. Messpreis für Strom oder Gas, Regelungen, Rohrleitungen etc.), würden das Ranking untereinander nicht beeinflussen und sind in den angesetzten Investitionskosten nicht enthalten.

Der Energiepreis während des Nutzungszeitraumes hat wesentlichen Einfluss auf die Verbrauchskosten der Varianten. Da hier die zukünftigen Verbrauchskosten für 15 Jahre (Nutzungszeitraum) angesetzt werden, besteht die Schwierigkeit darin, den mittleren Preis für Energie (Strom) für diesen Zeitraum vorherzusagen. Es kann sich hierfür nur an der Entwicklung des Energiepreises in der Vergangenheit orientiert werden.

Folgende Abbildung zeigt die Preisentwicklung (Monatswerte) für Erdgas und Strom in Deutschland von 01/2000–04/2011:

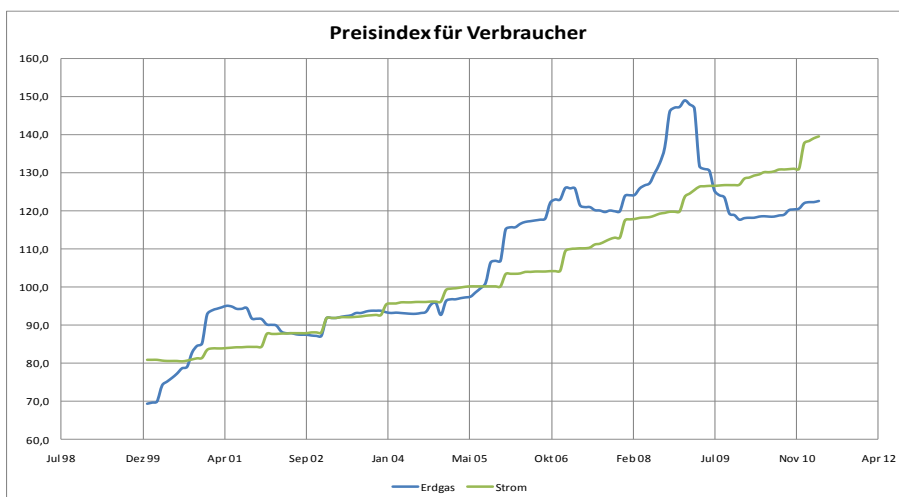


Abbildung 50: Energiepreisentwicklung in Deutschland monatlich
(Datenquelle: Statistisches Bundesamt, eigene Abbildung)

Im Mittel betrug die Energiepreissteigerung in dem Zeitraum 2000–2010 5 %/a. In der zweiten Hälfte dieses Zeitraumes ist jedoch ein etwas steilerer Anstieg des Energiepreises ersichtlich (Abbildung 51), so dass hier im Weiteren mit einer Energiepreissteigerung von 6 %/a gerechnet wird.

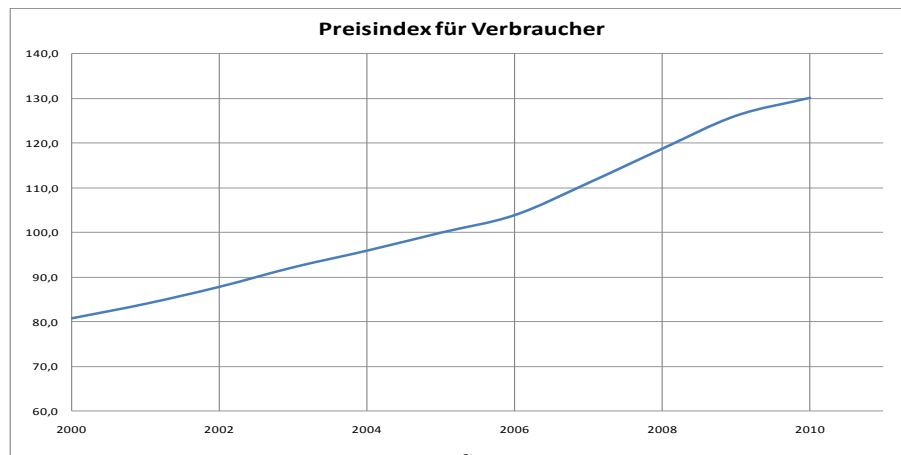


Abbildung 51: Energiepreisentwicklung in Deutschland jährlich
(Datenquelle: Statistisches Bundesamt, eigene Abbildung)

Die Auslegung des Wärmeerzeugers und der Wärmeübergabe (Wärmeleistung in kW) hat einen wesentlichen Einfluss auf die Investitionskosten. Die jeweilige Heizleistung ermittelt sich konventionell nach DIN EN 12831. Dieses Verfahren eignet sich bei Gebäuden und klimatischen Anforderungen dieser Art allerdings nur für statische Zustände und nur bedingt für dynamische Auf- und Abheizungen. Hierfür hat sich das Verfahren nach [Krischer/Kast] bewährt.

Die gesamte Heizlast bildet sich somit aus der Summe der benötigten statischen Heizleistung bei 8 °C Innentemperatur [DIN EN 12831] und der benötigten Heizleistung für die Aufheizung von 8 °C auf 12 °C [Krischer/Kast]. Als Außentemperatur wird für alle Berechnungen die Normaußentemperatur nach DIN EN 12831 mit -10 °C (Lübeck) angesetzt. Im Zuge der Vorplanungen wurden die Berechnungen durch die ENGEMA durchgeführt und in folgender Tabelle die Ergebnisse dargestellt.

	Heizlast in kW		
	Altarraum	Kirchenschiff	gesamte Kirche
statisch (8 °C innen)	15	20	35
Aufheizung (8 °C auf 12 °C)	3	7	10
Summe	18	27	45

Tabelle 8: Ergebnisse der Heizlastberechnung

Um Angaben zu den zu erwartenden Verbrauchskosten der jeweiligen Varianten tätigen zu können, ist es notwendig, den Wärmeenergiebedarf eines Gebäudes innerhalb eines Jahres (in kWh) zu ermitteln. Im herkömmlichen Wohnungs- und Zweckbau kann man auf genügend Erfahrungswerte zurückgreifen, um aus wenigen Parametern (z.B. Bruttogeschossfläche, Dämmstandard) den Wärmebedarf ziemlich genau abzuschätzen. Dies ist hier aufgrund von individuellem Heizverhalten (z.B. Heizzeiten, Innentemperaturen, Heizen zur Feuchteregulierung) nicht möglich. Deshalb wurde zur Bestimmung des Heizwärmebedarfs ein vereinfachtes Modell der Kirche Gudow mit dem dynamischen Gebäudesimulationsprogramm TRNSYS simuliert. Hierin ist ebenfalls eine vereinfachte Regelung der relativen Luftfeuchte über die Raumtemperatur berücksichtigt (siehe Abbildung 3, rot: Raumtemperatur, blau: Außentemperatur, pink: relative Feuchte innen)

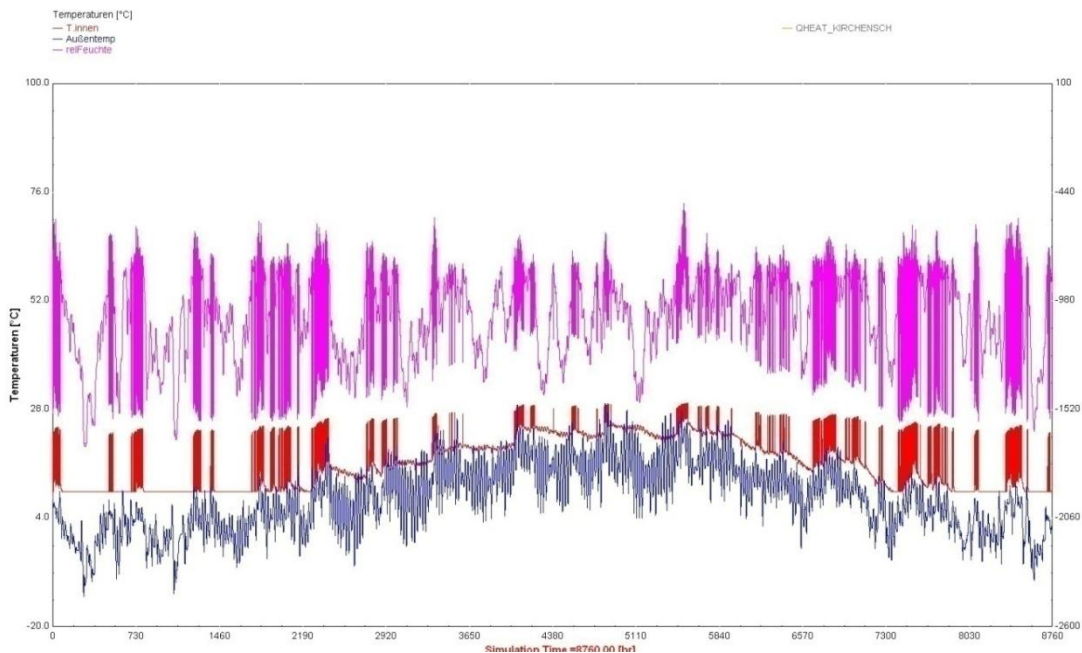


Abbildung 52: Simulation Wärmebedarf Kirche Gudow

Der zukünftige Wärmeenergiebedarf der Kirche Gudow liegt simuliert bei 50.000 kWh/a. Bisher lag dieser Wert gemessen im Jahr 2009/2010 bei 44.490 kWh/a. Eine leichte Erhöhung ist durchaus plausibel, da zukünftig der Feuchtehaushalt zusätzlich über die Heizung reguliert werden soll und daher mitunter auch im Sommer zur Vermeidung von Kondensat geheizt werden muss. Da in Zukunft eine Wärmepumpe zur Wärmeversorgung eingesetzt wird, wird der Endenergiebedarf (Strom) auf etwa 14.000 kWh sinken, da die Wärmepumpe etwa $\frac{3}{4}$ des gesamten Wärmeenergiebedarfs über Umweltwärme abdeckt.

Die Simulation für den Variantenvergleich wurde an einem vereinfachten Modell durchgeführt. Eine detaillierte Simulation wurde im weiteren Projektlauf durchgeführt. Für den Variantenvergleich wurden folgende weitere Randbedingungen zu Grunde gelegt:

- durchschnittliche Energiepreissteigerung pro Jahr: 6 %
- Nutzungsdauer der heiztechnischen Anlagen: 15 a
- durchschnittlicher Zinssatz für Fremdkapital: 3,5 %
- Nennwärmeleistung Wärmeerzeuger: 45 kW
- Nutzenergiebedarf Wärme: 50 MWh/a
- Endenergiebedarf Strom: 14 MWh/a

Beschreibung der Varianten „Wärmeerzeugung“

Wärmepumpen entziehen der Umwelt die Wärme, „pumpen“ sie auf ein höheres Temperaturniveau und machen sie so für die Beheizung nutzbar. Hierzu benötigt die Wärmepumpe Antriebsenergie. Der überwiegende Anteil der zurzeit eingesetzten Wärmepumpen verwendet hierfür elektrischen Strom. Der große Vorteil einer Wärmepumpe gegenüber einer direkten Beheizung mit elektrischem Strom ist, dass durch Nutzung der kostenlosen Umweltwärme mit dem Einsatz von 1 kWh Elektroenergie ca. 4 kWh Wärmeenergie erzeugt werden kann. Am effektivsten arbeiten Wärmepumpen in Verbindung mit Niedertemperatursystemen, wie Fußboden-, Wand- und Deckenheizungen. Diese benötigen aufgrund ihrer großen Übertragungsflächen nur geringe Heizwassertemperaturen, welche sich positiv auf die Effizienz einer Wärmepumpe auswirken.

VE 1 – Luft/Wasser-Wärmepumpe

In dieser Variante übernimmt eine Luft/Wasser-Wärmepumpe die gesamte Wärmeerzeugung, erforderlichenfalls können zum Erreichen der benötigten Wärmeleistung mehrere Wärmepumpen in Kaskade eingesetzt werden. Als Wärmequelle dient die Außenluft. Die der Luft entzogene Wärmeenergie und die Antriebsenergie der Wärmepumpe werden auf das Heizungswasser übertragen. Ein großer Vorteil der Luftwärmepumpe besteht in der einfachen Erschließung der Wärmequelle „Luft“ und die nahezu universelle Verwendbarkeit für die meisten Gebäude. Nachteile sind die sinkende Wärmeleistung und abnehmende Energieeffizienz der Wärmepumpe bei niedrigen Außenlufttemperaturen. Eine Aufstellung der Wärmepumpe im Turm der Kirche ist denkbar.

VE 2.1 – Sole/Wasser-Wärmepumpe mit Vertikalerdwarmsonde

Bei der Verwendung vertikal in die Erde führender Bohrungen mit einer Tiefe von bis zu 100 m, die mit Erdwärmesonden versehen sind, wird die vorhandene Wärme im Erdreich genutzt. Diese Wärmequelle zeichnet sich durch eine das ganze Jahr über annähernd gleichbleibende Temperatur von ca. 10°C aus. Dadurch kann die Wärmepumpe mit einer nahezu konstant bleibenden Effizienz arbeiten. Im Vergleich zu den Varianten der Wärmepumpen mit Erdkollektoren ist die Erschließung dieser Wärmequelle jedoch mit relativ hohen Kosten verbunden. Es wären für diesen Fall etwa 8 Bohrungen von 100 m Tiefe erforderlich. Zur Berechnung und Planung der Erdsonden empfiehlt sich die Durchführung eines Geothermal Resonsetest, wie ihn die Richtlinie VDI 4640 für Anlagen mit mehr als 30 kW Wärmeleistung empfiehlt. Hierbei wird eine Probesonde, die später wie die anderen Sonden genutzt werden kann, für Messungen, z.B. der Wärmeleitfähigkeit der Sonde im Erdreich und weiteren relevanten Daten für die genaue Auslegung des Erdsondenfeldes, verwendet. Weiterhin sind diese Daten für Simulationen nutzbar. Bei Nutzung der Gemeindewiese als Standort des Sondenfeldes sind ebenfalls Erdleitungen zum Aufstellraum der Wärmepumpe erforderlich.

