

Abschlussbericht

Energieeffiziente Temperierung in Kirchen

Anhang 2: Steckbriefe Projektphase 2

Baujahr: ca. 1300
 Volumen: 9.872 m³
 Sitzplätze: ca. 410



25/02/2

Zustand von Technik, Ausstattung und Nutzung vor der Maßnahme	
Energieträger	Erdgas
Wärmeerzeuger	Gasbrennwertkessel nicht erneuerungsbedürftig, ausreichend dimensioniert
Grundheizsystem	Radiatoren, Unterflurkonvektoren entlang der Außenwände, unzureichende Wärmeleistung durch die Heizflächen, keine ausreichende Kompensation des Kaltluftabfalls an den Fenstern in den Seitenschiffen, ungünstige mittige Anordnung der Unterflurkonvektoren
Körpernahes Heizsystem	Fußbodenheizung im Kirchenschiff, keine ausreichend homogene Wärmeverteilung,
Lüftung	keine Lüftung
Art der Heizungsregelung	Automationsstation DDC 4200 Kieback&Peter, suboptimale Einstellung der Regelung
Solltemperatur Nichtnutzung T ₀	12 °C lt. Fragebogen
Solltemperatur Nutzung T _i	16/18 °C lt. Fragebogen
Solltemperatur körpernahe Heizung	-
Auf-, Abheizgradient	± 1 K/h, 0,25-0,35 K/h lt. Restaurator
Relative Feuchte	keine Feuchtevorrangsschaltung, Fußboden wird mit Wasserschlauch genässt, wenn im Winter zu trocken
Schützenswerte Ausstattung	Hochaltar (1710), Halepaghenaltar (um 1520), Baldachinaltar (16. Jh.), Kanzel (1674), Kruzifix (um 1470), Chorgestühl (um 1400), Sakristeischrank (um 1500), 5 Epitaphe und 3 Gemälde (16.-17. Jh.), Glasfenster (um 1900), Ausmalung (1960iger Jahre), Hauptorgel (1859), Chororgel (1974/75 Erweiterung 2021), Truhenergögl (2006)
Nutzung	ca. 215 Veranstaltungen pro Jahr Gottesdienste, Kinderkirche, Taufen, Hochzeiten, Trauerfeiern, Konzerte, Chorproben, Vorträge, Lesungen, Tagungen, Empfänge, Ausstellungen

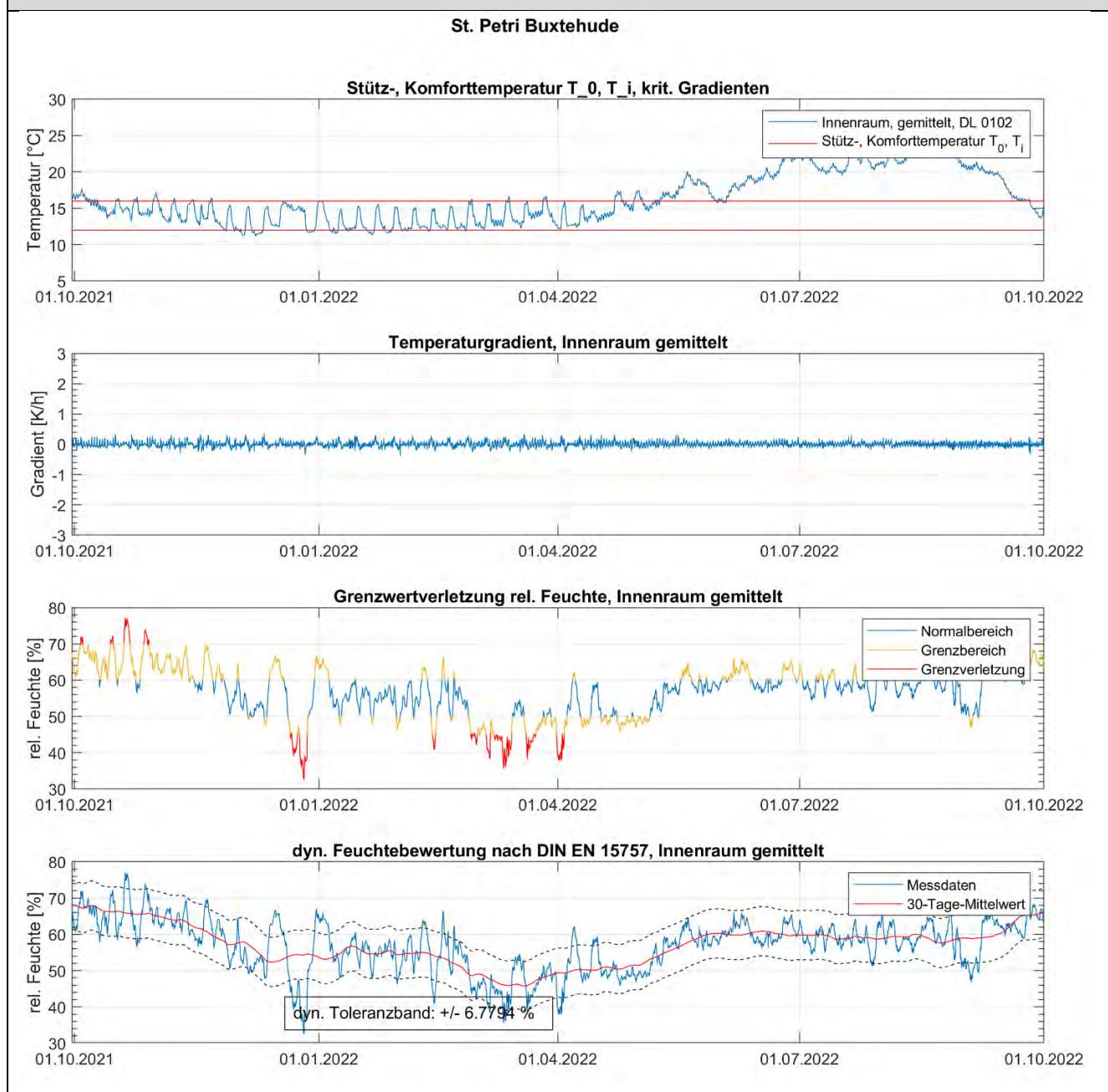
Raumklima vor der Maßnahme	
Zeitraum der Auswertung	10/2021 – 09/2022
Verletzung Gradient Temperatur $> \pm 1 \text{ K/h} $ Kriterium A	Keine = 0
Grenzwertverletzung relative Feuchte $> 70\%$ Kriterium B _{pos}	im Sommerhalbjahr zu hohe rel. Feuchte = 0,3141
Grenzwertverletzung relative Feuchte $< 45\%$ Kriterium B _{neg}	im Winterhalbjahr zu niedrige rel. Feuchte = 1,5214
Fahrweise Gebäudetechnik	<ul style="list-style-type: none"> - Empfohlener Auf- und Abheizgradient von $\pm 1 \text{ K/h}$ wird weit unterschritten - relative Feuchte im Winterhalbjahr wochenw. $< 45\%$ - erhöhte dynamische Abweichungen der rel. Feuchte von der historischen Variabilität - Temperaturregelung funktioniert - geringe Aufheizspitzen von ca. um 4K - keine Feuchtevorrangschaltung
Zustand der Orgel	<ul style="list-style-type: none"> - in der Orgel Schimmelbefall
Klimabedingte Schäden	<ul style="list-style-type: none"> - Feuchteschäden unterer Bereich Außenwände - markante Salzausblühungen in Fensterlaibungen

Energetische Bewertung vor der Maßnahme	
durchschnittl. Heizenergieverbrauch HEV	= 191.854,0 kWh/a
Spez. Heizenergieverbrauch HEV _{spez} = HEV/beheiztes Volumen	= 19,4 kWh/a/m ³
relativer Heizenergieverbrauch EVK = HEV _{spez} *100/Anzahl der Veranstaltungen	= 13,8 kWh/a/m ³ /n
Anzahl der Veranstaltungen n/Heizperiode	= 141

Sozialwissenschaftliches Monitoring vor der Maßnahme (71 Befragte)	
Raumtemperatur	87% für „sehr angenehm“ mit entsprechender Kleidung
Wohlbehagen	Fußbodenheizung wird als angenehm empfunden 75% fühlen sich wohl
Luftqualität	84% für „genau richtig“
Zugluftempfinden	deutlich spürbare Zugerscheinungen im Altarraum und im vorderen Mittelschiff 29% geben Zugluft mit „oft“ an
Kälteempfinden	13% frieren „oft“, besonders in den Seitenschiffen
Unzufriedenheit mit Temperatur im Kirchenraum	8% sind (eher) unzufrieden mit der Temperatur im Kirchenraum

Beginn der Messdatenaufzeichnung: 08/2021
 Zeitraum Baumaßnahmen: 19.01.2023 bis 10.05.2023