VE 2.2 – Sole/Wasser-Wärmepumpe mit Schrägerdwarmsonden

Diese Variante mit Schrägbohrungen, die von Schächten ausgehen, findet überwiegend dann Anwendung, wenn weniger Platz vorhanden ist, als für Vertikalbohrungen notwendig wäre. Ein weiteres Einsatzgebiet wäre eine in der Tiefe begrenzte Bohrmöglichkeit. Da die Kosten höher liegen als für Vertikalbohrungen (z.B. durch Einsatz von Spezialmaschinen), ist bei ausreichenden Platzverhältnissen den Vertikalbohrungen der Vorzug zu geben. In Deutschland führen derzeit nur 5 Firmen derartige Bohrungen im GRD-Verfahren (GRD = Geothermal Radial Drilling) aus.

VE 3.1 – Sole/Wasser-Wärmepumpe mit Erdkollektoren

In diesem Anwendungsfall werden Kunststoffrohre ähnlich einer Fußbodenheizung im Erdboden in einer Tiefe von 1,2–1,5 Metern verlegt. Diese Kunststoffrohre werden von frostgeschützter Flüssigkeit (Sole) durchströmt. Die Wärmepumpe entzieht der Erde die gespeicherte Wärmeenergie mittels dieser Erdkollektoren. Ein Vorteil dieser Variante ist in der relativ hohen Temperatur der Wärmequelle zu sehen, die nur selten unter 0 °C sinkt. Hierdurch arbeitet die Wärmepumpe bei niedrigen Außentemperaturen effizienter als bspw. eine Luft/Wasser-Wärmepumpe. Nachteilig wirken sich die wesentlich höheren Kosten und Platzbedarf für die Erschließung der Wärmequelle aus. Zur Deckung des Wärmebedarfes der Kirche wäre eine Fläche von ca. 2000 m² erforderlich. Diese Fläche sollte weder versiegelt noch mit Bäumen bepflanzt werden. Bei Nutzung der Gemeindewiese für diesen Zweck müssen von dort erdverlegte Rohre bis zur Wärmepumpe in das Gebäude geführt werden.

VE 3.2 – Sole/Wasser-Wärmepumpe mit Spiralkollektoren

Diese Variante unterscheidet sich von der Variante 2 in der Ausführung der Erdkollektoren. Hier werden spiralförmig gewickelte Kunststoffrohre eingesetzt, die in einer Tiefe bis zu 3,5 m installiert werden. Bei den Erdarbeiten werden 1,5 m tiefe Gräben ausgehoben. Darin werden maschinell Bohrungen für die Spiralkollektoren erstellt und diese in den Boden eingelassen. Der wesentliche Vorteil dieser Variante gegenüber den Flächenkollektoren ist im geringeren Platzbedarf zu sehen. Bei 4 m² Platzbedarf je Kollektor und einer für die Kirche Gudow geschätzten benötigten Anzahl von 90 Spiralkollektoren ergeben sich 360 m².

Beschreibung der Varianten „Wärmeübergabe“

VÜ 1 Kombination aus Decken-, Fußboden- und Wandheizung

Bei dieser Variante wird die Kirche über die Holzdecke in Altarraum und Kirchenschiff komplett mit von oben auf den Holzbrettern aufliegenden Heizungsrohren beheizt. Darüber wird eine Wärmedämmung aufgebracht, die eine Wärmeabgabe nach oben in den Dachbodenraum verhindert. Zuvor muss der vorhandene Fußboden und die Einblasdämmung demontiert werden, was einen erheblichen Aufwand bedeutet. Die Wärmeabgabe in den Kirchenraum erfolgt über Wärmestrahlung. Die übertragbare Leistung ist geringer als bei der Variante „Deckenheizung zwischen den Balken“, da die Holzdecke für die Wärmeleitung einen größeren Widerstand darstellt als die speziellen Verkleidungsplatten des Deckenheizungssystems.

Zusätzlich kommen Fußbodenheizungen im Altarraum und im Kirchenschiff zur Anwendung. Hierzu wird der vorhandene Fußboden entfernt und mit einer Warmwasserfußbodenheizung neu aufgebaut. Die derzeitige Fußbodenhöhe wird beibehalten, Einbauten wie Patronatsgestühl oder Altar bleiben von diesen Maßnahmen unberührt. Eine Wandheizung im Bereich des Kastengestühls bis zur Höhe der Brüstung sorgt zusätzlich für behagliche Strahlungswärme.

VÜ 2 Deckenstrahlplatten und Bankkonvektoren

Bei dieser Variante werden spezielle Strahlplattenheizkörper aus Metall zwischen den Balken von der Decke abgehängt. Diese sind von Warmwasser durchströmt und nach oben hin wärmegeklärt, sodass die Wärme nach unten über Strahlung abgegeben wird. Unter den Bankreihen werden mit entsprechenden Halterungen versehene Konvektorheizkörper aufgehängt. Diese werden ebenfalls von warmem Heizungswasser durchströmt und geben ihre Wärme überwiegend durch Konvektion, aber auch durch einen Strahlungsanteil ab. Die Luftbewegungen über den Konvektoren lassen sich nicht gesichert vorhersagen, da die Hersteller und auch die einschlägige Literatur (z.B. [ARE93]) nur für den Hochtemperaturbereich Aussagen treffen. Bei einer Vorlauftemperatur von 70 °C liegt die Luftgeschwindigkeit über einem Konvektor nach KAMPMANN bei ca. 0,2 m/s. In der Kirche Gudow werden die Konvektoren in Zukunft jedoch mit max. 40 °C Vorlauftemperatur betrieben, d.h., die Luftgeschwindigkeit über den Konvektoren wird wesentlich kleiner als 0,2 m/s sein. Lt. DIN EN ISO 7730 liegt die Behaglichkeitsgrenze für die Luftgeschwindigkeit bei 20 °C Empfindungstemperatur bei 0,16 m/s. Um konkrete Aussagen treffen zu können, wird hierfür eine Strömungssimulation empfohlen. Die Variante VÜ 2 hat den Vorteil, dass die Eingriffe in die vorhandene Bausubstanz am geringsten ausfallen.

VÜ 3 Kombination aus Decken- und Fußbodenheizung mit Bankkonvektoren

Zwischen den Deckenbalken in Altarraum und Kirchenschiff wird ein spezielles Deckenheizungssystem in Trockenbauweise installiert. Die Balken bleiben dabei größtenteils sichtbar, die Gipsausbauplatten können aus verschiedenen Varianten ausgewählt werden. In dieser Variante sind Heizungswasser führende Rohrleitungen, baugleich mit Fußbodenheizungsroh-

ren, Teil des Systems zur Wärmeübergabe. Im Altarraum wird der Fußboden wie in Variante 1 aufgenommen und einschließlich Warmwasserfußbodenheizungssystem wieder auf die ursprüngliche Höhe aufgebaut. Im Schiff werden im Bereich des Kirchengestühls Podeste errichtet, die ein Fußbodenheizungssystem in Trockenbauweise enthalten. Ergänzend hierzu werden Bankkonvektoren in Wandnähe montiert. Diese sind von den Abmessungen kleiner und haben somit eine geringere Leistung als die Konvektoren der Variante 2.

VÜ 4 Kombination aus Deckenstrahlplatten und Fußbodenheizung

Diese Variante vereinigt Deckenstrahlplattenheizung der Variante 2 mit Fußbodenheizung in Altarraum und Kirchenschiff der Variante 1. Es werden die Fußböden aufgenommen und einschließlich einer Fußbodenheizung zur gleichen Höhe wieder aufgebaut. Auch hierbei bleiben die Einbauten wie Altar und Patronatsgestühl im Altarraum von den Umbauarbeiten unberührt. Die Deckenstrahlplatten werden zwischen den Balken hängend montiert.

Folgende Tabelle zeigt die Kostenaufstellung und den -vergleich für Investition, Verbrauch und Wartung der einzelnen Wärmeerzeugervarianten:

	VE 1	VE 2.1	VE 2.2	VE 3.1	VE 3.2
	Luft/Wasser-Wärmepumpe	Sole/Wasser-Wärmepumpe Vertikalbohrung	Sole/Wasser-Wärmepumpe Schrägbohrung	Sole/Wasser-Wärmepumpe Flächenkollektor	Sole/Wasser-Wärmepumpe Spiralkollektor
Arbeitspreis Strom heute	147,00 €/MWh				
mittlerer Arbeitspreis Strom über 15a	228,10 €/MWh				
Jahresarbeitszahl berechnet VDI 4650	3,53	4,26	4,26	4,16	4,16
Nutzenergiebedarf gesamt simuliert	50 MWh/a				
Endenergiebedarf Strom	14 MWh/a	12 MWh/a	12 MWh/a	12 MWh/a	12 MWh/a
Nennleistung der Anlage	45 kW				
Zinssatz für Fremdkapital	3,50%				
Investitionskosten ca.	42.000 €	85.700 €	89.200 €	51.200 €	55.200 €
mittl. Verbrauchskosten ohne MwSt.	3.230,94 €/a	2.677,28 €/a	2.677,28 €/a	2.741,64 €/a	2.741,64 €/a
Mehrwertsteuer	19%				
Verbrauchskosten inkl. MwSt.	3.844,82 €/a	2.677,28 €/a	2.677,28 €/a	2.741,64 €/a	2.741,64 €/a
Investitionskosten inkl. MwSt.	49.980 €	101.983 €	106.148 €	60.928 €	65.688 €
Kapitalkosten (inkl. MwSt 19%)	4.340 €/a	8.855 €/a	9.216 €/a	5.290 €/a	5.703 €/a
Wartung und Instandhaltung	200 €/a	200 €/a	200 €/a	200 €/a	200 €/a

Tabelle 9: Kostenaufstellung und -vergleich für Investition, Verbrauch und Wartung der einzelnen Wärmeerzeugervarianten

Folgende Tabelle zeigt die Kostenaufstellung für Investitionen der einzelnen Wärmeübergabevarianten inklusive der aus den einzelnen Varianten resultierenden Kosten in der Kostengruppe 300 (Bauwerk-Baukonstruktion):

	VÜ 1	VÜ 2	VÜ 3	VÜ 4
Zinssatz für Fremdkapital	3,50%			
geschätzte Investitionskosten KG 400	23.200 €	76.000 €	72.000 €	45.200 €
geschätzte Investitionskosten KG 300	152.000 €	53.000 €	100.865 €	122.540 €
geschätzte Kapitalkosten KG 400	2.397 €/a	7.852 €/a	7.439 €/a	4.670 €/a
geschätzte Kapitalkosten KG 300	15.705 €/a	5.476 €/a	10.422 €/a	12.661 €/a
Mehrwertsteuer	19%			
Investitionskosten inkl. MwSt.	208.488 €	153.510 €	205.709 €	199.611 €
Kapitalkosten inkl. MWSt.	18.102 €/a	13.329 €/a	17.861 €/a	17.331 €/a

Tabelle 10: Kostenaufstellung für Investitionen der einzelnen Wärmeübergabevarianten

Die folgende Abbildung zeigt die Gegenüberstellung aller insgesamt 20 Varianten.

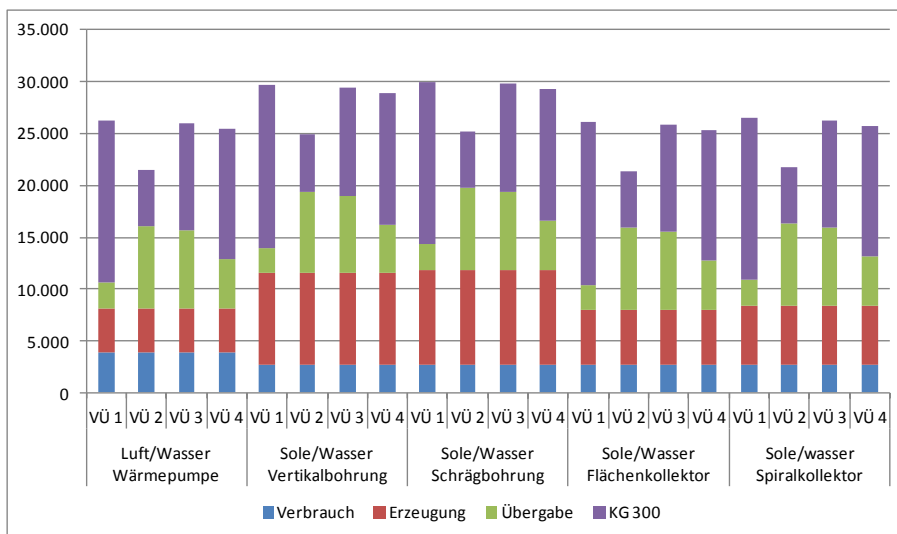


Abbildung 53: Gesamtkostenvergleich alle Varianten

Als insgesamt wirtschaftlichste Varianten stellen sich die Luft/Wasser-Wärmepumpe und die Sole/Wasser-Wärmepumpe mit Erd- und Spiralkollektoren in Kombination mit Deckenstrahlplatten und Kirchenbankkonvektoren (VÜ 2) heraus. Unter den Gesichtspunkten

- Wirtschaftlichkeit,
- Reversibilität,
- Übertragbarkeit und
- Denkmalschutz (geringster baulicher Eingriff, aber sichtbar)

ist die Variante VE 1 (Luft/Wasser-Wärmepumpe) in Kombination mit Deckenstrahlplatten und Kirchenbankkonvektoren (VÜ 2) zu empfehlen. Der große Vorteil dieser Variante liegt in der einfachen Erschließung der Wärmequelle „Luft“. Es ist außerdem ein System, dass am ehesten in anderen Kirchen zu realisieren ist. Weiterhin zeichnet sich diese Variante durch seine Reversibilität mit dem geringsten Aufwand aus.

Unter den Gesichtspunkten

- Behaglichkeit,
- geringe Verbrauchskosten,
- Verbesserung Feuchtehaushalt (diffusionsoffener Fußboden),
- geringste Konvektion und
- Erscheinungsbild

ist die Variante VE 3.2 (Sole/Wasser-Wärmepumpe mit Spiralkollektoren) in Kombination mit Deckenstrahlplatten und Fußbodenheizung (VÜ 4) zu empfehlen. Eine Erschließung der Wärmequelle „Erde“ über die Spiralkollektoren ist hier möglich (Gemeindewiese). Der Vorteil gegenüber der Luft/Wasser-Wärmepumpe ist die höhere Effizienz der Sole/Wasser-Wärmepumpe. Dies ermöglicht geringere Verbrauchskosten als eine Luft/Wasser-Wärmepumpe. Außerdem ist dieses System ganzjährig monovalent, d.h., ohne zusätzlichen Heizstab betreibbar. Der Flächenbedarf von Spiralkollektoren ist wesentlich geringer als von horizontalen Erdkollektoren. Damit reduziert sich die Fläche, die später weder mit Bäumen bepflanzt, noch versiegelt werden darf. Des Weiteren verringert sich der Aufwand für die Erdarbeiten. Erdsondenbohrungen bringen gegenüber den Erdkollektoren aufgrund der hohen Kosten keine entscheidenden Vorteile. Sie sind in Sonderfällen empfehlenswert, beispielsweise bei zu geringem Flächenangebot.

Die Wärmeübergabevariante VÜ 4 empfiehlt sich unter dem Aspekt der Behaglichkeit durch die Verwendung von Strahlungsheizungen, da bei Konvektoren Luftbewegungen nicht gänzlich vermieden werden können. Die Variante beinhaltet die Demontage des versiegelten Fußbodens im Altarraum und im Kirchenschiff und ermöglicht hierdurch im Zuge des Einbaus einer neuen Fußbodenheizung einen diffusionsoffenen Oberbelag (Ziegel). Es entsteht ein Speicher, der den Feuchtehaushalt in der Kirche positiv beeinflussen kann. Die Deckenstrahlplatten lassen sich ohne große Eingriffe in die Bausubstanz einbauen und sind mit relativ geringem Aufwand zurückzubauen.

Nach Abwägen aller Vor- und Nachteile der Systeme in den Planerrunden wurde der Kirchengemeinde Gudow zur Temperierung der Kirche St. Marien die Luft/Wasser-Wärmepumpe in Kombination mit abgehängten Deckenstrahlplatten und Fußbodenheizung mit komplett neuem Aufbau empfohlen. Dieser Vorschlag wurde auf der Kirchengemeinderatssitzung am 08.12.2012 durch die Kirchengemeinde Gudow angenommen.

Zusammenfassend sind folgende Eigenschaften dieser Variante zu nennen:

- Wärmeerzeugung mit Luft/Wasser-Wärmepumpe unter Nutzung von Ökostrom zu 100 % regenerativ
- Aufstellung der Luft/Wasser-Wärmepumpe im Kirchturm, damit kurze Wege und somit wenig Wärmeverluste zwischen Wärmeerzeugung und Wärmeübergabe
- Wärmeerzeugung mit Luft/Wasser-Wärmepumpe auf andere Objekte übertragbar, da leichte Erschließung der Wärmequelle Außenluft
- hohe relative Behaglichkeit durch Flächenübergabesysteme (Deckenstrahlplatten und Fußbodenheizung)
- Wärmeübergabesysteme mit geringster Konvektion durch geringe Temperaturen auf großen Flächen; keine Schwärzung von Wänden/Flächen
- Verbesserung des Feuchtehaushalts in der Kirche durch Erneuerung des Fußbodens (neuer Fußboden nimmt bei hoher Luftfeuchtigkeit Feuchte auf und gibt diese bei geringer Luftfeuchte wieder ab)
- mit Deckenstrahlplatten wenig Eingriff in die Bausubstanz
- Regelung der Raumluftfeuchte über die Raumtemperatur

Einsparungen

Unter den genannten Bedingungen beträgt die Heizkosteneinsparung ca. 5.000 € pro Jahr. Die CO₂-Einsparung pro Jahr bei vorheriger und weiterer Nutzung von „normalem“ Strom beträgt ca. 18.000 kg. Die CO₂-Einsparung pro Jahr bei vorheriger und weiterer Nutzung von Öko-Strom beträgt ca. 1.200 kg.

4.2.6. Gebäudesimulation und Monitoring in Gudow

Autor: Jens Peters

Das bisherige Heizverhalten ist geprägt von relativ hohen Innentemperaturen in den Wintermonaten (14–20 °C) und einer daraus resultierenden geringen relativen Luftfeuchte (30 %) über einen längeren Zeitraum. Als Folge daraus sind Austrocknungserscheinungen und Rissbildungen an Kunstgütern zu erkennen.

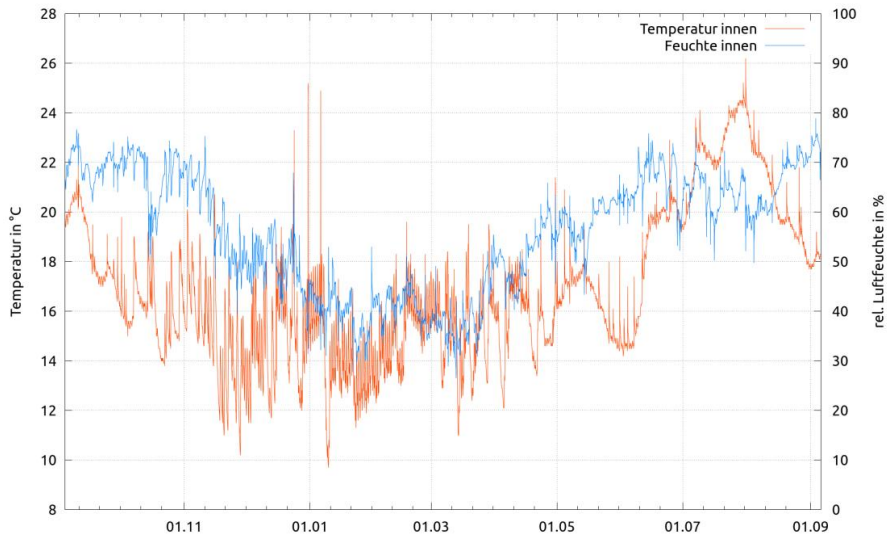


Abbildung 54: Verlauf Temperatur und relative Feuchte 6.9.2005 bis 6.9.2006

Folgende Abbildung zeigt den geordneten Jahrgang der gemessenen Innentemperatur vom 6.9.2005 bis zum 6.9.2006. Es wird ersichtlich, dass die Innentemperatur an ca. 8.500 h im Jahr (1 Jahr = 8.760 h) über 12 °C gelegen hat. Dies ist teilweise auf natürliche Erwärmung im Sommer, aber vorwiegend auf Überheizung zurückzuführen.

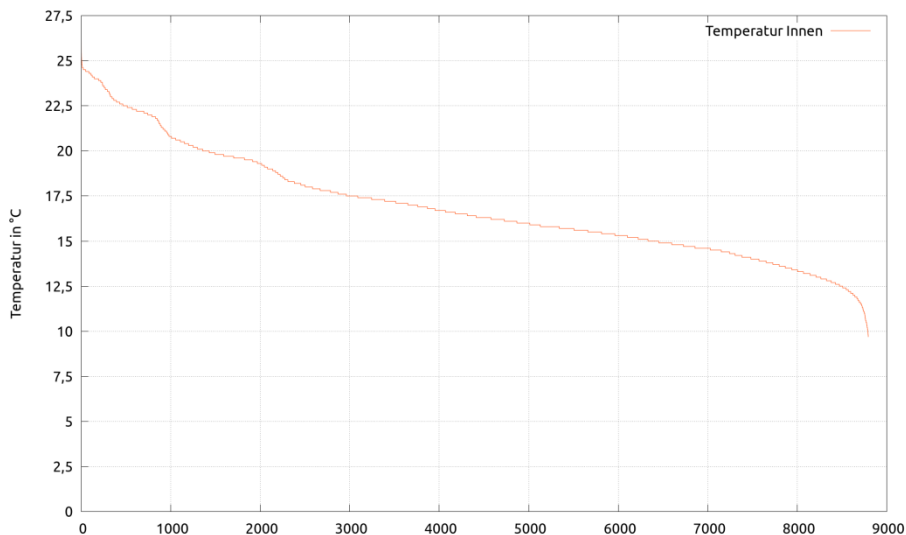


Abbildung 55: Geordneter Jahrgang Temperatur 6.9.2005 bis 6.9.2006

Nachfolgende Abbildung zeigt den geordneten Jahrgang der gemessenen relativen Raumluftfeuchte vom 6.9.2005 bis zum 6.9.2006. Es wird ersichtlich, dass die relative Raumluftfeuchte an ca. 3.800 h im Jahr unter den geforderten 55 % lag. Dies ist vorwiegend auf Überheizung zurückzuführen.

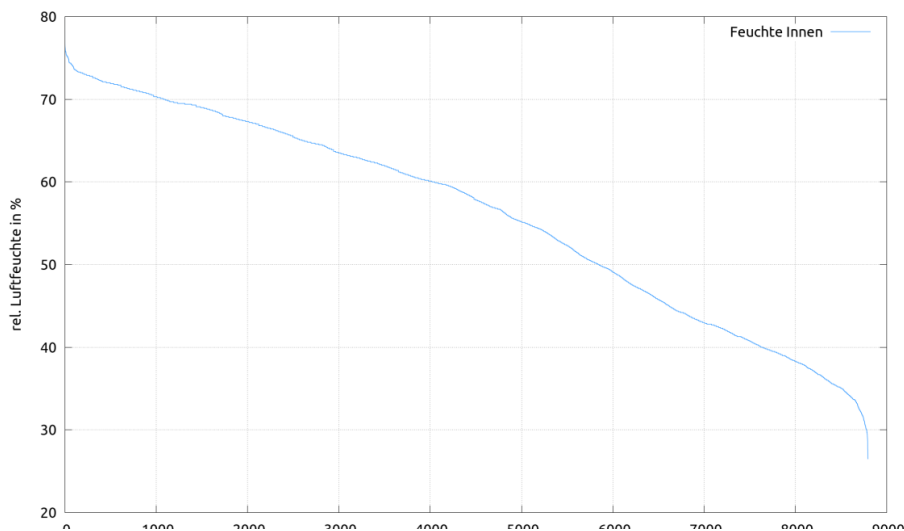


Abbildung 56: Geordneter Jahresgang Feuchte 6.9.2005 bis 6.9.2006

Bei der verwendeten Software handelt es sich um das instationäre Simulationsprogramm TRNSYS (Transient Simulation Program) der Universität Wisconsin-Madison (USA). Das Programm ermöglicht durch eine dynamische Betriebssimulation unter Bereitstellung verschiedener numerischer Routinen zur Lösung partieller Differentialgleichung das Nachempfinden des thermisch-dynamischen Verhaltens des Gebäudes.

Im Rahmen der Simulation wurde eine Infiltration der Außenluft von $0,15 \text{ h}^{-1}$ Luftwechseln angenommen. Da die Infiltration baulich bedingt und somit permanent vorhanden ist, wird sie in der Gebäudesimulation von 0.00 bis 24.00 Uhr über das ganze Jahr angesetzt. Der angesetzte Luftwechsel hat erheblichen Einfluss auf den Wärmebedarf eines Gebäudes, kann jedoch zweifelsfrei nur über eine Messung, z.B. Blower-Door-Test, bestimmt werden. Da diese Messung nicht Bestandteil des Projektes ist bzw. war, wurde ein plausibler Wert geschätzt. In [ExJa05] wird z.B. beschrieben: „...“, dass es in einer mittleren Kirche pfeifen und jaulen würde bei einem üblicherweise behaupteten aber niemals gemessenen 1-fachen Luftwechsel.“. Da die Kirche Gudow zudem keine wesentlichen Undichtigkeiten aufweist (sanierte Fenster, gedämmte Decke, keine undichten Fugen), wurde der oben genannte Luftwechsel von $0,15 \text{ h}^{-1}$ als plausibel eingestuft. Da in der Nutzungszeit durch geöffnete Türen mit einem höheren Luftwechsel als durch reine Infiltration zu rechnen ist, wurde für diese Zeit der Luftwechsel um $0,1 \text{ h}^{-1}$ erhöht. Die Nutzungszeit wurde mit 8 h an zwei Tagen pro Woche angenommen. Während dieser Zeit beträgt die Soll-Innenraumtemperatur 12 °C , außerhalb der Nutzungen 8 °C .

Geregelt wird die Innentemperatur über eine Innenraumregelung. Ein PID-Regler misst die Innentemperatur (Führungsgröße) und stellt zum Erreichen bzw. Halten der Soll-Innenraumtemperatur immer die optimale Vorlauftemperatur des Heizsystems ein. Es handelt sich somit um einen geschlossenen Regelkreis. Da die Wärmeübergabesysteme auf eine maximale Vorlauftemperatur von 45 °C ausgelegt wurden, ist die Temperatur im Regler auf diesen Wert begrenzt. Die eingestellte Vorlauftemperatur wirkt immer auf beide Systeme (DSP und FBH) gleich. Des Weiteren ist die Regelung der relativen Feuchte über die Raumlufttemperatur implementiert. Liegt die gemessene relative Feuchte außerhalb festgesetzter Grenzen, ist nicht mehr die Innentemperatur sondern die Feuchte die Führungsgröße. Der Regler stellt nun über die Vorlauftemperatur und somit über die Raumlufttemperatur den Feuchte-Sollwert ein.

Als weitere Grundlage der Simulation wurde ein Jahreswetterdatensatz in stündlicher Auflösung aus der globalen Klimadatenbank Meteonorm der Meteotest GmbH Deutschland für den Ort Hamburg-Fuhlsbüttel (etwa 60 km westlich von Gudow) verwendet. Letztgenannter Datensatz wurde seitens der Firma Meteonorm eigens für die verwendete Simulationssoftware TRNSYS bereitgestellt.

Um den Effekt der Feuchteregelung über die Innenraumtemperatur darstellen zu können, wurde vorerst ohne Feuchteaufschaltung simuliert. Folgende Abbildung zeigt als Ergebnis den geordneten Jahresgang der relativen Feuchte und der Innentemperatur. Die Innentemperatur übersteigt an 4.700 h pro Jahr 12 °C, dies ist auf witterungsbedingte Erwärmung zurückzuführen. Die maximale Innentemperatur liegt bei 25 °C im Sommer. Die relative Feuchte übersteigt an ca. 1.500 h im Jahr die 70 % Marke, der Maximalwert liegt bei 92 %. An ca. 3.800 h im Jahr werden die 55 % unterschritten. Der Minimalwert liegt bei 30 %. Somit liegt die Feuchte an 3.460 h pro Jahr im geforderten Bereich von 55–70 %.