Raumklima vor der Maßnahme von 10/2021 – 09/2022

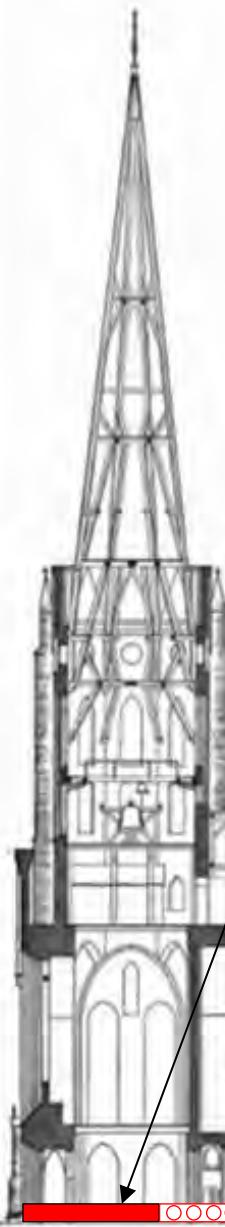


Energetische Daten

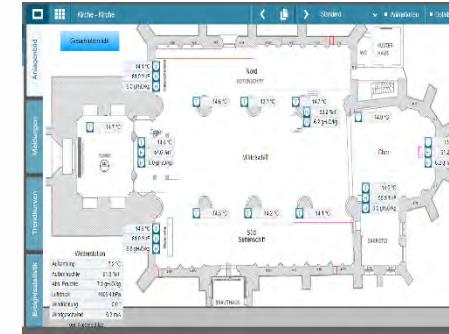
	Bestand	Vorzugsvariante: DADA
Energieträger	Erdgas	Erdgas
Wärmeleistung	170 kW	151 kW
Heizenergieverbrauch	191.854 kWh/a	139.793 kWh/a
Heizenergiiekosten	10.341 €/a	7.535 €/a
CO ₂ -Emissionsfaktor	0,202 kg/kWh	0,202 kg/kWh
CO ₂ -Emission	38.755 kg/a	28.238 kg/a

Zusammenstellung der innovativen Kosten			
Kosten-gruppe	Kostenposition	Kostenberechnung 22.04.2022 (brutto)	ETiK -Fördermittel (brutto)
KG 420	Heizung	59.957,47 €	29.464,33 €
KG 430	Kontrollierte Lüftungsanlage	14.145,93 €	11.316,74 €
KG 480	Gebäudeleittechnik	35.738,38 €	28.590,70 €
KG 490	sonstige TGA (Dokumentation)	2.463,30 €	0,00 €
KG 200+400	Summe Baukosten	112.305,08 €	69.371,77 €
KG 736	Baunebenkosten	42.560,05 €	31.284,74 €
	Summe brutto	154.865,13 €	100.656,51 €
	Summe brutto abzgl. mgl. ETiK-Fördermittel exkl. Bauseitiger Leistungen	54.208,62 €	

Zusammenfassung der Planung	
Begründungen der innovativen Ansätze der einzelnen Positionen	
Wärmeverteilung - Körpernahe Heizung	Gasbrennwertkessel, Wärmeleistung 170 kW, statische Heizung und Fußbodenheizung werden ergänzt durch Unterflurkonvektoren mit höherer Wärmeleistung im Chorraum, Rückbau des vorhandenen BHKW, Kompensation Kaltluftabfall und resultierende Zugerscheinungen an den Ost-Fenstern mit abgestimmten Wärmequellen aus baulichen Gründen nicht möglich, flexibel einsetzbare, akkubetriebene Sitzkissenheizung und festinstallierte, elektrische Sitzkissenheizung
Kontrollierte Lüftung	zwei Fenster auf der Süd- und der Nordseite (bis 90° offenbar) werden als automatisierte Lüftungsfenster umgebaut, Kombination mit kontrollierter Abluftanlage, Abluftventilator unsichtbar über der zentralen großen Öffnung fördert Luft aus dem Kirchenschiff in den Dachraum
Regelung Gebäudeleittechnik mit neuartiger koordinierter Heizungs-Lüftungs-Strategie	Modernisierung der GLT von Kieback&Peter quanteon mit Fernzugriff, Koordinierung von Wärmeerzeugung, Grundheizung, körpernahe Heizung, -verteilung; exakte Regelung der reduzierten Grund- und Nutzungstemperatur; Einhaltung von Temperaturgradienten und Feuchtegrenzen, Feuchtevorrangschaltung (Umschaltung an den Feuchtegrenzwerten von Temperatur- auf Feuchteregelung); Koordinierung von Heizungsregelung mit Fensterlüftung und Abluftanlage
Zu erwartende Verbesserungen	
Denkmalschutz	durch Steuerung der Feuchte (Feuchtevorrangschaltung, neuartige Lüftungs-Strategie) soll die rel. Feuchte stabilisiert werden; die Minderung von Feuchteschäden an Wänden und Reduzierung der Schimmelpilzbelastung werden erwartet
Behaglichkeit	durch Temperierung der Wände wird eine erhebliche Minderung von Zugluft i. Chor, i. Mittelschiff und in den Seitenschiffen erwartet; Strahlungsentzug von den Wänden wird reduziert; höhere Behaglichkeit im Gestühl durch Ergänzung von elektrischer Sitzkissenheizung
CO ₂ - Ersparnis	die Reduzierung der Heizleistung verspricht ein CO ₂ -Einsparpotential von ca. 10,5 Tonnen CO ₂ pro Jahr oder 27%



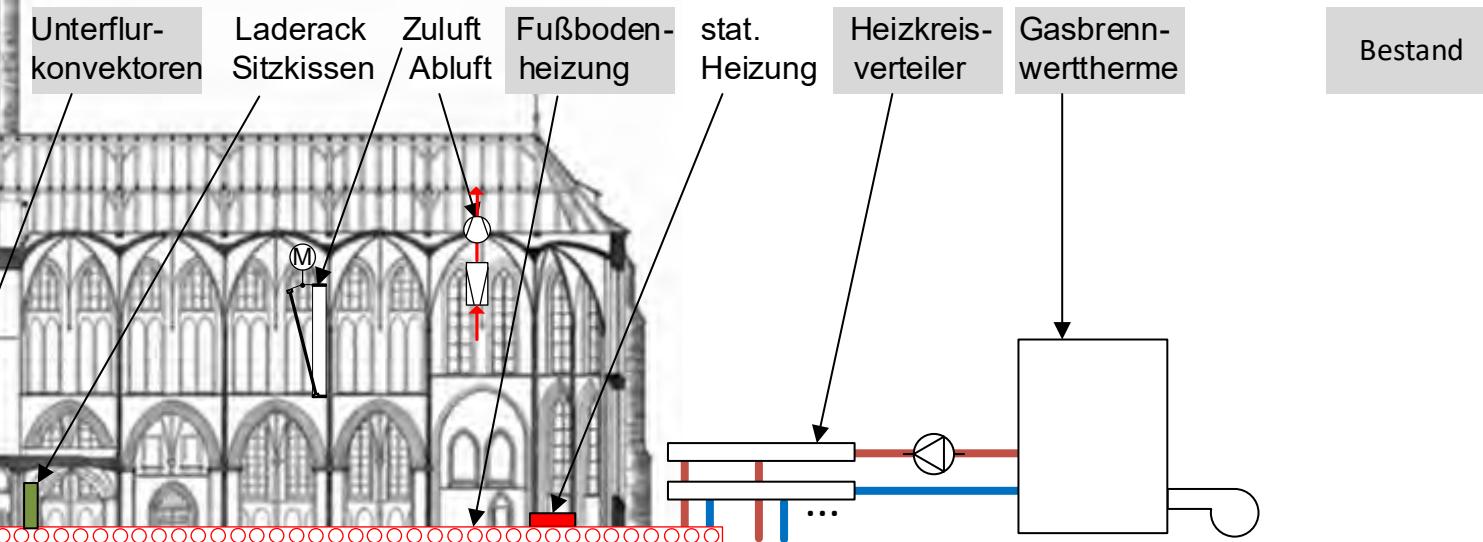
Unterflurkonvektoren (Bestand)



Gebäudeleittechnik (Kieback&Peter)



Fußbodenheizung mit 11 Heizkreisen (Bestand)



Raumklima nach der Maßnahme	
Zeitraum der Auswertung	01/2024 – 12/2024
Verletzung Gradient Temperatur $> \pm 1 \text{ K/h} $ Kriterium A	Keine = 0
Grenzwertverletzung relative Feuchte $> 70\%$ Kriterium B _{pos}	= 0,24 (Verbesserung i. Vgl. zum Vahrjahr und i. Vgl. zu vor der Maßnahme, Herbst 2023 wetterbedingt zu hohe Feuchte)
Grenzwertverletzung relative Feuchte $< 45\%$ Kriterium B _{neg}	2024 kaum meßbare Grenzwertverletzung = 0,12 (besser i. Vgl. zu vor der Maßnahme)
Fahrweise Gebäudetechnik	<ul style="list-style-type: none"> - Empfohlener Auf- und Abheizgradient von $\pm 1 \text{ K/h}$ wird weit unterschritten - relative Feuchte im Winterhalbjahr leicht erhöht - erhöhte dynamische Abweichungen der rel. Feuchte von der historischen Variabilität gleichbleibend