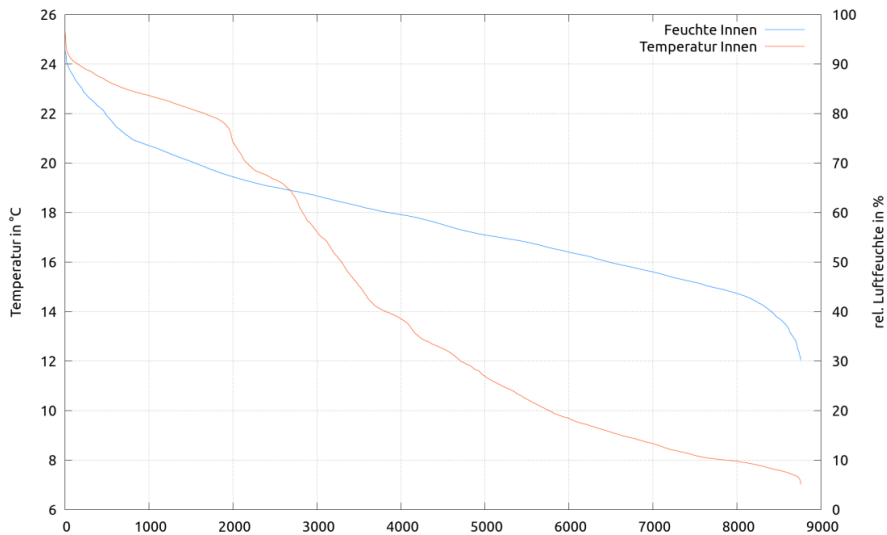


Abbildung 57: Geordneter Jahresgang Temperatur und Feuchte ohne Feuchteregelung

Nachfolgende Abbildung zeigt den monatlichen Wärmebedarf über ein Jahr, aufgeteilt auf die Wärmeübergabesysteme „Fußbodenheizung“ und „Deckenstrahlplatten“. In der Summe liegt der Wärmebedarf ohne Feuchteaufschaltung bei 31.000 kWh pro Jahr.

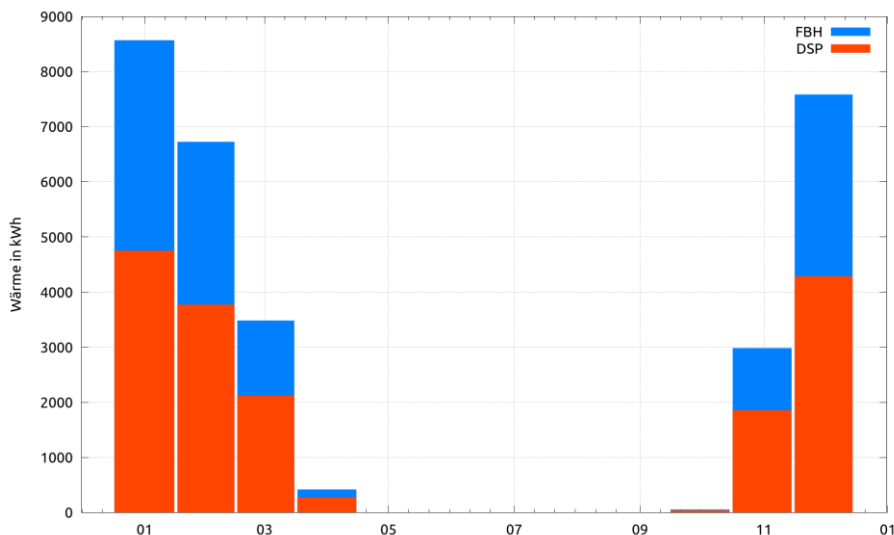


Abbildung 58: Monatlicher Wärmebedarf ohne Feuchteregelung

Folgende Abbildung zeigt als Ergebnis der Simulation die Außentemperatur, die Innentemperatur und die relative Feuchte innen in ¼ h-Werten über einen Zeitraum von einem Jahr mit Feuchteregelung.

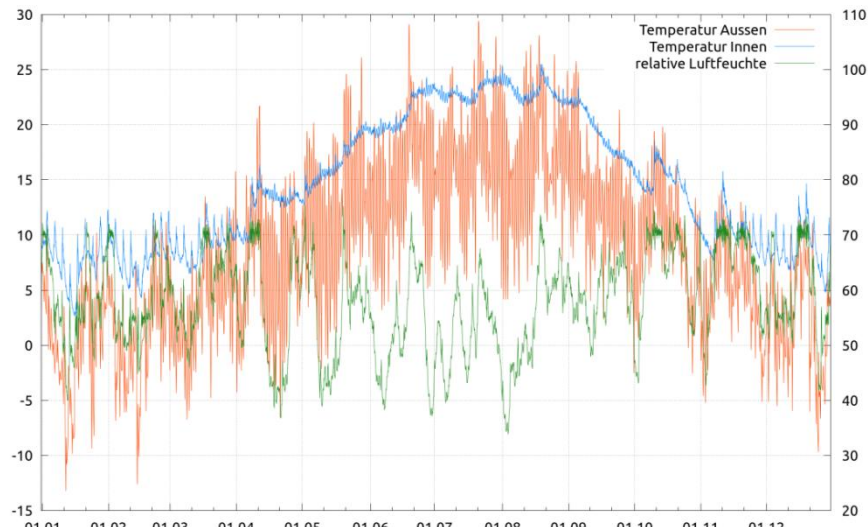


Abbildung 59: Simulationsergebnis mit Feuchteregelung (ein Jahr)

Es wird anschaulich, dass die Innentemperatur in der Nutzungszeit zur Aufrechterhaltung der geforderten Feuchte von min. 55 % unter 8 °C sinken kann. Beispielhaft hierfür zeigt die nächste Abbildung die simulierte Woche vom 12.02. bis zum 19.02. Durch die Trägheit des Gebäudes und des Heizsystems sind der Feuchteregelung Grenzen gesetzt. Z.B. kann einer plötzlichen Reduzierung der Feuchte unter 55 % nicht immer in gewünschtem Maße entgegengewirkt werden. Dies ist dadurch bedingt, dass die Speichermassen der Kirche aufgeheizt sind und sich nur relativ langsam abkühlen.

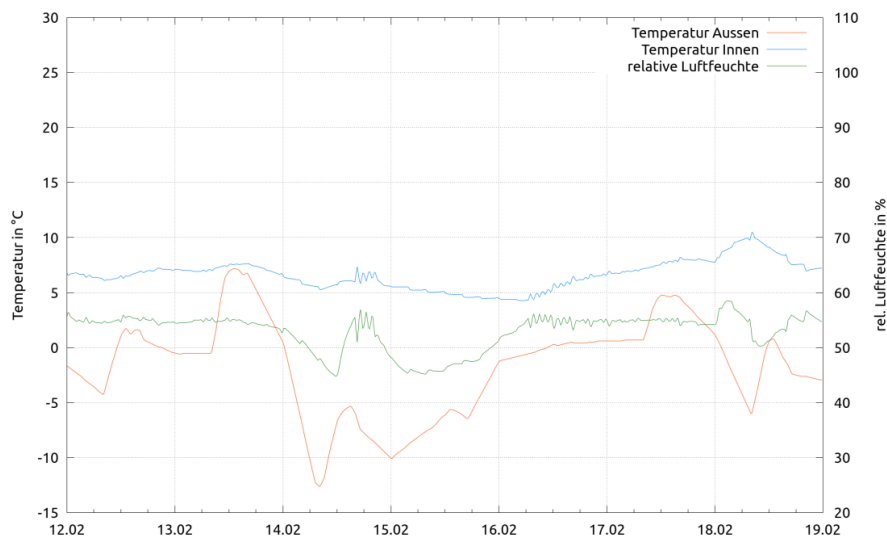


Abbildung 60: Simulationsergebnis mit Feuchteregelung (eine Woche)

Es ist ebenfalls ersichtlich, dass die Temperatur in der Kirche bei Überschreiten der relativen Luftfeuchte von 70 % teilweise angehoben werden muss. Dies geschieht jedoch relativ selten und in erträglichem Maße. Beispielhaft hierfür zeigt die nächste Abbildung die simulierte Woche vom 05.11. bis zum 12.11.. Es ist erkennbar, dass die relative Luftfeuchte am 08.11. die obere Grenze von 70 % erreicht. Infolgedessen wird durch die Regelung die Innentemperatur auf ca. 10 °C gehalten. Am 11.11. steigt die Feuchtigkeit weiter, die Regelung reagiert mit Anheben der Innentemperatur auf ca. 15 °C, um die Feuchtigkeit auf 70 % zu halten.

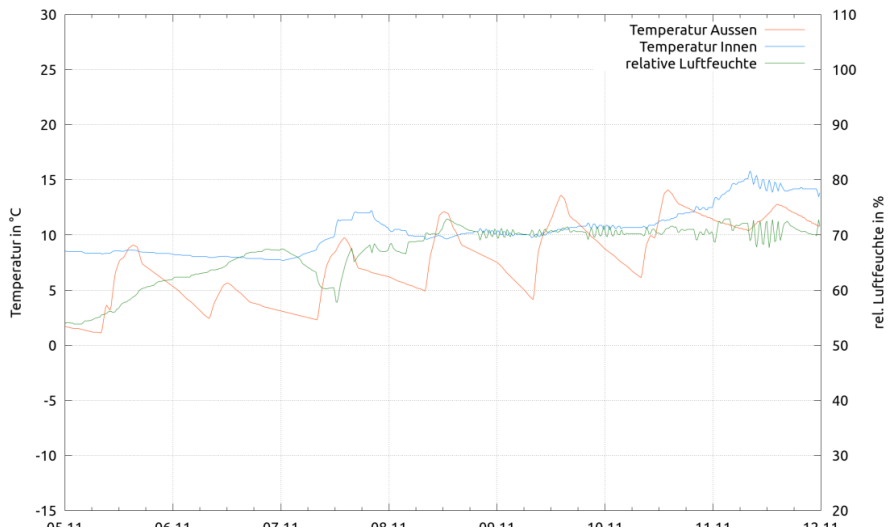


Abbildung 61: Simulationsergebnis mit Feuchteregelung eine Woche

Nachfolgende Abbildung zeigt den monatlichen Wärmebedarf über ein Jahr aufgeteilt auf die Wärmeübergabesysteme „Fußbodenheizung“ und „Deckenstrahlplatten“. In der Summe liegt der Wärmebedarf mit Feuchteaufschaltung bei 32.200 kWh pro Jahr. Dies unterscheidet sich nur geringfügig von der Variante „ohne Feuchteaufschaltung“ (31.000 kWh). Der Mehrverbrauch durch Aufheizung zur Regulierung zu hoher Feuchte wird durch Heizpausen zur Regulierung zu geringer Feuchte weitestgehend kompensiert.

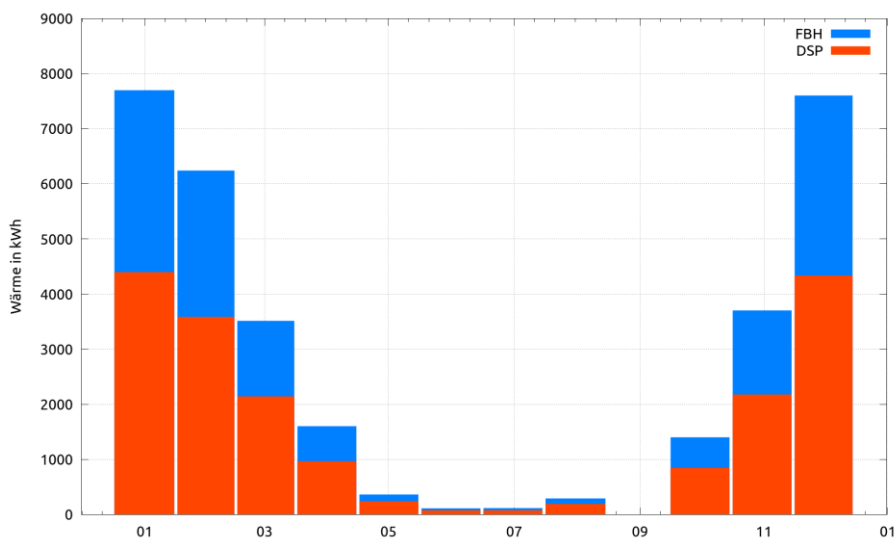


Abbildung 62: Monatlicher Wärmebedarf mit Feuchteregelung

Folgende Abbildung zeigt als Ergebnis der Simulation „mit Feuchteregelung“ den geordneten Jahresgang der relativen Feuchte und der Innentemperatur. Die Innentemperatur übersteigt an ca. 5.000 h pro Jahr 12 °C. 4.700 h pro Jahr sind auf witterungsbedingte Erwärmung zurückzuführen (Ergebnis Simulation „ohne Feuchteregelung“). Die maximale Innentemperatur liegt bei 25 °C im Sommer. Die minimale Temperatur liegt bei 2,5 °C im Winter, bedingt durch Abkühlung zur Feuchteregulierung.

Die relative Feuchte übersteigt an ca. 800 h im Jahr die 70 % Marke, der Maximalwert liegt bei 75 %. An ca. 2.800 h im Jahr werden die 55 % unterschritten. Der Minimalwert liegt bei 35 %. Somit liegt die Feuchte an 5.160 h pro Jahr im geforderten Bereich von 55–70 %.

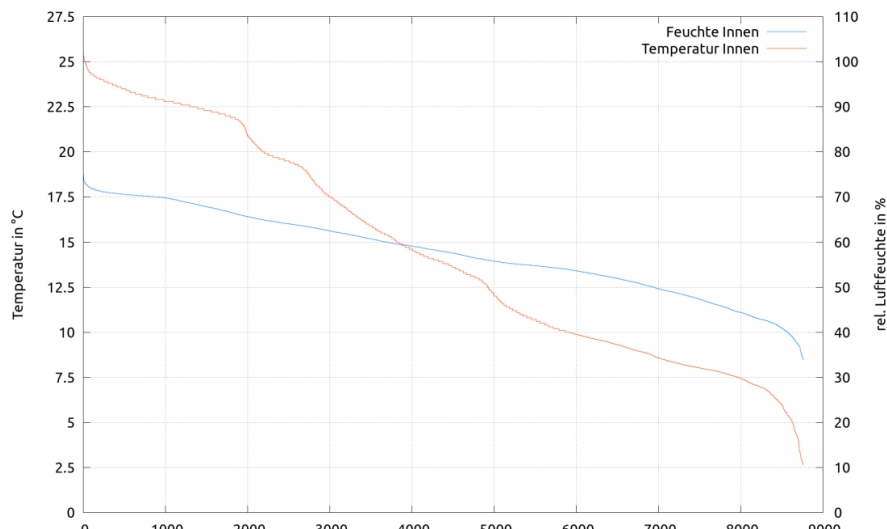


Abbildung 63: Geordneter Jahresgang Feuchte und Temperatur simuliert (mit Feuchteregelung)

Die benötigte Heizleistung für die Kirche Gudow beträgt gesamt 45 kW. Die Heizleistung für den stationären Zustand bei 8 °C Innentemperatur wurde nach [DIN12831] ermittelt und beträgt 35 kW. Die Heizleistung für den Aufheizvorgang von 8 °C auf 12 °C wurde nach dem Verfahren von Krischer und Kast, welches auch in [VDI3817] empfohlen wird, ermittelt und beträgt 10 kW.