Energieverbrauch nach der Maßnahme / 6 Monate	
Heizenergieverbrauch (Hochrechnung/Heizperiode)	HEV = 123.546,37 kWh/a
spezifischer Heizenergieverbrauchskennwert (HEV _{spez} =HEV/Volumen)	HEV _{spez} = 12,51 kWh/(a·m ³)
relativer Heizenergieverbrauchskennwert (HEV _{spez} *100/Veranstaltungen pro Heizper.)	EVK _{rel} = 8,91 kWh/(a·m ³ ·n)
CO ₂ -Emission gesamt pro Jahr	24.833 kg/a
spez. CO ₂ -Emission (CO ₂ -Emission/Volumen)	2,52 kg/(a·m ³)
Bewertung	<ul style="list-style-type: none"> - lineare Hochrechnung des Verbrauches auf die Heizperiode - Klimabereinigung des Verbrauches auf das langjährige Mittel und auf die Klimaregion mittels Gradtagszahlen - geringer HEV_{spez} bei großem Volumen des Kirchenraumes: 77% der Kirche mit dem max. Verbrauch 132% vom mittleren Verbrauch aller 7 Kirchen - geringer EVK_{rel}, trotz hoher Nutzung im Jahr: 45% der Kirche mit dem max. Verbrauch 74% vom mittleren Verbrauch aller Kirchen

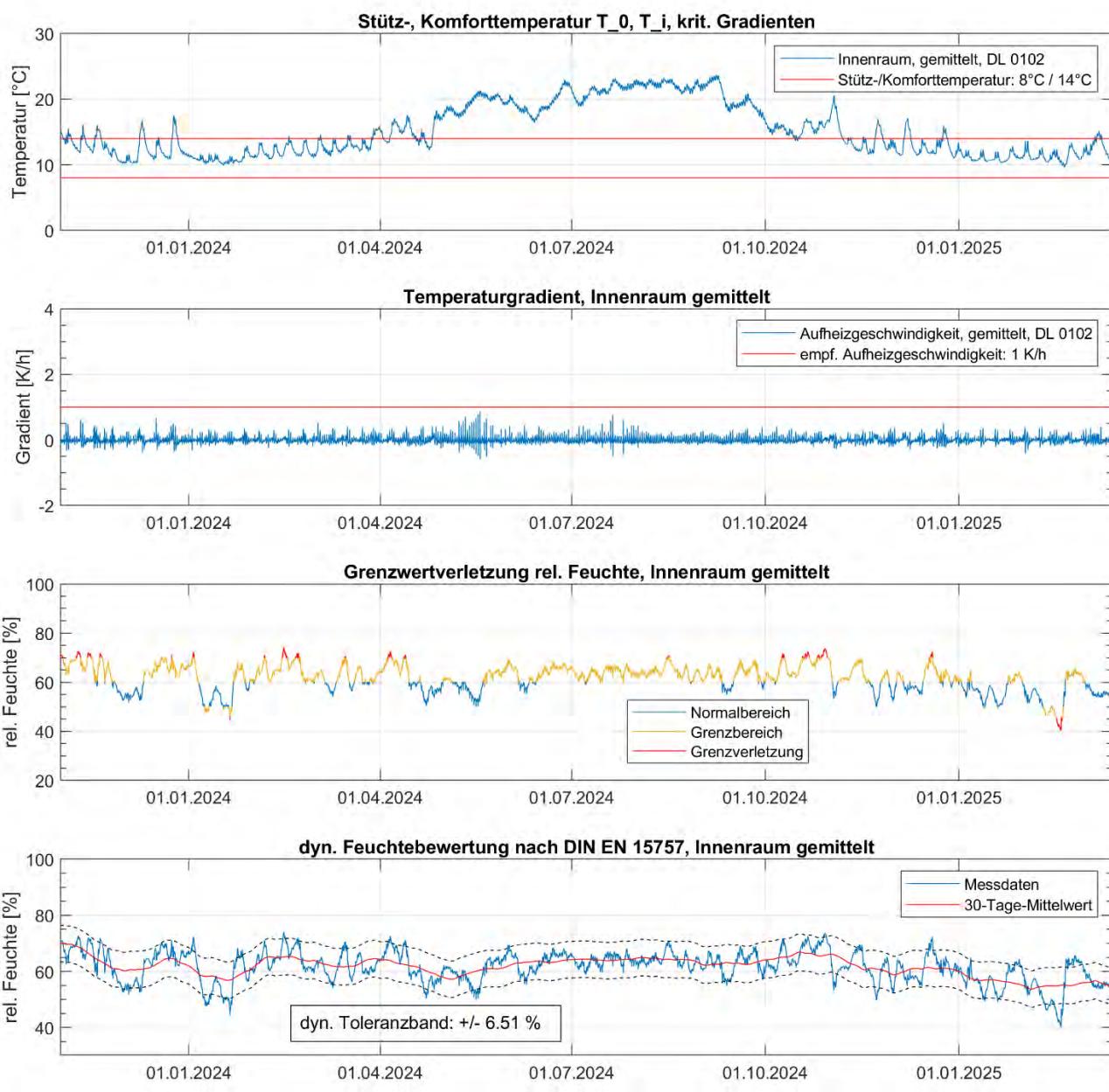
Sozialwissenschaftliches Monitoring nach der Maßnahme (gesamt 51 Befragte)		
Raumtemperatur	86%	für „sehr angenehm“ mit entsprechender Kleidung (- 1% vgl. zu 2022)
Wohlbehagen	84%	fühlen sich wohl (+ 9% vgl. zu 2022)
Luftqualität	92%	für „genau richtig“ (+ 8% vgl. zu 2022)
Zugluftempfinden	20%	geben Zugluft mit „oft“ an (- 9% vgl. zu 2022)
Kälteempfinden	22%	Trotz der neuen Heizung war es im Gottesdienst relativ kalt. frieren „oft“ (+ 9% vgl. zu 2022)
Unzufriedenheit mit Temperatur im Kirchenraum	12%	sind (eher) unzufrieden mit der Temperatur im Kirchenraum (+ 4% vgl. zu 2022)
Bewertung		Weiterhin hohes Wohlbehagen. Höheres Kälteempfinden und weniger Zugluft im Kirchenraum

Beginn der Messdatenaufzeichnung: 01.10.2023

Zeitraum der Baumaßnahmen: 19.01.2023 bis 10.05.2023

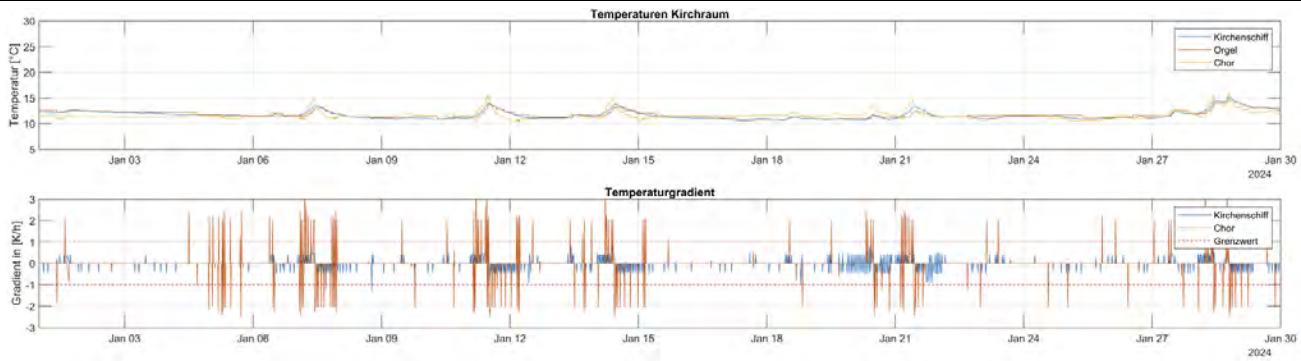
Raumklima nach der Maßnahme von 01/2024 – 12/2024