Folgende Abbildung zeigt als Ergebnis der Simulation „mit Feuchteregelung“ den Heizleistungsverlauf in ¼ h-Werten über ein Jahr. Es wird ersichtlich, dass die Heizleistung von 45 kW an einigen Stunden im Jahr überschritten wird. Dies ist mit den auf 45 kW ausgelegten Wärmeübergabesystemen durch eine höhere Temperaturdifferenz zur Innenluft während der Aufheizphasen durchaus möglich. Ebenfalls ersichtlich wird die sporadische Aufheizung in den Sommermonaten zur Feuchteregelung.

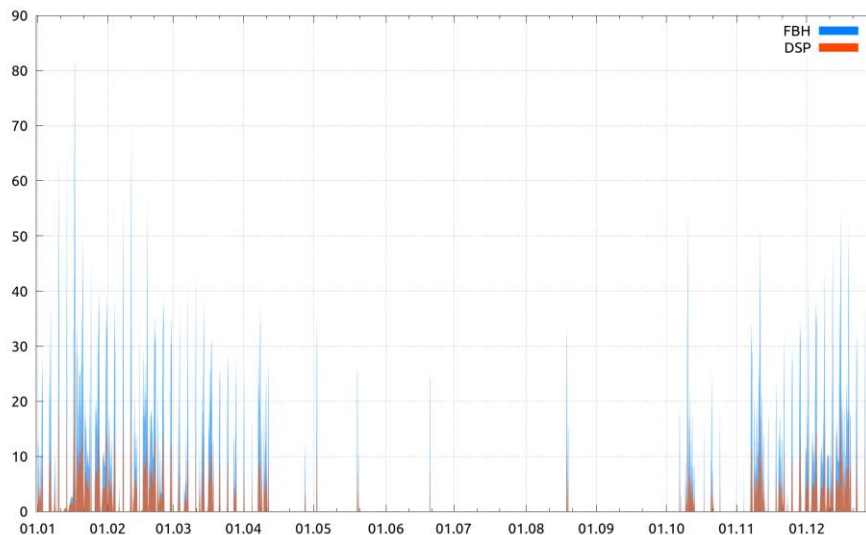


Abbildung 64: Verlauf Heizleistung simuliert über ein Jahr ¼ h-Werten

Folgende Abbildung zeigt als Ergebnis der Simulation „mit Feuchteregelung“ den geordneten Jahresgang der Heizleistungen in ¼ h-Werten. Es wird deutlich, dass die Auslegung Heizleistung an ca. 100 h im Jahr überschritten wird. Dies ist mit den auf 45 kW ausgelegten Wärmeübergabesystemen physikalisch möglich.

Es wird durch die Autoren empfohlen, die Wärmeerzeugung nicht auf diese kurzzeitigen Leistungsspitzen auszulegen, sondern diese durch einen ohnehin benötigten Pufferspeicher auszugleichen. Anhand der Simulationsergebnisse kann dieser Puffer nun exakt ausgelegt werden. Der Ausgleich der Leistungsspitzen mit einem Heizwasser-Pufferspeicher ist hier möglich, da einer Aufheizphase hier immer eine Absenkphase und eine Phase mit Grundtemperatur vorangehen. Während dieser Zeit hat die 45 kW-Wärmepumpe Leistungsreserven und kann den Puffer „füllen“.

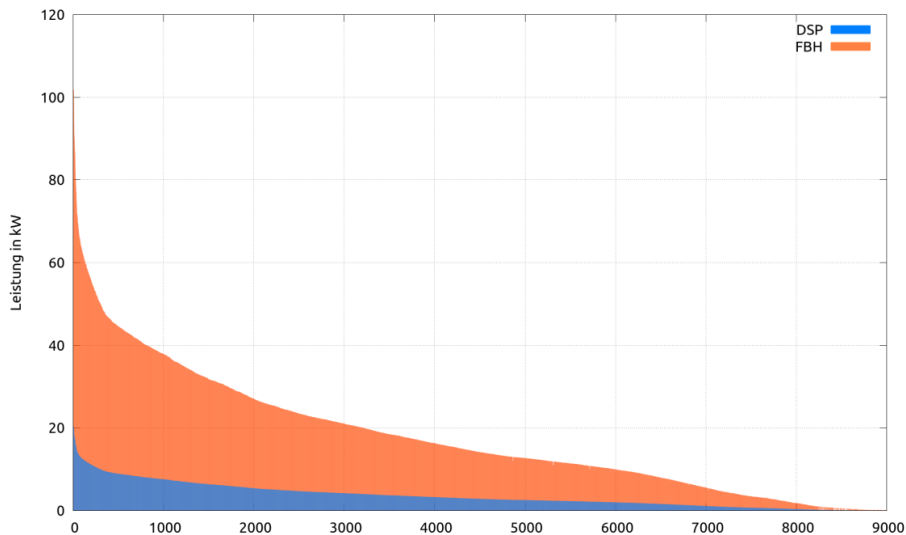


Abbildung 65: Geordneter Jahresgang Heizleistungen simuliert (mit Feuchteregelung)

Die geplanten Wärmeübergabesysteme Deckenstrahlplatten und Fußbodenheizung in der Kirche Gudow wurden auf eine maximale Vorlauftemperatur von 45 °C ausgelegt. Diese niedrige Temperatur wurde gewählt, da als Wärmeerzeugungssystem eine Luft/Wasser-Wärmepumpe zum Einsatz kommen soll. Bei Wärmepumpen ist für eine hohe Effizienz die Temperaturdifferenz zwischen der Wärmequelle (Außenluft) und Wärmesenke (Heizungswasser) so niedrig wie möglich zu halten.

Wie eingangs erwähnt, soll für die Regelung der Temperatur in der Kirche Gudow eine raumtemperaturgeführte Vorlauftemperaturregelung zum Einsatz kommen. Das heißt, der Regler stellt zu jedem Zeitpunkt die für eine Soll-Raumtemperatur (bzw. Soll-Feuchte) erforderliche Vorlauftemperatur ein.

Folgende Abbildung zeigt als Ergebnis der Simulation „mit Feuchteregelung“ den geordneten Jahresgang der vom Regler berechneten Vorlauftemperatur. Es wird ersichtlich, dass die Auslegungstemperatur (45 °C) nur an wenigen Stunden im Jahr benötigt wird. Im Mittel liegt die Vorlauftemperatur bei 17 °C. Dies ist für einen effizienten Wärmepumpenbetrieb als sehr positiv zu bewerten.

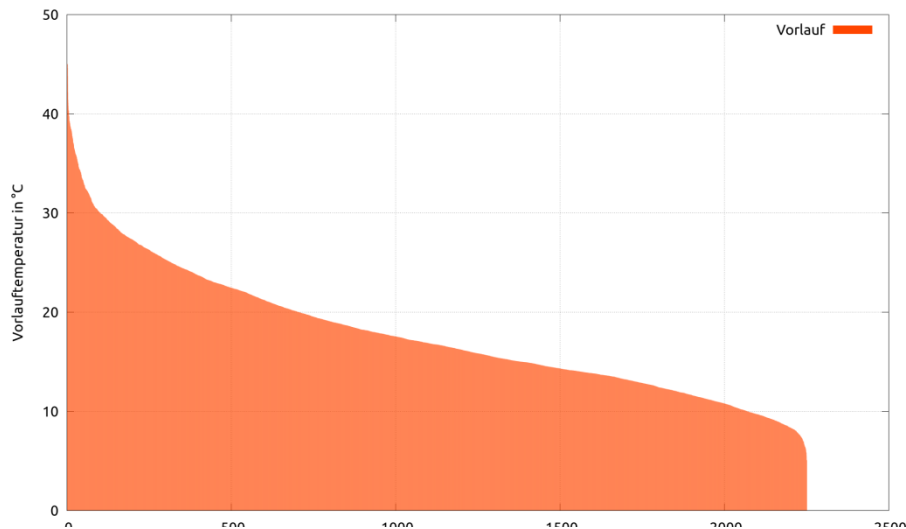


Abbildung 66: Geordneter Jahresgang Vorlauftemperatur simuliert (mit Feuchteregelung)

Das allgemeine menschliche Wärmeempfinden und der Grad der Unbehaglichkeit von Menschen, die einem gemäßigten Umgebungsklima ausgesetzt sind, kann durch ein Verfahren nach DIN EN ISO 7730 vorausgesagt werden. Dieses Verfahren ermöglicht die analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch die Berechnung von PMV (predicted mean vote) und PPD (predicted percentage of dissatisfied) und der örtlichen Kriterien für thermische Behaglichkeit.

Es ist nicht für die Vorhersage des Wärmeempfindens von Personen gedacht, sondern eher für eine Vorhersage, welche der thermischen Bedingungen annehmbar sind oder bevorzugt werden. Zu den thermischen Bedingungen zählen Strahlungstemperatur, Raumtemperatur, Raumluftrichtung und Raumluftfeuchte sowie die Eingabeparameter Bekleidungsfaktor, Aktivitätsgrad und mechanische Leistung aus der DIN EN ISO 7730.

Nach DIN EN ISO 7730 [DIN7730] beruht die Beurteilung der Behaglichkeit mittels des PMV-Indexes auf der Wärmebilanz des menschlichen Körpers, welche ausgeglichen ist, wenn die im Körper erzeugte gleich der an die Umgebung abgegebenen Wärme ist. Die Norm ist auf ein Innenraumklima anzuwenden, „... durch das ein Gefühl thermischer Behaglichkeit erreicht werden soll“ [DIN7730]. Aufgrund dessen, dass das Innenraumklima der Kirche Gudow nicht ausschließlich der Schaffung einer thermischen Behaglichkeit, sondern auch zur Erhaltung des historischen Kunstgutes dient, werden die tatsächlichen Empfindungen der Besucher voraussichtlich positiver ausfallen als die hier berechneten.

Einen geeigneteren Ansatz zur Bestimmung der spezifischen Behaglichkeit in klassifizierten Gebäuden bietet das „Erwartungsmodell“ nach DIN EN 15251, jedoch werden in dieser Norm Kirchen oder kirchenähnliche Gebäude nicht berücksichtigt, sondern Wohngebäude, Bürogebäude und Kindergärten. Dennoch ist nach Ansicht der Verfasser das Prinzip der Norm DIN EN 15251 für Kirchen richtig, denn in die Behaglichkeitsbeurteilung nach DIN EN 15251 fließen die Erwartungen der Besucher ein. So werden an das Innenraumklima einer Kirche nicht dieselben Erwartungen wie an das Innenraumklima einer Wohnung gestellt.

Da, wie bereits erwähnt, die DIN EN 15251 Kirchen oder kirchenähnliche Gebäude leider nicht klassifiziert, wird für eine objektive Bewertung des Innenklimas der Kirche Gudow im Weiteren nach DIN EN ISO 7730 gerechnet.

Zur Ermittlung des Predicted Mean Vote (PMV) nach DIN EN ISO 7730 [DIN7730] sind die nachfolgend genannten Parameter als maßgeblich anzusehen.

- Energieumsatz der Personen [W/m²]
- wirksame mechanische Leistung [W/m²]
- Bekleidungsisolations [m² K/W] und Bekleidungsfaktor
- Luft- und mittlere Strahlungstemperatur [°C]
- relative Luftgeschwindigkeit im Aufenthaltsbereich von Personen [m/s]
- Wasserdampfpartialdruck [Pa]
- konvektiver Wärmeübergangskoeffizienten der Kleidung [W/m² K]
- Oberflächentemperatur der Bekleidung [°C]

Die Skala zur Beurteilung der Behaglichkeit mittels PMV teilt sich in sieben Abschnitte und lautet wie folgt:

Tabelle 11: Skala zur Beurteilung der Ergebnisse für den PMV-Index						
+3	+2	+1	±0	-1	-2	-3
heiß	warm	etwas warm	neutral	etwas kühl	kühl	kalt

Nach DIN EN 15251 (Tabelle 1 in Verbindung mit den Tabelle A.1 und A.2) wird empfohlen, bestehende Gebäude in die nach dieser Norm definierte Kategorie III „annehmbares, moderates Maß an Erwartungen“ einzuordnen. Für Gebäude dieser Kategorie empfiehlt die DIN EN 15251 einen Intervall von $-0,7 < PMV < +0,7$ ([DIN15251], informativer Anhang A, Tabelle A.1).

Neben dem PMV beschreibt die DIN EN ISO 7730 [DIN7730] weitere Kriterien, die zu einer thermischen Unzufriedenheit führen können, die sogenannten lokalen Behaglichkeitskriterien. Demnach kann lokale Unbehaglichkeit durch Zugluft, ungewöhnlich hohe vertikale Temperaturunterschiede, zu warme oder zu kalte Fußböden oder durch eine zu hohe Asymmetrie der Strahlungstemperatur hervorgerufen werden.

Als Grundlage zur Ermittlung der thermischen Behaglichkeit wurden am 13. Dezember 2012 Messungen der lokalen Luftgeschwindigkeiten in der Kirche Gudow durchgeführt. Die Luftgeschwindigkeit geht als Parameter in die Berechnung des PMV-Index ein, ist jedoch nicht mit energetischen Gebäudesimulationen bestimmbar. Hierfür sind aufwendige Simulationen nach der Finiten-Elemente-Methode notwendig.

Da sich in der Kirche Gudow aufgrund von einem konvektionsarmen Beheizungskonzept die Luftgeschwindigkeiten gegenüber dem Ist-Zustand nicht wesentlich verändern werden, gehen in die Berechnung des PMV die gemessenen Werte ein. Die Messungen wurden u.a. auch nach Abdichten von offensichtlichen Undichtigkeiten durchgeführt.



Abbildung 67: Messung Luftgeschwindigkeit

Ort	Luftgeschwindigkeit [m/s]
Türbereich zu Krypta (auch nach Abdichtung)	0,174
hinter dem Altar, Ecke Nord-Ost	0,180
Hauptschiff mittig	0,186
Aufgang Empore, unten	0,172
Aufgang Empore, oben	0,180
Empore mittig	0,159/0,215/0,182
Hauptschiff im Gestühl	0,218

Tabelle 12: gemessene Luftgeschwindigkeiten

Für die Berechnung der PMV-Indexe wurden nachfolgende Festlegungen getroffen.