St. Petri Buxtehude

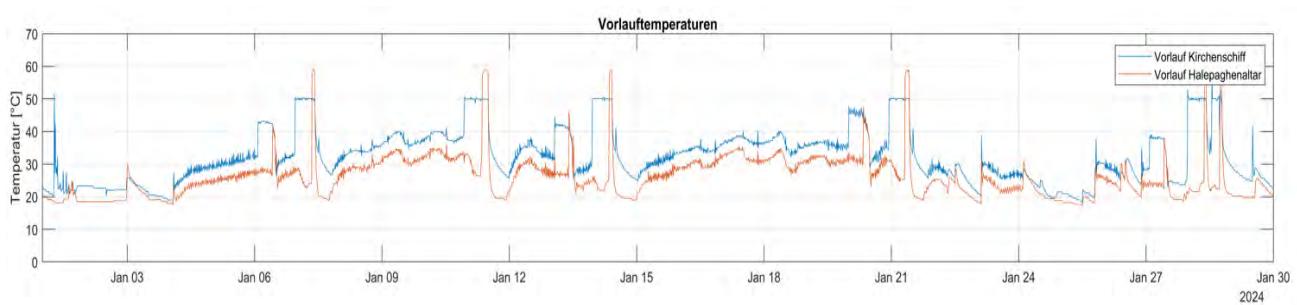


Beurteilung von Funktionen der Gebäudeleittechnik

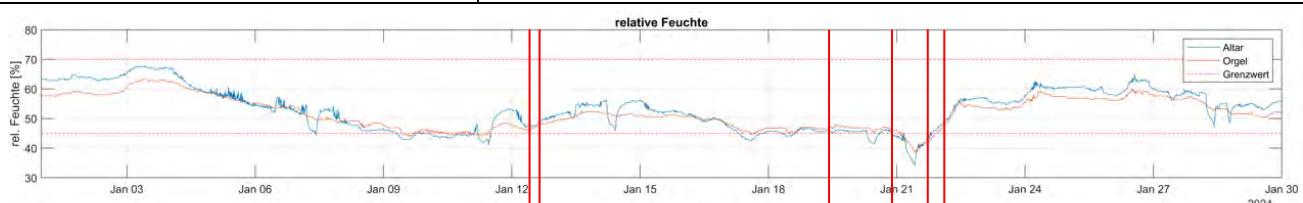
Unterschiede in den Messwerten	Messorte und Messprinzipien zwischen ETiK-testo-Datenloggern und den GLT-Sensoren sind unterschiedlich; durch Wandinstallation und damit thermodynamische Ankopplung an massive Wände sind Sensoren der Gebäudeleittechnik träger
Änderungsgeschwindigkeit der Raumtemperatur	maßgebend für die Steuerung der Aufheizvorganges ist Mittelwert der Sensoren im Kirchenschiff; hohe Temperaturänderungsgeschwindigkeiten im Chorraum werden vrmgl. durch die örtliche Nähe der Unterflurkonvektoren zu den Sensoren bedingt; Messwerte im Chor < $ \pm 2 \text{ K/h} $ Messwerte Kirchenschiff < $ \pm 1 \text{ K/h} $



Regelung der Raumtemperatur und Heizungsvorlauf	Regelung der Raumtemperatur funktioniert gut; die Heizung im Kirchenschiff und am Halephagenaltar reagieren weitgehend synchron; Heizung am Altar reagiert etwas totzeitversetzt mit höheren Spitzenwerten; Vorlauftemperaturen passen zu der Änderungsgeschwindigkeiten der Raumtemperatur;
---	--



Feuchtevorrangschaltung	relative Feuchte beträgt durchgängig $\varphi < 70\%$, mit Ausnahmen von $\varphi < 45\%$, d.h. eine leichte Unterschreitung der unteren Feuchtegrenze von 45%; eine ursächliche Gegensteuerung der Heizung zur Einhaltung der unteren Feuchtegrenze ist nicht nachweisbar;
Lüftung	automatische Lüftungsfenster und die Abluftanlage sind aktiv, die Fenstersteuerung ist nachvollziehbar; vom 19.-20.01.2024 ist die Stabilisierung der relativen Feuchte im Kirchenraum nachweisbar, da die absolute Feuchte x_a außen größer als die absolute Feuchte x_i innen ist: $x_a > x_i$ und $\varphi < 50\%$ s. Diagramm;

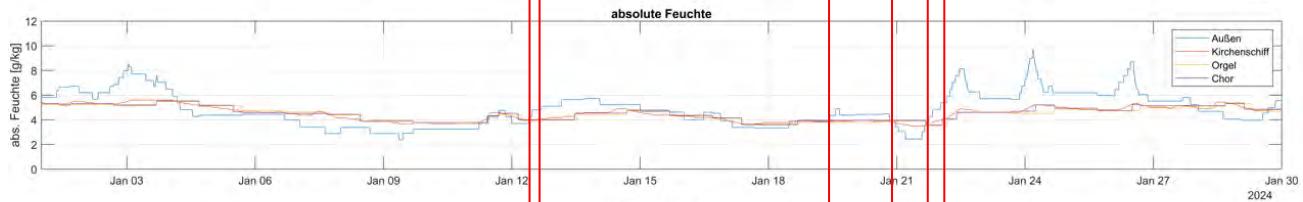


relative Feuchte

rel. Feuchte [%]

Jan 03 Jan 06 Jan 09 Jan 12 Jan 15 Jan 18 Jan 21 Jan 24 Jan 27 Jan 30 2024

Altar Orgel Grenzwert

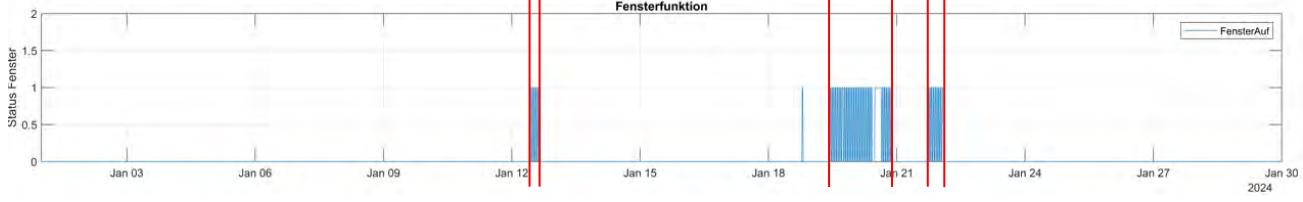


absolute Feuchte

abs. Feuchte [g/kg]

Jan 03 Jan 06 Jan 09 Jan 12 Jan 15 Jan 18 Jan 21 Jan 24 Jan 27 Jan 30 2024

Außen Kirchenschiff Orgel Chor



Fensterfunktion

Status Fenster

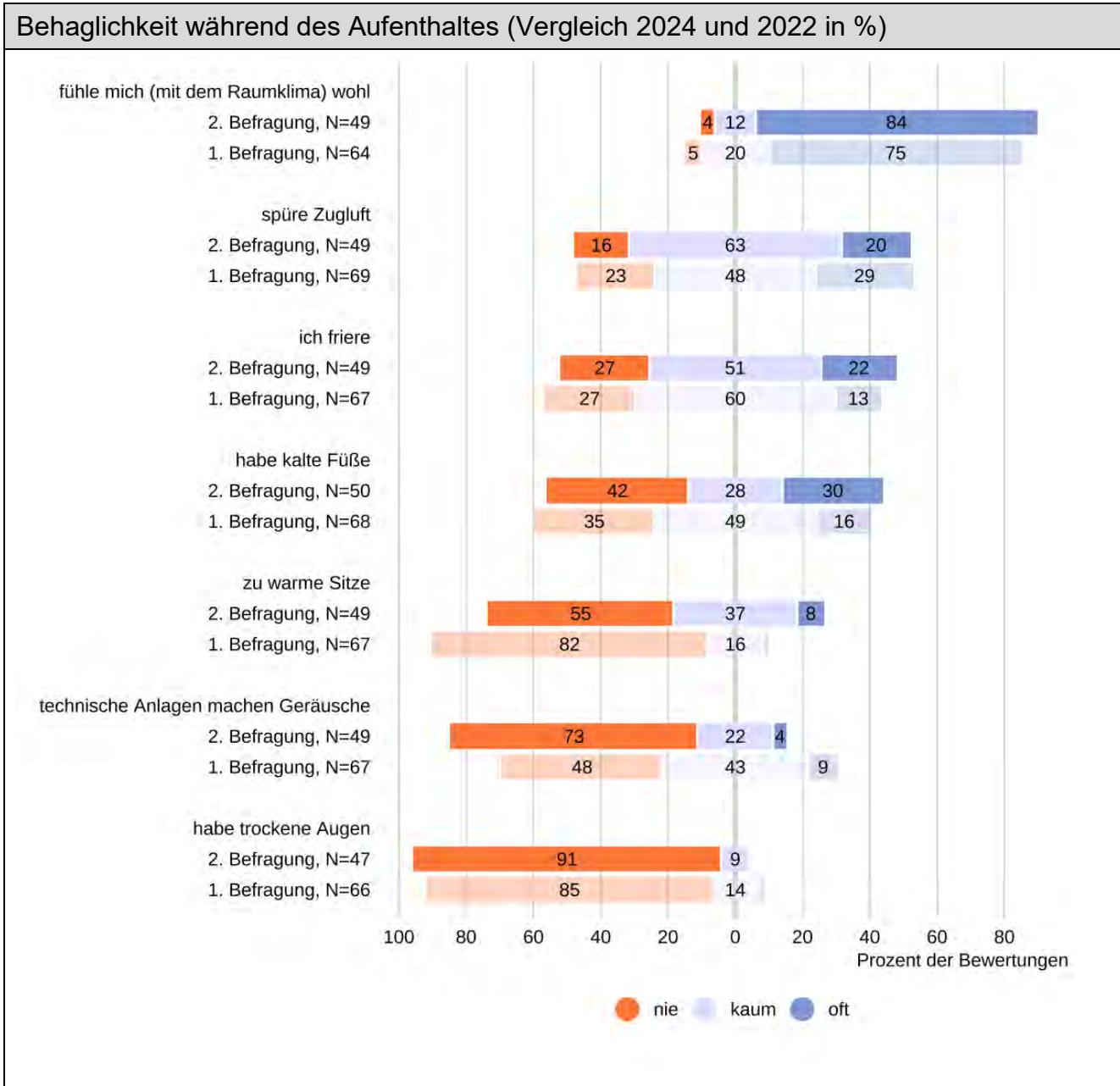
Jan 03 Jan 06 Jan 09 Jan 12 Jan 15 Jan 18 Jan 21 Jan 24 Jan 27 Jan 30 2024

FensterAuf

Zusammenfassung und Vergleich vor und nach der Maßnahme

Energetischer Vergleich		(a)	(b)	(c)
	vor der Maßnahme	Planung	nach der Maßnahme	
Heizenergieverbrauch HEV	191.854 kWh/a	139.793 kWh/a	123.546,37 kWh/a 64% von (a)	
Spezif. Heizenergieverbrauchs-kennwert (HEV _{spez} = HEV/Volumen)	19,4 kWh/a/m ³	14,16 kWh/a/m ³	12,51 kWh/a/m ³ 64% von (a)	
relativer Heizenergieverbrauchskennwert (HEV _{spez} *100/Veranstaltungen pro Heizperiode)	13.783 kWh/a/m ³ /n	10,04 kWh/a/m ³ /n	8,91 kWh/a/m ³ /n 64% von (a)	
CO ₂ -Emission gesamt pro Jahr (CO ₂ -Emissionsfaktor Erdgas 0,201 tCO ₂ /MWh; (Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle)	38.755 kg/a	28.238 kg/a	24.833 kg/a 64% von (a)	
spez. CO ₂ -Emission (CO ₂ -Emission/Volumen)	3,9 kg/a/m ³	2,86 kg/a/m ³	2,52 kg/a/m ³ 64% von (a)	
Veranstaltungen/Heizperiode n	141			

Klimatischer Vergleich		Messzeitraum	Messzeitraum
Zeitraum der Auswertung		10/2021 – 09/2022	01/2024 – 12/2024
Bewertung Einhaltung Temperaturgradient	A	0	0
	<ul style="list-style-type: none"> - Empfohlener Auf- und Abheizgradient von ± 1 K/h wird vor und nach der Maßnahme eingehalten - Unterschiede in den Messwerten resultieren von verschiedenen Messsystemen und Messorten 		
Bewertung Einhaltung oberer Feuchtegrenzwert	B _{pos}	0,3141	0,24
	<ul style="list-style-type: none"> - relative Feuchte im Winterhalbjahr wochenweise > 70% - der höhere Wert ab 10/2023 resultiert aus dem extrem feuchten Herbst 2023 		
Bewertung Einhaltung unterer Feuchtegrenzwert	B _{neg}	1,5214	0,12
	<ul style="list-style-type: none"> - relative Feuchte im Winterhalbjahr nach der Maßnahme > 45% - Stabilisierung durch Fenstersteuerung und Feuchtevorrangschaltung nachweisbar 		





Luftauslass im Dachboden



Abluftanlage im Dachboden
Ansaugkasten mit Axialventilator
Abluftöffnung im Engelsstein



Unterflurkonvektor (Bestand)



Heizkreisverteiler (Bestand)



Laderack für elektrische Sitzkissen



Brennwertkessel

Baujahr: 1804
 Volumen: 2.326 m³
 Sitzplätze: 400 - 450



Zustand von Technik, Ausstattung und Nutzung vor der Maßnahme	
Energieträger	Heizöl
Wärmeerzeuger	veraltete Ölheizung ca. 75 kW von 1995, technische Ausfälle, technisch erneuerungswürdig
Grundheizsystem	statische Heizung, WW-Flachheizkörper, Röhrenradiatoren, Konvektoren
Körpernahes Heizsystem	Bankheizkörper mit/ohne Konvektionsflächen
Lüftung	manuelles Lüften mit zu kleinen Fenstern
Art der Heizungsregelung	veraltete Regelung mit Aufheizautomatik von F&M Heiztechnik Schefflenz, sollte ersetzt werden
Solltemperatur Nichtnutzung T ₀	bisher 8°C lt. Fragebogen, 12°C eingestellt
Solltemperatur Nutzung T _i	bisher 16°C lt. Fragebogen
Solltemperatur körpernahe Heizung	-
Auf-, Abheizgradient	± 1,5 K/h
Relative Feuchte	keine Feuchtevorrangsschaltung, generell zu hohe relative Raumluftfeuchte, 50% - 70% rel. Feuchte sind für die Orgel einzuhalten
Schützenswerte Ausstattung	Orgel, Altar, Kanzel, Taufstein, 2 antike Altarbibeln in einer Vitrine, 2 Motiv-Bleiglasfenster
Nutzung	ca. 76 Veranstaltungen pro Jahr Gottesdienste, Taufen, Hochzeiten, Konzerte, Chorproben, Kino
Behaglichkeit	Strahlungskälte von Wänden, generelles Kältegefühl im Sitzbereich, Zugluft vom Turm

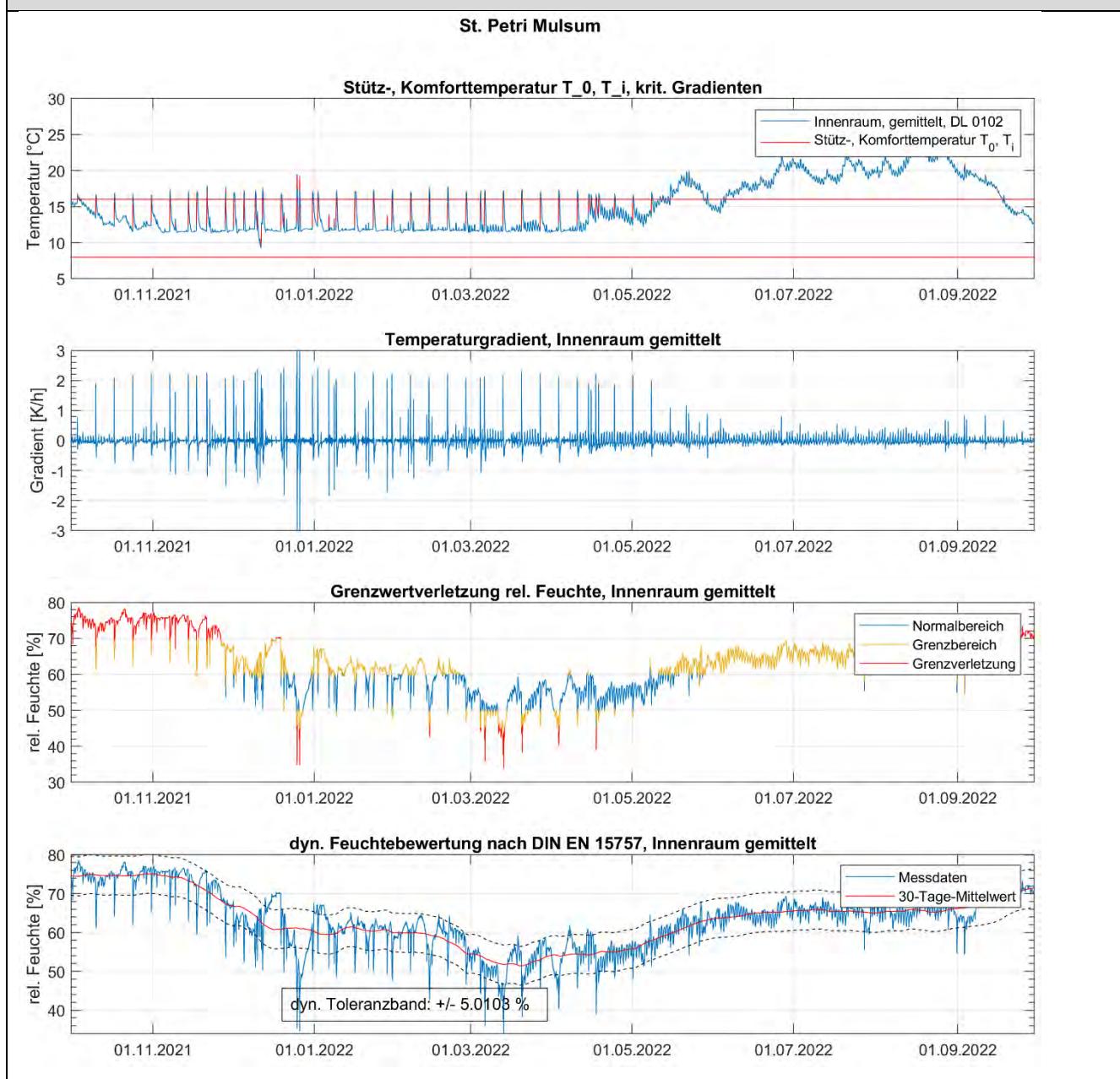
Raumklima vor der Maßnahme	
Zeitraum der Auswertung	10/2021 – 09/2022
Verletzung Gradient Temperatur $> \pm 1 \text{ K/h} $ Kriterium A	überschritten = 0,023
Grenzwertverletzung relative Feuchte $> 70\%$ Kriterium B _{pos}	im Winterhalbjahr generell zu hohe relative Raumluftfeuchte = 5,0489
Grenzwertverletzung relative Feuchte $< 45\%$ Kriterium B _{neg}	im Sommerhalbjahr mäßig niedrige relative Raumluftfeuchte = 0,1206
Fahrweise Gebäudetechnik	<ul style="list-style-type: none"> - Empfohlener Auf- und Abheizgradient von $\pm 1,5 \text{ K/h}$ wird deutlich überschritten - relative Feuchte im Winterhalbjahr von Sept. – Jan. $> 70\%$ - hohe eingestellte Solltemperatur bei Nichtnutzung führt nicht zur Absenkung der relative Raumluftfeuchte - erhöhte dynamische Abweichungen der rel. Feuchte von der historischen Variabilität - Temperaturregelung funktioniert - keine Feuchtevorrangschaltung
Zustand der Orgel	<ul style="list-style-type: none"> - ungünstiges Raumklima für Orgel
Klimabedingte Schäden	<ul style="list-style-type: none"> - zu hohe Feuchte