Beschreibung	Winter	Bemerkung
Thermischer Isolationswert der Bekleidung	1,0 clo ^{*1}	typische Bekleidung nach Tab. C.1 [DIN7730] *1 Slip, Hemd, Hose, Jacke, Socken, Schuhe; 0,155 m²K/W
Energieumsatz	1,2 met	sitzende Tätigkeit, nach Tab. B.1 [DIN7730]
Wirksame mechanische Leistung	0	vernachlässigt bei sitzender Tätigkeit
Oberflächentemperatur der Bekleidung	20,31°C	nach [DIN7730] berechnet
Relative Luftfeuchtigkeit	53 %	Simulation
Raumlufttemperatur	11,9°C	
Relative Luftgeschwindigkeit	0,18 m/s	

Tabelle 13: Festlegung der Eingangsgrößen für die Behaglichkeitsberechnung

Aus den Berechnungen ergab sich ein PMV-Index von -2,14 sowie ein Prozentsatz Unzufriedener (Predicted Percent Dissatisfied - PPD) von 82,7 %, die es als wesentlich zu kalt empfinden.

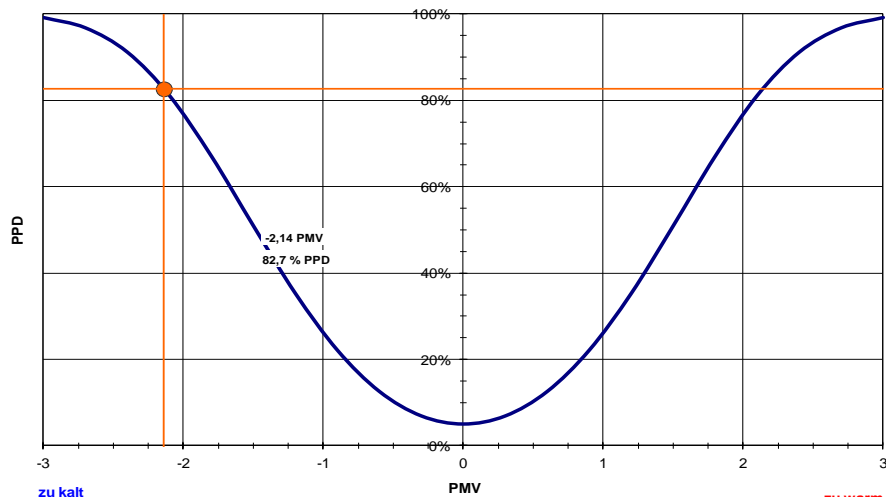


Abbildung 68: Berechneter PPD und PMV-Index

Zusammenfassend ist zu sagen, dass das geplante System den Ansprüchen weitestgehend gerecht wird. Die erforderlichen Innentemperaturen werden im Rahmen der in der Simulation angesetzten Witterung gehalten. Feuchtespitzen lassen sich mit dem Heizsystem relativ gut wegregeln, Trockenheit lässt sich aufgrund der Trägheit des Gebäudes weniger gut beherrschen.

Ohne Feuchteregelung übersteigt die relative Feuchte an ca. 1.500 h im Jahr die 70 % Marke, der Maximalwert liegt bei 92 %. An ca. 3.800 h im Jahr werden die 55 % unterschritten. Der Minimalwert liegt bei 30 %. Somit liegt die Feuchte an 3.460 h pro Jahr im geforderten Bereich von 55–70 %.

Mit Feuchteregelung übersteigt die relative Feuchte an ca. 800 h im Jahr die 70 % Marke, der Maximalwert liegt bei 75 %. An ca. 2.800 h im Jahr werden die 55 % unterschritten. Der Minimalwert liegt bei 35 %. Somit liegt die Feuchte an 5.160 h pro Jahr im geforderten Bereich von 55–70 %.

Zur Beurteilung der Behaglichkeit in Kirchen ist die DIN EN ISO 7730 nach Meinung der Autoren bedingt geeignet, da diese Norm die Erwartungen der Personen nicht berücksichtigt. Der Ansatz in der Norm DIN EN 15251 geht hierfür in die richtige Richtung, da sie die Erwartungen der Besucher und somit den Gebäudetyp berücksichtigt. Jedoch werden Kirchen in der DIN EN 15251 (noch) nicht berücksichtigt.

4.2.7. Zusammenfassung des derzeitigen Planungsstandes

Autoren: Liane Kreuzer, Thorsten Plath

Ausgehend vom Sanierungsbedarf der Heizungsanlage der Kirche Gudow verfolgte dieses Planungsprojekt eine Erneuerung derselben mit Einsparungen bei Betriebs- und Investitionskosten sowie ein ausgewogenes Raumklima für Ausstattung und Nutzer. Gleichzeitig wurden vorangegangene energetische Veränderungen, wie Deckendämmung und Isolierverglasung, als gegeben angenommen. In Bezug auf Klima und Lüftung führt dies im Nachhinein dazu, dass die Betrachtungsebenen eingeschränkt sind.

Die integrale Planung mit ihren Projektbeteiligten ermöglichte die Einbindung verschiedener Fachgebiete. Eine ergebnisoffene Betrachtung und eine transparente Kommunikation führten die Kirchengemeinde durch den Prozess und verstärkten im Nachgang die Identifikation mit dem Projektergebnis. Die Aufgabenstellung im Projektantrag beschränkte jedoch die Sicht auf notwendige Auseinandersetzung mit dem Ensemble, da sonst eine Vergleichbarkeit mit der Kirche Ratekau nicht gegeben wäre.

Die im Planungsprozess entwickelte Entscheidungsmatrix für den Variantenvergleich ermöglichte, dass eine Vielzahl von Heizungssystemen und Kombinationen beleuchtet und offen diskutiert werden konnte. Gerade das Ergebnis mit den Deckenstrahlplatten unterhalb der Holzbalkendecke war so nicht in Erwägung gezogen worden, hat aber durch das entwickelte Punktesystem im Ausschussverfahren gewonnen. Die nachträgliche Simulation hat das bisherige Ergebnis bestätigt.

Die erforderliche Rückkopplung mit den Ergebnissen von Ratekau war zum Ende des Projektes nicht möglich, dies müsste in einem zusätzlichen Schritt noch erfolgen. Auch kann nach Abschluss des Projektes die Möglichkeit der energetischen Anbindung des umliegenden Pfarrhofensembles überprüft werden.

4.2.8. Projektbeteiligte

Auftraggeber

Evangelisch-Lutherische Kirchengemeinde St. Marien Gudow
– vertreten durch den Kirchengemeinderat –
Hauptstrasse 20, 23899 Gudow

Betreuung DBU

Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Dr. Wulf Grimm
An der Bornau 2, 49090 Osnabrück

Betreuende Behörden

Landeskirchenamt der Evangelisch-Lutherische Kirche in Norddeutschland
Landeskirchenamt, Dezernat Bauwesen/Bau- und Denkmalpflege
Dr. Heiko Seidel, Dirk Behrens und Jobst Ubbelohde
Dänische Strasse 21-35, 24103 Kiel

Landesamt für Denkmalpflege Schleswig-Holstein
Dr. Dirk Jonkanski, Frau Löffler-Dreyer, Wall 47/51, 24103 Kiel

Ev.-Luth. Kirchenkreis Lübeck-Lauenburg
Liane Kreuzer, Wolfgang Möller und Thorsten Plath,
Bäckerstrasse 3-05, 23564 Lübeck

Planer

<i>Planung + Bauleitung</i>	schlutt + schuldt architekten, André Schuldt Zum Schnellberg 16, 19288 Ludwigslust/OT Glaisin
<i>Tragwerksplanung</i>	Ing.-Büro Haker, Holger Haker Alte Dorfstrasse 7, 19063 Schwerin
<i>Haustechnik</i>	ENGEMA – Ing.-Büro für Energie und Gebäudetechnik, Alter Holzhafen 17c, 23966 Wismar
<i>Energetische Beratung</i>	Architekturbüro Werner Haase Julius-Echter-Strasse 59, 97753 Karlstadt
<i>Thermografie</i>	KAplus, Ing.-Büro Vollert, Mühlenstrasse 29, 24340 Eckernförde
<i>Restaurator</i>	Heiko Brandner, Quartierstrasse 02, 18057 Rostock

5. Fazit des Forschungsprojektes

Autor: Dr. Heiko Seidel

Der hier vorgelegte Bericht zur grundsätzlichen Auseinandersetzung mit Kirchentemperierung und -klimatisierung stellt die Inhalte des von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) geförderten Projektes der Evangelisch-Lutherischen Kirche in Norddeutschland vor.

Das Projekt war ursprünglich auf 18 Monate angelegt und wurde um weitere 10 Monate verlängert. Es hatte ein finanzielles Volumen von circa 250.000 €, wovon die Hälfte kirchlicher Eigenanteil ist, 125.000 € hat dankenswerterweise die DBU gefördert. Auch wenn das Projekt formal jetzt zum Abschluss kommt, wird das Thema das kirchliche Bauen weiter beschäftigen. Dies wird für die Projektkirchen schon deshalb so sein, weil die Beobachtungsphase (das Monitoring) für die Kirche Ratekau andauern muss, und weil die Planung für die Kirche Gudow umgesetzt werden soll (wenn eine Finanzierung gesichert ist). Eine konkrete Vereinbarung zwischen den unterschiedlichen und selbständigen kirchlichen Körperschaften zur weitergehenden Bearbeitung steht aus und ist mit Beendigung dieses DBU-Projekts neu zu formulieren.

Es war geplant, den kirchlichen Eigenanteil wesentlich durch Eigenleistung, durch rund 2.000 Projektarbeitsstunden aufzubringen. Tatsächlich wurden über 2500 Arbeitsstunden durch die hauptamtlich Beschäftigten und beinahe 200 Stunden durch ehrenamtliche kirchliche Mitarbeiter für das Projekt geleistet. Dass sich dieser Einsatz gelohnt hat, zeigte eindrucksvoll das große Interesse an dem Abschlusskolloquium am 22.02.2013 im Lübecker Dom [Anhang Teilnehmerliste Kolloquium].

Bei dieser Veranstaltung wurde ein grundsätzliches und spezifisch kirchliches Bauthema erstmals mit einer breiten öffentlichen Beteiligung im norddeutschen Raum behandelt. Der Zuspriech zeigt, dass es nicht allein ein Thema für Spezialisten der technischen Gebäudeausrüstung (TGA-Planer) ist. Dieser Zuspriech ist zugleich Bestätigung für die projektspezifische Arbeitsweise, bei der sich die kirchliche Bauverwaltung nicht allein dem planerischen Einzelfall widmet, sondern anstrebt, darüber hinaus eine Vorstellung von generellen Planungsgrundsätzen des kirchlichen Baugeschehens zu entwickeln. Am Beispiel Ratekau wurde deutlich, dass eine TGA-Planung nicht nur ein spezifisch technisches Thema ist, das denkmalpflegerisch als möglichst kleines Übel begriffen wird. Die TGA-Planung selbst ist ein restauratorisches und denkmalpflegerisches Thema, weil es der Klimastabilisierung im Raum dienen soll.

Kirchen stellen planerisch eine Sondergruppe dar, die nicht unbedingt zum gängigen Repertoire eines Planungsbüros für technische Gebäudeausstattung gehört. Hierfür gemeinsam Standards zu entwickeln ist notwendig. Dabei ist auch nach den Erkenntnissen dieses DBU-Projekts das Vorhandensein einer Technischen Gebäudeausrüstung sowohl aus konservatorischen – wie auch aus Gründen des Nutzungskomforts grundsätzlich sinnvoll. Nur wurden in der Vergangenheit die unterschiedlichen Ansprüche in der Regel ungenügend gegeneinander abgewogen und Anforderungen unzureichend auf einander abgestimmt.

Die Notwendigkeit zur umfassenden Kommunikation ergibt sich nicht nur aus der kirchlichen Struktur, sondern aus den Bauprozessen selbst, die heute von hoher Komplexität geprägt sind. Auch wenn dies von planerischer Seite gelegentlich beklagt wird, so liegt darin auch eine Chance. Noch vor 30 Jahren wurden Kirchenheizungen häufig nicht mit der notwendigen Intensität durch die kirchliche Bauverwaltung beraten, Planung wie auch Ausführung wurden oft einer beauftragten Firma überlassen. Dass dabei restauratorische, gestalterische oder denkmalpflegerische Aspekte bisweilen unvollständig berücksichtigt blieben, ist naheliegend.

Eine Erkenntnis des Projektes ist, dass einer solchen Planung in einer Kirche eine detaillierte Erfassung, Analyse und Bewertung des Bestandes durch unterschiedliche Fachdisziplinen vorausgehen muss. Die TGA-Planung darf nicht erst in der Leistungsphase 3 des Architekten angefragt werden, sondern ist schon im Rahmen der Grundlagenermittlung vonnöten, wenn die Bedingungen des Planungsprojekts definiert werden. Dieser integrale Planungsansatz ist für die hochkomplexen Anforderungen an unsere Kirchen mit unterschiedlichem Nutzungsverhalten und dem Ziel zur Bewahrung der Schöpfung unabdingbar.

So war in Ratekau nicht nur der Architekt planerisch tätig. Um ihn bildete sich ein Team, dem neben den Kollegen aus den kirchlichen und staatlichen Bau- und Denkmalbehörden ein Tragwerksplaner, ein Bauforscher, eine Restauratorin, ein Haustechnikplaner und ein in der energetischen Sanierung besonders erfahrener weiterer Architekt angehörten. In gleicher Weise werden die Planungen in Gudow betrieben.

Dieses Arbeitsprinzip der Kooperation und gegenseitigen Konsultation hat aber auch Grenzen. Eine Erfahrung des Projektes ist, dass sich bestimmte Arbeiten nicht teilen lassen und ehrenamtliche Arbeit nicht uneingeschränkt eingefordert werden kann. Die Bestandsaufnahme aller Kirchen im Betrachtungsraum zweier Kirchenkreise von einer Vielzahl von Menschen nach einem Muster fertigen zu lassen, ist zwar theoretisch grundsätzlich möglich. – In der Praxis war es jedoch außerordentlich mühsam, die an Kirchengemeinden verschickten Fragebögen wieder zurück zu erhalten, nachzuarbeiten und auszuwerten. In der Summe blieb die Genauigkeit der Angaben hinter den Erwartungen zurück. Dennoch hat dieses hohe Maß an gemeindlicher Partizipation zu einer Sensibilisierung geführt, die bei externer Beauftragung nicht in gleichem Maße zu erreichen gewesen wäre. So wurde die Bestandsaufnahme zu einer wichtigen Voraussetzung für den Einstieg in das Energiecontrolling.