Energetische Bewertung vor der Maßnahme	
durchschnittl. Heizenergieverbrauch HEV	= 30.719,0 kWh/a
Spez. Heizenergieverbrauch HEV _{spez} = HEV/beheiztes Volumen	= 13,2 kWh/a/m ³
relativer Heizenergieverbrauch EVK = HEV _{spez} *100/Anzahl der Veranstaltungen	= 34,73 kWh/a/m ³ /n
Anzahl der Veranstaltungen n/Heizperiode	= 38

Sozialwissenschaftliches Monitoring vor der Maßnahme (47 Befragte)	
Raumtemperatur	85% für „sehr angenehm“ mit entsprechender Kleidung
Wohlbehagen	60% fühlen sich wohl
Luftqualität	70% für „genau richtig“
Zugluftempfinden	Zugluft vom Turm 22% geben Zugluft mit „oft“ an
Kälteempfinden	Strahlungskälte von Wänden, generelles Kältegefühl, 37% frieren „oft“
Unzufriedenheit mit Temperatur im Kirchenraum	35% sind (eher) unzufrieden mit der Temperatur im Kirchenraum

Beginn der Messdatenaufzeichnung: 08/2021
 Zeitraum Baumaßnahmen: 06/2023 bis 10/2023

Raumklima vor der Maßnahme von 10/2021 – 09/2022



Energetische Daten

	Bestand	Vorzugsvariante: CAAA
Energieträger	Heizöl	Pellets
Wärmeleistung	75 kW	64 kW
Heizenergieverbrauch	30.719 kWh/a	29.156 kWh/a
Heizenergiekosten	1.843 €/a	1.458 €/a
CO ₂ -Emissionsfaktor	0,266 kg/kWh	0,027 kg/kWh
CO ₂ -Emission	8.171 kg/a	787 kg/a

Zusammenstellung der innovativen Kosten

Kosten-gruppe	Kostenposition	Kostenberechnung 27.07.2022 (brutto)	ETiK -Fördermittel (brutto)
KG 420	Heizung	156.222,60 €	23.078,54 €
KG 430	Kontrollierte Lüftungsanlage	4.242,35 €	3.393,88 €
KG 480	Gebäudeleittechnik	63.278,07 €	50.622,46 €
KG 490	sonstige TGA (Dokumentation)	2.600,15 €	0,00 €
KG 200+400	Summe Baukosten	226.343,18 €	77.094,88 €
KG 736.1	Baunebenkosten LP 3-4	14.894,06 €	28.278,38 €
KG 736.2	Baunebenkosten LP 5-9	54.872,85 €	
	Summe brutto	296.110,08 €	105.373,26 €
	Summe brutto abzgl. mgl. ETiK-Fördermittel exkl. Bauseitiger Leistungen	190.736,82 €	

Zusammenfassung der Planung

Begründungen der innovativen Ansätze der einzelnen Positionen

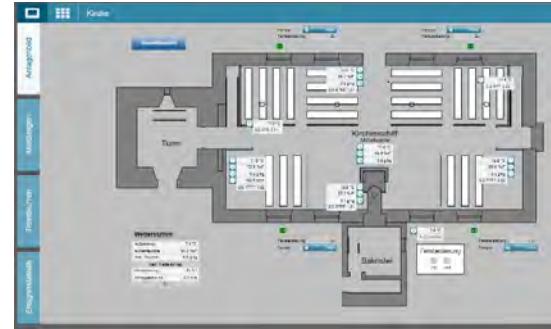
Wärmeerzeugeranlage	Moderne Pelletkesselanlage mit Pufferspeicher, Kessel und Pellets Lager im Keller
Wärmeverteilung - Körpernahe Heizung	Bedarfsgerechte Wärmeverteilung im Gestühl mittels gestalterisch angepasster Rohrheizkörper; Heizkreis 1: Bankheizkörper (körpernahe Heizung) Heizkreis 2: Temperierung Außenwände (Thermofußleiste) Heizkreis 3: Wärmestationen (Grundtemperierung)
Kontrollierte Lüftung	jeweils zwei Lüftungsfenster an der Nord- und an der Südseite mit kontinuierlich steuerbaren Fensterantrieben, damit schon Sicherstellung des erforderlichen Mindestluftwechsels, Abluftanlage nicht erforderlich
Regelung Gebäudeleittechnik mit neuartiger koordinierter Heizungs-Lüftungs-Strategie	neue GLT von Kieback&Peter quanteon mit Fernzugriff, Koordinierung von Wärmeerzeugung mit Grundheizung, körpernaher Heizung, -verteilung; exakte Regelung der reduzierten Grund- und Nutzungstemperatur; Einhaltung von Temperaturgradienten und Feuchtegrenzen (Feuchtevorrangschaltung); Koordinierung von Heizungsregelung mit Fensterlüftung

Zu erwartende Verbesserungen

Denkmalschutz	Abtransport hoher Feuchtelasten durch neuartige Steuerung der Fensterlüftung; Stabilisierung des Raumklimas durch gezielte Beeinflussung der rel. Feuchte für die Erhaltung und Bespielbarkeit der Orgel
Behaglichkeit	Verbesserung der Behaglichkeit im Gestühl durch körpernahe Heizung; Temperierung der Wände soll die Strahlungskälte minimieren; eine gleichmäßige Wärmeverteilung soll Zuglufterscheinungen verringern
CO ₂ - Ersparnis	die Reduzierung der Heizleistung und Umstellung auf erneuerbare Energien verspricht ein CO ₂ -Einsparpotential von ca. 7,4 Tonnen CO ₂ pro Jahr oder 90%