Gerade für das Energiecontrolling bedarf es in der Evangelisch-Lutherischen Kirche in Norddeutschland noch der Schaffung ausreichender und effizienter Personal- und Organisationsstrukturen, um den Empfehlungen der Untersuchung innerhalb der Klimakampagne „Kirche auf dem Weg zur CO₂-Neutralität“ gerecht zu werden. Diese Studie vom August 2012 hat sich mit diesem DBU-Projekt überschritten. Im Rahmen des DBU-Projekts musste konstatiert werden, dass hinsichtlich des Energieeinsparpotentials sinnvolle ganzheitliche Planungen für ganze kirchliche Liegenschaften oder Energieverbünde mit einzelnen Gebäudeteilen, bei denen solare Energien teilweise wirtschaftlicher eingebunden werden können als bei Kirchenheizungen, im Rahmen dieses Projektes nicht umfassend untersucht werden konnten. Dies ist eine über dieses Projekt hinaus gehende Aufgabe.

In der Gruppe der Planungsbeteiligten besteht Übereinstimmung darüber, in den beiden vorgestellten Projekten durch den integralen Planungsansatz zu zukunftsweisenden Lösungen gekommen zu sein. Trotzdem – oder gerade deshalb – bleibt festzuhalten: Jeder Fall bleibt ein Einzelfall!

Das restauratorisch günstigste Feuchtigkeitsfenster deutet sich nach den Ergebnissen dieses Projekts für den Bereich von 55-60 % relativer Luftfeuchtigkeit an.

Wenngleich die Ergebnisse des Langzeitmonitoring ausstehen, weil sie über die Laufzeit des DBU-Projekts hinausgehen, scheint sich die Arbeitshypothese zu bestätigen, dass einer durchgängigen und gleichmäßigen Temperierung von Kirchengebäuden aus konservatorischer Sicht der Vorzug vor wechselnden Aufheiz- und Abkühlungsphasen zu geben ist. In Bezug auf den Komfort, die eingesetzte Heizenergie, die systemische Zuverlässigkeit und eine möglichst einfache Steuerung der möglichen Regelgrößen Beheizung und Lüftung wäre ein weitergehender Vergleich mit anderen Temperaturmodellen von Kirchen wünschenswert, möglichst auch solchen, die vollständig gleichmäßig temperieren. Ob das angenommene Temperaturfenster zwischen 8 °C und 12 °C richtig gewählt wurde, ist noch nicht abschließend zu sagen. Hier ist in das Langzeitmonitoring der Kirche Ratekau der kommenden Jahre auch das Nutzungsverhalten und die Nutzungszufriedenheit der Kirchengemeinde einzubeziehen. In dieser Hinsicht würde sich ein Vergleich mit dem TGA-Konzept des Aachener Doms anbieten, bei dem derzeit durchgängig eine Raumtemperatur von 14 °C gehalten wird.

Eine Prognose zur möglichen CO₂-Einsparung über eine Erneuerung aller Kirchenheizungen ist in Abhängigkeit der vorbenannten Aspekte nur bedingt möglich. Die eingesetzten Energieträger Strom, fossile Brennstoffe und regenerative Energien haben in Bezug auf ihren Anteil

am CO₂-Ausstoß unterschiedlich große Anteile. Auch sind die bisherigen Angaben zur Heizenergie nach Abbildung 3 nur bedingt zuverlässig, weil Strom für Heizenergie häufig nicht getrennt erfasst wird. In Bezug auf das absolute Einsparpotential spielen darüber hinaus unterschiedliche Technik und Effizienz der vorhandenen Bestandsanlagen eine erhebliche Rolle. Bei der Bestandsaufnahme wurde ermittelt, dass 12 Kirchen einen Anteil von 31 % der CO₂-Emissionen der 122 Kirchen verursachen. Das bedeutet, dass 10% der Kirchen ein Drittel der gesamten Wärmeenergie für Kirchen beanspruchen, was ein deutlicher Hinweis auf überalterte Gebäudetechnik ist.

Wenn nun ein erster Energieverbrauchsdatenvergleich für die Kirche Ratekau (trotz Einschränkungen bei der Genauigkeit der Energiemengenerfassung) andeutet, dass der Endenergieeinsatz für die Kirche Ratekau mit der Erneuerung der Technik von über 30.000 kWh/a auf ungefähr ein Drittel bis ein Viertel gesenkt werden konnte, so ist diese Größenordnung nicht ohne weiteres auf alle Kirchen der Landeskirche zu übertragen. Dies ist im Wesentlichen von Faktoren wie z.B. des eingesetzten Endenergeträgers vor und nach einer Sanierung oder des Anteils regenerativer Energien abhängig.

Trotz der Unwägbarkeiten wird aufgrund der in diesem Projekt gesammelten Erfahrungen geschätzt, dass mit dem hier realisierten Temperaturniveau zwischen 8 °C und 12 °C und einer Sanierung ineffizienter Anlagentechnik eine Reduzierung des CO₂-Ausstoßes um durchschnittlich 30 % möglich ist. In Ratekau liegt nach Realisierung des Projektes die tatsächliche CO₂ Einsparung bei 42 %, in Gudow wird die CO₂ Einsparung durch Ablösung einer Strom-Direktheizung sogar auf 70 % geschätzt. Eine oben genannte durchschnittliche Einsparung von 30 % würde, bezogen auf die Gesamtzahl der circa 800 Predigtstätten in dem Bereich der ehemaligen Nordelbischen Kirche und Hochrechnung des in der Bestandsaufnahme für 122 Kirchen ermittelten Energiebedarfs, eine Verringerung des CO₂-Ausstoßes in Höhe von 4.800 t/a bedeuten.

Dem steht ein Investitionsaufwand gegenüber, der insbesondere bei den Planungskosten mindestens mit dem Doppelten einer konventionellen Planung zu veranschlagen ist und sich erst mit zunehmender Erfahrung verringern wird.

Ob der eingeschlagene Weg zielführend ist, muss sich in dem noch nicht abgeschlossenen Monitoring und der Nutzung erweisen. Ziel der Projektbeteiligten ist es, alte Denkweisen und Gewohnheiten zu hinterfragen, eben auch Kirchenheizungsrichtlinien von 1979. Allerdings bedarf es für das Prinzip der gleichmäßigen Temperierung eines Kirchenraumes nicht zwingend einer Änderung dieser Rechtssetzung, weil ihr diese Richtlinie nicht widerspricht.

Nicht zuletzt im Hinblick auf unsere deutlich größer und vielgestaltiger gewordene Landeskirche wird auch zukünftig die Frage zu erörtern sein: Wie viel technische Gebäudeausrüstung braucht eine Kirche überhaupt? Gilt es vielleicht auch, sich auf Wesentlicheres zu konzentrieren? Was ist überhaupt das Wesentliche einer Kirche? – Dies ist nicht allein durch Baufachleute zu beantworten.

Literatur

- [Are83] Claus-Dieter Arendt, Kirchenheizung, in Denkmalpflege Informationen des Bayerischen Landesamt für Denkmalpflege 36, 1983
- [Are93] Arendt, Claus; Raumklima in großen historischen Räumen; Köln; Verlagsgesellschaft Rudolf Müller; 1993
- [Aug84] Augustin, Hermann (Hg.), Land höre des Herren Wort. Ev.-luth. Kirche und Kirchen im Kreis Herzogtum Lauenburg, Lübeck 1984
- [Ban90] Herwart Bansemer: Statt Bleiplatten – weiterhin Holzschindeln – Ratekaus Wahrzeichen behielt seinen Schindelturm – Jahrbuch für Heimatkunde, Eutin 1990
- [Bla07] Dr. Klaus Blaschke, Der Kirchenvorstand, Lutherische Verlagsgesellschaft Kiel 2007
- [Böh95] Ulrich Böhme, Erfordernisse intensivierter Kirchenraumnutzung, Vortragsmanuskript, Dresden 1995
- [Bra10] Heiko Brandner, Protokoll zur Objektbegehung mit Prof. K. Petersen, 3.8.2010, Bauakte der Kirchengemeinde Bad Doberan; Fläche A: Teppich Chor - 68485 zu 4415; Fläche C: Ziegelimitat Chor -113345 zu 3876
- [BKK10] Empfehlungen der Bundeskonferenz der Kommunalarchive 1/14 beim Deutschen Städtetag Unterausschuss Bestandserhaltung; Arbeitshilfe 1 Umgang mit Schimmel in Archiven; Beschluss der BKK von 28./29.9.2010 in Dresden, unveröffentlicht; es wird eine relativer Luftfeuchte < 60% empfohlen
- [Deh09] Georg Dehio; Handbuch der deutschen Kunstdenkmäler, Hamburg Schleswig-Holstein; Berlin 2009
- [DIN1052] DIN 1052 - Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken - Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau
- [DIN7730] DIN EN ISO 7730:2007-06 - Ergonomie der thermischen Umgebung – Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit
- [DIN12831] DIN EN 12831:2003-08 – Heizungsanlagen in Gebäuden - Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast
- [DIN15251] DIN EN 15251:2008-08 – Eingangsparemeter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden – Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik
- [DIN15757] DIN EN 15757:2010-12 – Erhaltung des kulturellen Erbes - Festlegungen für Temperatur und relative Luftfeuchte zur Begrenzung klimabedingter mechanischer Beschädigungen an organischen hygroskopischen Materialien
- [DIN15759] DIN EN 15759-1:2012-02 – Erhaltung des kulturellen Erbes – Raumklima – Teil 1: Leitfäden für die Beheizung von Andachtsstätten
- [Dit83] Dittrich, Konrad, 850 Jahre Kirche in Lübeck, Lübeck 1993
- [Ens94] Hermann Ensink, Neue Wege in der Beheizung von Kirchen und „Gebäuden alter Bauart“, in: Die Auslese 3, 1994, S. 4ff
- [ExJa05] Exner, M.; Jakobs, D.: Klimastabilisierung und bauphysikalische Konzepte, München, Berlin: Deutscher Kunstverlag, 2005
- [Gos] Heinz Gossens, Heizung, Lüftung und Klimatisierung von Kirchen, Aachen o.J.
- [Gos79] Heinz Gossens, Energie sparen in Kirchen, Mahr Söhne, Aachen 1979
- [Göb86] Walter Göbell, Die Schleswig-Holsteinische Kirchenordnung von 1542, Wachholtz Verlag, Neumünster 1986
- [Gro] Henning Großes Schmidt, Das temperierte Haus: sanierte Architektur und „Großvitrine“, in: Aspekte der Museumsarbeit in Bayern (MuseumsBausteine Bd. 5), o.J., S. 101ff

- [GVOBI79] Gesetz-und Verordnungsblatt
- [Hei02] Rainer Heimsch, Energiesparendes Beheizen und Temperieren von historischen Gebäuden, in: Internationale Zeitschrift für Bauinstandsetzen und Baudenkmalpflege 4, 2002, S. 379ff
- [HeHa07] Rainer Heimsch, Janka Fee Hammer, Ermittlung und Validierung von Planungsparametern zur Optimierung von Wärmebedarf, thermischer Behaglichkeit und Regelung für einen energiesparenden und baustanzenerhaltenden Betrieb temporär genutzter Gebäude mit Hilfe der dynamischen Gebäudesimulation und vergleichenden Feldmessungen am Beispiel St. Marien und St. Georgen in Wismar, Abschlussbericht über ein DBU-Entwicklungsprojekt, 2007
- [HztmLbg84] Kirchenkreis Herzogtum Lauenburg (Hg.), Land, höre des Herren Wort. Ev.-luth. Kirche und Kirchen im Herzogtum Lauenburg, Lübeck 1984
- [JoWi00] Jonkanski, Dirk und Lutz Wilde, Dorfkirchen in Schleswig-Holstein, Neumünster 2000
- [KB06] Kirchliches Bauhandbuch, Energiesparendes und umweltschonendes Bauen in der evangelischen Kirche, Bielefeld 2006
- [KB94-96-01-06] Kirchliches Bauhandbuch, Konferenz der Bauamtsleiter der Gliedkirchen der EKD, Evangelischer Presseverband für Westfalen und Lippe e. V., Bielefeld 1994, 1996, 2001, 2006
- [KG77] Kirchengesetz über das Haushalts-, Kassen- und Rechnungswesen in der Nordelbischen Evangelisch-Lutherischen Kirche vom 19.11.1977
- [KHeizRL79] Richtlinien für die Bedienung von Kirchenheizungen im Bereich der Nordelbischen EV.-Luth. Kirche vom 20.11.1979. In: GOVB der Nordelbischen Kirche Nr. 24/1979, S. 361
- [KiSeKr05] Ralf Kilian, Klaus Sedlbauer, Martin Krus, Klimaanforderungen für Kunstwerke und Ausstattung historischer Gebäude, Fraunhofer Institut Bauphysik 2005
- [Kör77] Körber, Walter (Hg.), Kirchen in Vecelins Land. Eine Eutinische Kirchenkunde, Eutin 1977
- [KüHo91] H. Künzel, D. Holz, Bauphysikalische Untersuchungen in unbeheizten und beheizten Gebäuden alter bauart, Fraunhofer Institut Bauphysik 1991
- [Leit12] Nordelbisches Kirchenamt, Dezernat Bauwesen (Hg.), Leitfaden BAU. Bauen und Baupflege in der Nordelbischen Evangelisch-Lutherischen Kirche, 2. Aufl., Kiel (März) 2012 (PDF/Elektronische Fassung)
- [LfD98] Landesamt für Denkmalpflege Schleswig-Holstein (Hg.), 40 Jahre Staatskirchenvertrag – Zusammenarbeit von Kirche und Staat in der Denkmalpflege, Kiel 1998. (=Mitteilungen zur Denkmalpflege 2)
- [List99] Listl, Joseph und Dietrich Pirson, Handbuch des Staatskirchenrechts der Bundesrepublik Deutschland. 1. Band. 2., grundlegend neubearbeitete Aufl., Berlin 1999
- [Lud11] Ludwig, Matthias, „... viele kleine Kirchen“. Das Kapellenbauprogramm der 1960er Jahre in Schleswig-Holstein, Kiel 2011. (= Beiträge zur Denkmalpflege in Schleswig-Holstein 2)
- [NKA10] Antrag zur Förderung aus Mitteln der Deutschen Bundesstiftung Umwelt zur modellhaften Entwicklung von haustechnischer Ausrüstung zur Temperierung denkmalgeschützter Steinkirchen mit dem Ziel der CO₂-Minderung, Absenkung der Betriebskosten sowie Vermeidung von Kondensat. Grundlagenermittlung im Bereich der Nordelbischen Kirche und beispielhafte Übertragung auf zwei Kooperationsobjekte: Feldsteinkirche in Ratekau - St. Marien Kirche in Gudow. Nordelbisches Kirchenamt (Dezember) 2010. (Nicht publiziert.)
- [Pfe75] Dr.-Ing. Axel Pfeil, Kirchenheizung und Denkmalschutz, Bauverlag GmbH Wiesbaden und Berlin 1975
- [Pet10] Prof. Katrin Petersen, HAWK Hildesheim/Holzwinden/Göttingen; Untersuchungsbericht zur mikrobiologischen Untersuchung am Objekt „Althof“, 28.7.2010