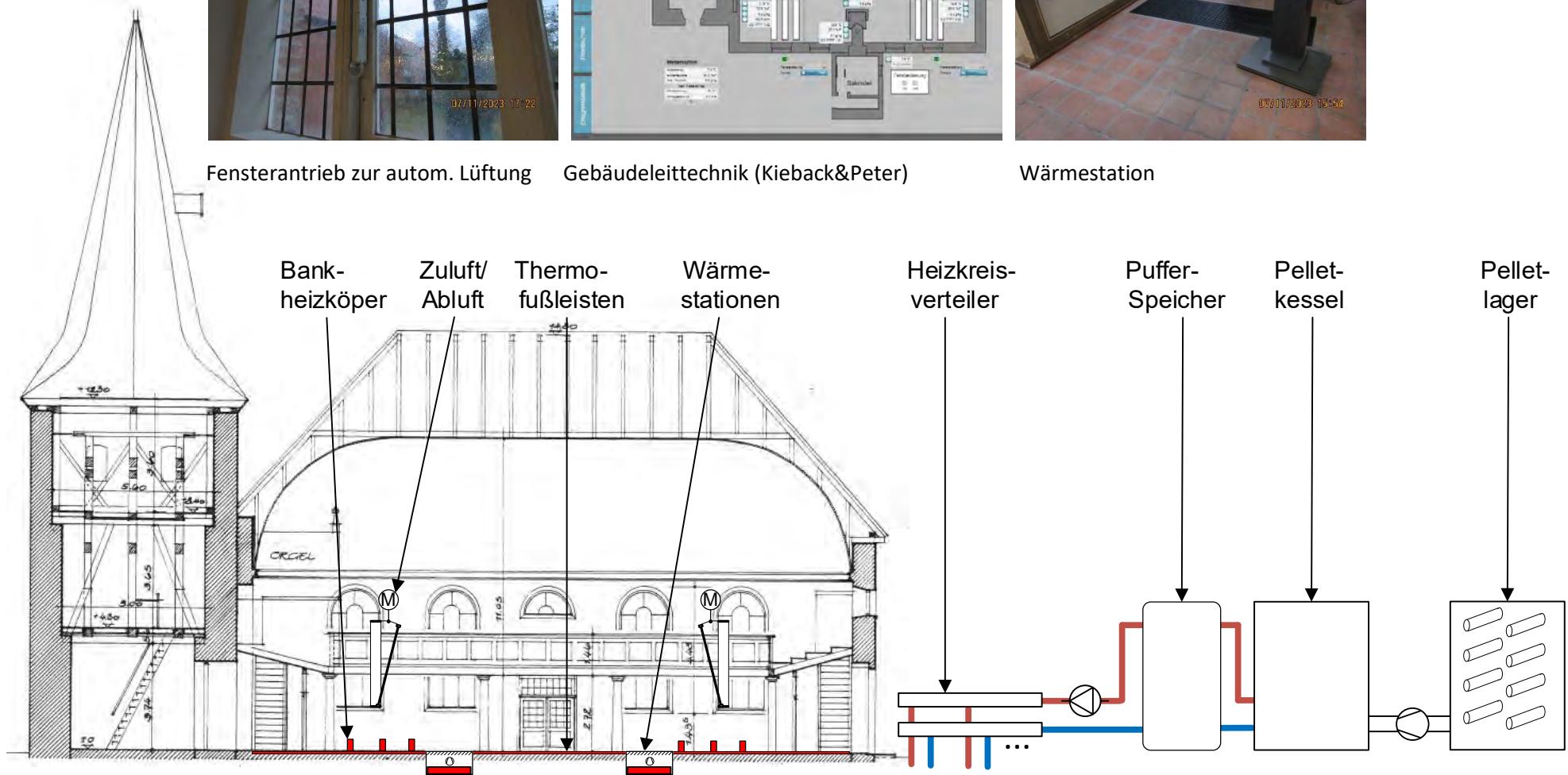
Fensterantrieb zur autom. Lüftung



Gebäudeleittechnik (Kieback&Peter)



Wärmestation



Raumklima nach der Maßnahme	
Zeitraum der Auswertung	01/2024 – 12/2024
Verletzung Gradient Temperatur $> \pm 1 \text{ K/h} $ Kriterium A	besser als 2023, unwesentlich verschlechtert i.Vgl. zu vor der Maßnahme = 0,03
Grenzwertverletzung relative Feuchte $> 70\%$ Kriterium B _{pos}	im Winterhalbjahr sehr hohe rel. Feuchte, verschlechtert im Vgl. zu vor der Maßnahme, verbessert gegenüber 2023 (4. Quartal 2023 wetterbedingt zu hohe Feuchte) = 10,35
Grenzwertverletzung relative Feuchte $< 45\%$ Kriterium B _{neg}	unterer Grenzwert der relativen Feuchte wird nicht erreicht = 0
Fahrweise Gebäudetechnik	<ul style="list-style-type: none"> - Auf- und Abheizgradient wird unwesentlich schlechter - relative Feuchte im Winterhalbjahr häufig $> 70\%$ - dynamische Abweichungen der rel. Feuchte von der historischen Variabilität gering, leicht verbessert
Zustand der Orgel	
Klimabedingte Schäden	

Energieverbrauch nach der Maßnahme / 6 Monate	
Heizenergieverbrauch (Hochrechnung/Heizperiode)	HEV = 9.275,51 kWh/a
spezifischer Heizenergieverbrauchskennwert (HEV _{spez} =HEV/Volumen)	HEV _{spez} = 3,99 kWh/(a·m ³)
relativer Heizenergieverbrauchskennwert (HEV _{spez} *100/Veranstaltungen pro Heizper.)	EVK _{rel} = 10,49 kWh/(a·m ³ ·n)
CO ₂ -Emission gesamt pro Jahr	334 kg/a
spez. CO ₂ -Emission (CO ₂ -Emission/Volumen)	0,14 kg/(a·m ³)
Bewertung	<ul style="list-style-type: none"> - lineare Hochrechnung des Verbrauches auf die Heizperiode, da regulärer Betrieb der Heizungsanlage erst in 12/2023 beginnt, vorher noch Inbetriebnahmeprozesse - Klimabereinigung des Verbrauches auf das langjährige Mittel und auf die Klimaregion mittels Gradtagszahlen - wegen Fehler in der Gebäudeleittechnik wird der Verbrauch von Heizkreis 2 mittels einer Hochrechnung entsprechend der Anschlussleistung der einzelnen Heizkreise bestimmt - sehr geringer HEV_{spez} bei mittlerem Volumen des Kirchenraumes: 34% der Kirche mit dem max. Verbrauch 42% vom mittleren Verbrauch aller Kirchen - sehr hoher EVK_{rel}, der die geringe Nutzung im Jahr berücksichtigt: 53% der Kirche mit dem max. Verbrauch 88% vom mittleren Verbrauch aller Kirchen

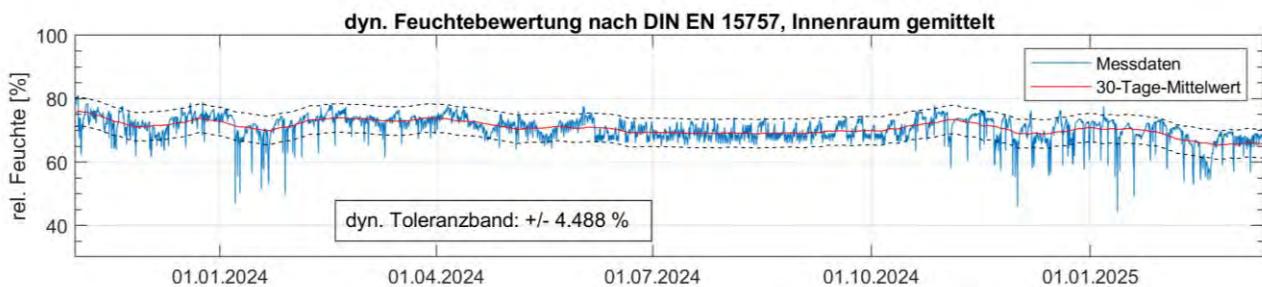
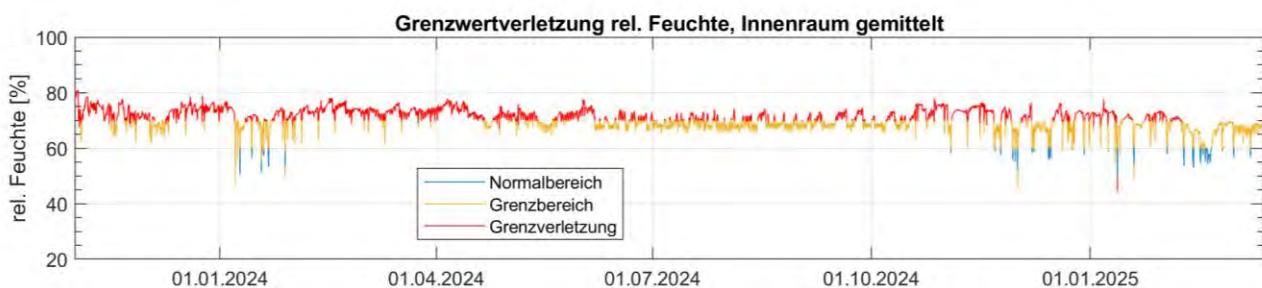
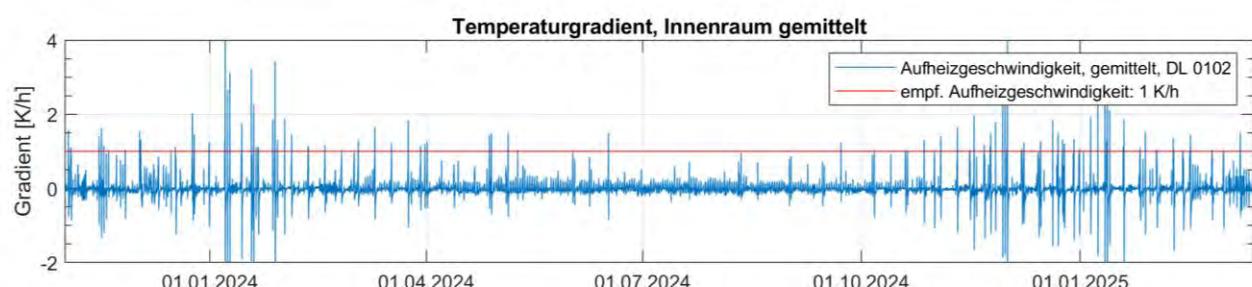
Sozialwissenschaftliches Monitoring nach der Maßnahme (gesamt 29 Befragte)	
Raumtemperatur	61% für „sehr angenehm“ mit entsprechender Kleidung (- 24% vgl. zu 2022)
Wohlbefinden	technische Geräusche der Fenster stören 38% fühlen sich wohl (- 22% vgl. zu 2022)
Luftqualität	86% für „genau richtig“ (+ 16% vgl. zu 2022)
Zugluftempfinden	Luftzug während des Gottesdienstes. Vor allem in der 2. Hälfte des Gottesdienstes fällt kalte Luft auf Schultern und eine Kälte zieht über die Oberschenkel nach unten. 52% geben Zugluft mit „oft“ an (+ 30% vgl. zu 2022)
Kälteempfinden	(siehe Zugluftempfinden) 59% frieren „oft“ (+ 22% vgl. zu 2022)
Unzufriedenheit mit Temperatur im Kirchenraum	45% sind (eher) unzufrieden mit der Temperatur im Kirchenraum (+ 10% vgl. zu 2022)
Bewertung	Keine Verbesserung und höhere Unzufriedenheit mit Kälte und Zugluft