- [Pro10] Andreas Protz, FEAD Berlin, Untersuchungsprotokoll vom 17.5.2010, Kalziumnitrat, weniger Natrium- und Kaliumnitrat, teilweise erhöhte Sulfatkonzentrationen
- [Rau78] Rauterberg, Claus, Der Kirchenbau des Mittelalters in Schleswig-Holstein. In: Schleswig-Holsteinische Kirchengeschichte, Bd. 2, 71-135, Neumünster 1978. (= Schriften des Vereins für Schleswig-Holsteinische Kirchengeschichte, Reihe I, Bd. 27)
- [Rau00] Rauterberg, Claus, Evangelischer Kirchenbau in Schleswig-Holstein in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts. In: Schleswig-Holstein, Heft 1+2/2000 (Kirche), 14-19
- [ReBa10] Dr. Dietrich Rehbaum, Pro Denkmal Baumberg, Protokoll zur Bindemittelanalyse zweier Malschichtproben (Ziegelimitation und Schablonierung), 14.5.2010
- [Rei10] Dr. Holger Reimers: Kirche Ratekau, Baugeschichtliche Grundlagenermittlung, Hohenfelde 2010
- [ReSpSc05] Hermann Recknagel, Eberhard Sprenger, Ernst-Rudolf Schramek, Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik, 72. Auflage, Oldenbourg Industrieverlag München 2005
- [S-S88] Christa Schulze-Senger, Kirchenheizungen-Komfort mit Folgen, in: Denkmalpflege im Rheinland 3, 1988, S. 1f.
- [San08] Martin Sandler, Leitfaden. Heizen in Kirchen, Kaufbeuren 2008
- [Sch04] Hans-Jürgen Schwarz, Salzbildende Ionen – Salze - Salzschiäden eine Einführung in die Problematik der Schadensbildung durch Salze, Hannover, Januar 2004; Skript der FH Hildesheim, Studiengang Restaurierung, Tab. 10 und dortigen Literaturverweis
- [Sch10] Dr. Frank Schlütter; Untersuchungsbericht 6117-10, Amtliche Materialprüfungsanstalt der Freien Hansestadt Bremen, 25.10.2010
- [Sch13] Schramek, Ernst-Rudolf; Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik; München; Oldenbourg Industrieverlag; 2013
- [VDI3817] VDI 3817, Technische Gebäudeausrüstung in Baudenkmälern und denkmalwerten Gebäuden
- [VNE-LK76] Verfassung der Nordelbischen Evangelisch-Lutherischen Kirche vom 12.06.1976
- [ZNES12] Zentrum für nachhaltige Energiesysteme Universität Flensburg, Kirche auf dem Weg zur CO₂-Neutralität. Integriertes Klimaschutzkonzept für die Evangelisch-Lutherische Kirche in Norddeutschland, Flensburg (August) 2012

unveröffentlichte Berichte:

Arbeitshilfe 1 - Umgang mit Schimmel in Archiven. Empfehlungen der Bundeskonferenz der Kommunalarchive 1/14 beim Deutschen Städtetag, Unterausschuss Bestandserhaltung, Beschluss der BKK von 28./29.9.2010 in Dresden

Brandner, Heiko: Protokoll zur Objektbegehung mit Prof. K. Petersen, 3.8.2010. Bauakte der Kirchgemeinde Bad Doberan; 2010

Petersen Prof., Katrin: Untersuchungsbericht zur mikrobiologischen Untersuchung am Objekt „Althof“, 28.7.2010. HAWK Hildesheim/Holzminde/Göttingen, 2010

Protz, Andreas: Untersuchungsprotokoll vom 17.5.2010. FEAD Berlin, 2010

Steffensky, Fulbert: Der Seele Raum geben Kirchen als Orte der Besinnung und Ermutigung.

Referat auf dem 6. Treffen der Fördervereine und Spender in der Evangelisch-Lutherischen

Landeskirche Mecklenburgs am 8. Mai 2004 in der Nikolaikirche in Rostock

Schlütter Dr., Frank: Untersuchungsbericht 6117-10. Amtliche Materialprüfungsanstalt der Freien Hansestadt Bremen, 25.10.2010

Rehbaum Dr., Dietrich: Protokoll zur Bindemittelanalyse zweiter Malschichtproben. Pro Denkmal Baumberg, 14.5.2010

Autorenverzeichnis

Behrens, Dirk

*1962; Architekt und Kirchlicher Denkmalpfleger; Referent im Dezernat Bauwesen des Landeskirchenamtes der Evangelisch-Lutherischen Kirche in Norddeutschland; Studium in Lübeck; angestellter Architekt in Bamberg und Eutin

Brandner, Heiko

*1964; Dipl. Restaurator (FH); Restauratorenngemeinschaft A. Baumgart & H. Brandner; Konservierung und Restaurierung von Architekturfassungen und gefasstem Kunstgut aus Holz; Fachplanung und Fachbauleitung im Bereich der Restaurierung und Baudenkmalpflege; Vortrags- und Publikationstätigkeit u.a. zur Konservierung an mittelalterlichen und barocken Wandmalereien, Bronzen in der Fassmalerei, Putzen an Feldsteinkirchen

Ewers, Torsten

*1952; Architekt und Stadtplaner; Studium TU Braunschweig; 1978 Diplom bei Prof. Meinhard von Gerkan; seit 1981 selbständig; seit 1992 geschäftsführender Gesellschafter der Ewers Dörnen + Partner GmbH; Schwerpunkt Sanierung historischer Gebäude z.B. Sanierung des Eutiner Schlosses (1984-2006), Sanierung diverser Kirchen (Kirche Oldenburg/H. Kirche Bannesdorf a.F., Kirche Ahrensböck, Kirche Neukirchen/Malente); seit 2000 Vorsitzender des Berufsordnungsausschusses der AIK-Schleswig-Holstein

Haase, Werner

*1951; Architekt; seit 1973 eigenes Architekturbüro für Sanierungen, Denkmalschutz, energieeffizientes Bauen in Karlstadt (Bayern); Bauen von Passivhäusern, Effizienzhaus-Plus, mehrfache Pilotobjekte für energiesparendes Bauen

Dr. Jonkanski, Dirk

*1955; Dr. phil. Studium der Kunstwissenschaft, Denkmalpflege und Archäologie; 1980 Magister Artium; 1987 Promotion; 1981-86 Wissenschaftlicher Mitarbeiter mit Lehraufgaben an der TU Berlin; 1987-1988 Inventarisierung des Hebbel-Theaters Berlin; 1988-89 Volontär und Wissenschaftlicher Angestellter am Institut für Denkmalpflege in Hannover; seit 1989 Dezernent im Landesamt für Denkmalpflege Schleswig-Holstein zur Betreuung der Bau- und Kunstdenkmäler aller Religionsgemeinschaften, zuständig für allgemeine Fragen der Verwaltung und seit 2010 stellv. Landeskonservator; Zahlreiche Veröffentlichungen zu frühen Architektenreisen nach Italien (Dissertation über Heinrich Schickhardt), Theaterbau in Berlin, Baudenkmale in Niedersachsen, Dorfkirchen in Schleswig-Holstein; Aufsätze zur kirchlichen Denkmalpflege in der Zeitschrift DenkMal und den Beiträgen zur Denkmalpflege in Schleswig-Holstein

Kreuzer, Liane

*1972; Dipl.-Ing. (FH) Architekt, Studium an der Hochschule Wismar/University of Applied Sciences Technology, Business and Design; Leiterin der Bauabteilung und der Kirchenbauhütte des Kirchenkreises Lübeck-Lauenburg; Mitglied in der Europäischen Vereinigung der Dombaumeister, Münsterbaumeister und Hüttenbaumeister

Morawe, Engelbert

Studium des Maschinenbaus und der Energie- und Wärmetechnik an der Fachhochschule Flensburg und der Technischen Universität Hannover; Abschlüsse als Dipl.-Ing.; Verschiedene Tätigkeiten und Funktionen in der Industrie, als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der TU Hamburg-Harburg und in einem Planungsbüro für Energiesysteme; seit 1998 selbstständige Tätigkeit als beratender und planender Ingenieur für Energie- und Wärmetechnik sowie Technische Gebäudeausrüstung; Schwerpunkte u.a.: Energieeinsparung und rationelle Energienutzung mit dem Ziel der Energie- und Kosteneinsparung und CO₂-Minderung; Mitglied im Verein Deutscher Ingenieure (VDI)

Plath, Thorsten

*1984; M.Eng. (Bauingenieur mit Vertiefung Bauen im Bestand); Studium an der Hochschule Wismar/University of Applied Sciences Technology, Business and Design; seit 2010 Mitarbeiter in der Bauabteilung des Kirchenkreises Lübeck-Lauenburg

Peters, Jens

*1976; Dipl.-Ing. (FH) Maschinenbau; wissenschaftlicher Mitarbeiter im Bereich Energieeffizienz und Thermodynamik beim IAIB e.V. Wismar; als TGA Fachplaner für die ENGEMA GmbH Wismar tätig; Publikation zur Energieeffizienz in Gebäuden in „Software für den Energieberater“ vom DIN Deutsches Institut für Normung e.V.; Dozent an der Hochschule Wismar am Fachbereich Maschinenbau (Fachgebiet Wärmepumpen) und bei der Fachfortbildung „Sachverständiger zur Bewertung der Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden“; gelistet in der KfW Beraterbörse „Energieberatung Mittelstand“

Rösing, Jürgen

*1967; Dipl.-Ing. (FH) Architektur und Denkmalpfleger; Architekt in der Bauabteilung des Kirchenkreises Ostholstein seit 2009; Studium Architektur und Denkmalpflege an der Fachhochschule Holzminden und der Universität Bamberg 1989 – 1995; anschließend angestellter Architekt mit den Schwerpunkten Altbausanierung und Denkmalpflege in Bamberg, Bansin, Bad Segeberg und Kiel

Schult, André

*1973; Dipl.-Ing. (FH) Architekt; Studium an der Hochschule Wismar/University of Applied Sciences Technology, Business and Design; selbständig seit 2001; seit 2007 als Schlutt + Schuldt Architekten/Kooperation freier Architekten M-V und Berlin; Beruflicher Schwerpunkt: Sanierung historischer und sakraler Bausubstanz und Bauen für Kinder in Berlin-Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern und Schleswig-Holstein

Dr. Seidel, Heiko

*1965; Architekt und Kirchlicher Denkmalpfleger; Referent im Dezernat Bauwesen des Landeskirchenamtes der Evangelisch-Lutherischen Kirche in Norddeutschland, Kiel; Publikationen u. a. zu romanischen Westbaulösungen (Dissertation 2004), Sakralverglasungen oder Orgeln in Nordelbien; Auslobung und Fachpreisrichter zahlreicher Sakralbau- und Sakralkunstwettbewerbe; Mitglied in der Europäischen Vereinigung der Dombaumeister, Münsterbaumeister und Hüttenbaumeister

Vollert, Sören

*1963; Dipl.-Ing. Energie- und Wärmetechnik (TU); Inhaber KApplus – Ingenieurbüro Vollert Eckernförde; 1995 -1998 Wissenschaftlicher Mitarbeiter Institut für Gebäude- und Solartechnik der TU Braunschweig; 1998 - 2005 Vorlesungen an der FH Kiel sowie der HfbK Hamburg; Mitglied des Arbeitskreises „Energie“ der Bundesingenieurkammer (Vertreter der AIK SH seit 2006)

ANHANG

Die Dokumente des Anhangs befinden sich auf der beiliegenden DVD, nachfolgende Inhalte sind dort verfügbar:

- Zu 1.1. Rahmenterminplan_110322.pdf
- Zu 1.1. und 5. Programm Abschlusskolloquium.pdf
- Zu 1.1. und 5. Teilnehmerliste Abschlusskolloquium.pdf
- Zu 1.3. Abbildungen Denkmalpflegerische Aspekte bei der Temperierung von Kirchen.pdf
- Zu 4.1.1. Fotodokumentation-Temperierung-Ratekau.pdf
- Zu 4.1.1. Querschnitt Kirchenschiff.pdf
- Zu 4.1.2. Ausführungsplanung Außenanlagen.pdf
- Zu 4.1.2. Ratekau-Ausführungsplanung.pdf
- Zu 4.1.2. Ratekau-Ausführungsplanung.pdf
- Zu 4.1.3. Heizlastberechnung.pdf
- Zu 4.1.3. Zeichnung Grundriss Temperierung.pdf
- Zu 4.1.3. Zeichnung Lageplan Kirche Ratekau.pdf
- Zu 4.1.3. Zeichnung Schema Raumtemperierung.pdf
- Zu 4.2.2. Abbildungen Restauratorische Untersuchungen .pdf
- Zu 4.2.4. Abbildungen Infrarot-Thermografie und Luftströmungsuntersuchung.pdf

[Zu 2. Datenblätter Bestandserfassung]

[Kirchenkreis Lübeck-Lauenburg]

[Kirchenkreis Ostholstein]

[Presse Artikel]

20120223 Artikel LBN Feuchte Kirche Schimmel.pdf

20130214 PM Neue Modelle zur Kirchentemperierung.pdf

20130222 PM Dom zu Luebeck Kirchentemperierungsprojekt beendet.pdf

20130313 KN Kirchentemperierung.pdf