Beginn der Messdatenaufzeichnung: 01.10.2023

Zeitraum der Baumaßnahmen: 06/2023 bis 10/2023

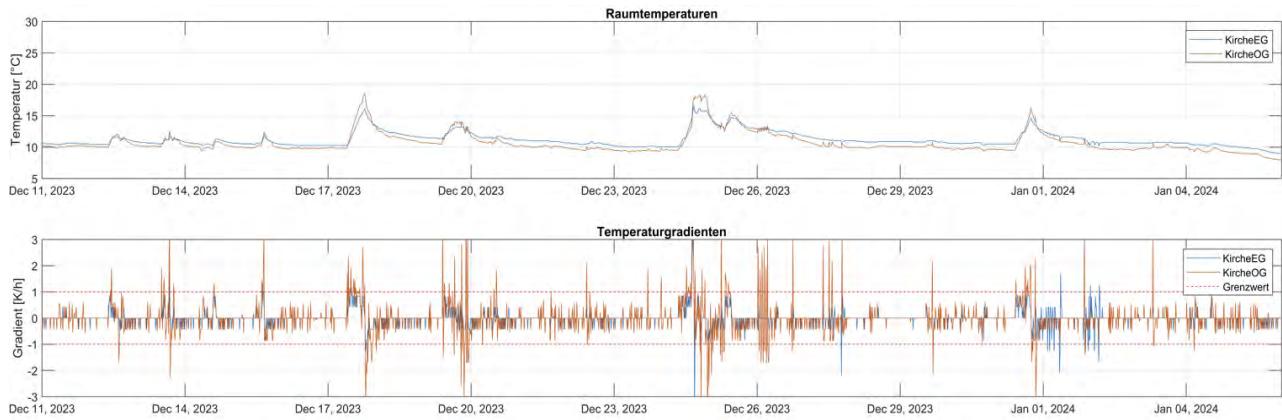
Raumklima nach der Maßnahme 01/2024 – 12/2024

St. Petri Mulsum

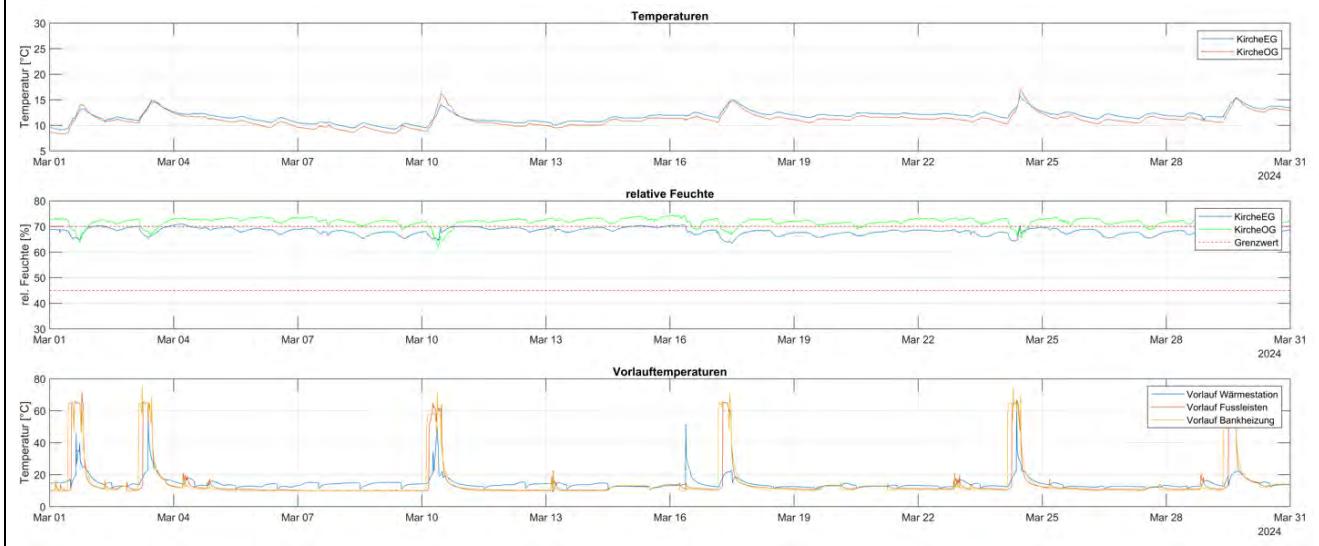


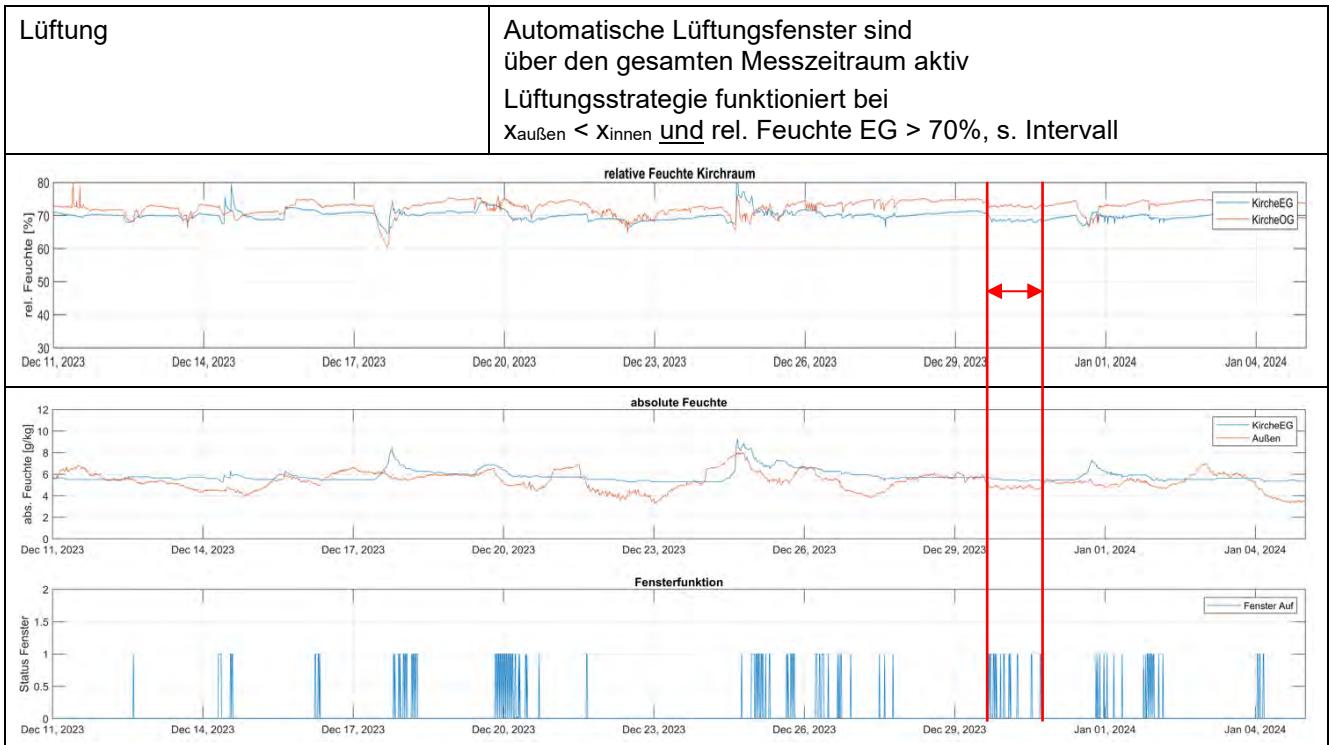
Beurteilung von Funktionen der Gebäudeleittechnik

Unterschiede in den Messwerten	Messorte und Messprinzipien zwischen testo-Datenloggern und den GLT-Sensoren sind unterschiedlich; durch Wandinstallation und damit thermodynamische Ankopplung an massive Wände sind Sensoren der Gebäudeleittechnik träge
Änderungsgeschwindigkeit der Raumtemperatur	maßgebend für die Steuerung des Aufheizvorganges ist der Mittelwert der Sensoren im Kirchenschiff; Messwerte Kirche Erdgeschoss $\approx \pm 1 \text{ K/h} $ Messwerte Kirche Obergeschoss teilweise $> \pm 1 \text{ K/h} $



Feuchtevorrangschaltung	relative Feuchte überschreitet im OG 70% im EG geringere Grenzwertüberschreitung; eine Gegensteuerung der Heizung durch Erhöhung der Vorlauftemperatur der Wärmestation um 4K ist nachweisbar
-------------------------	---



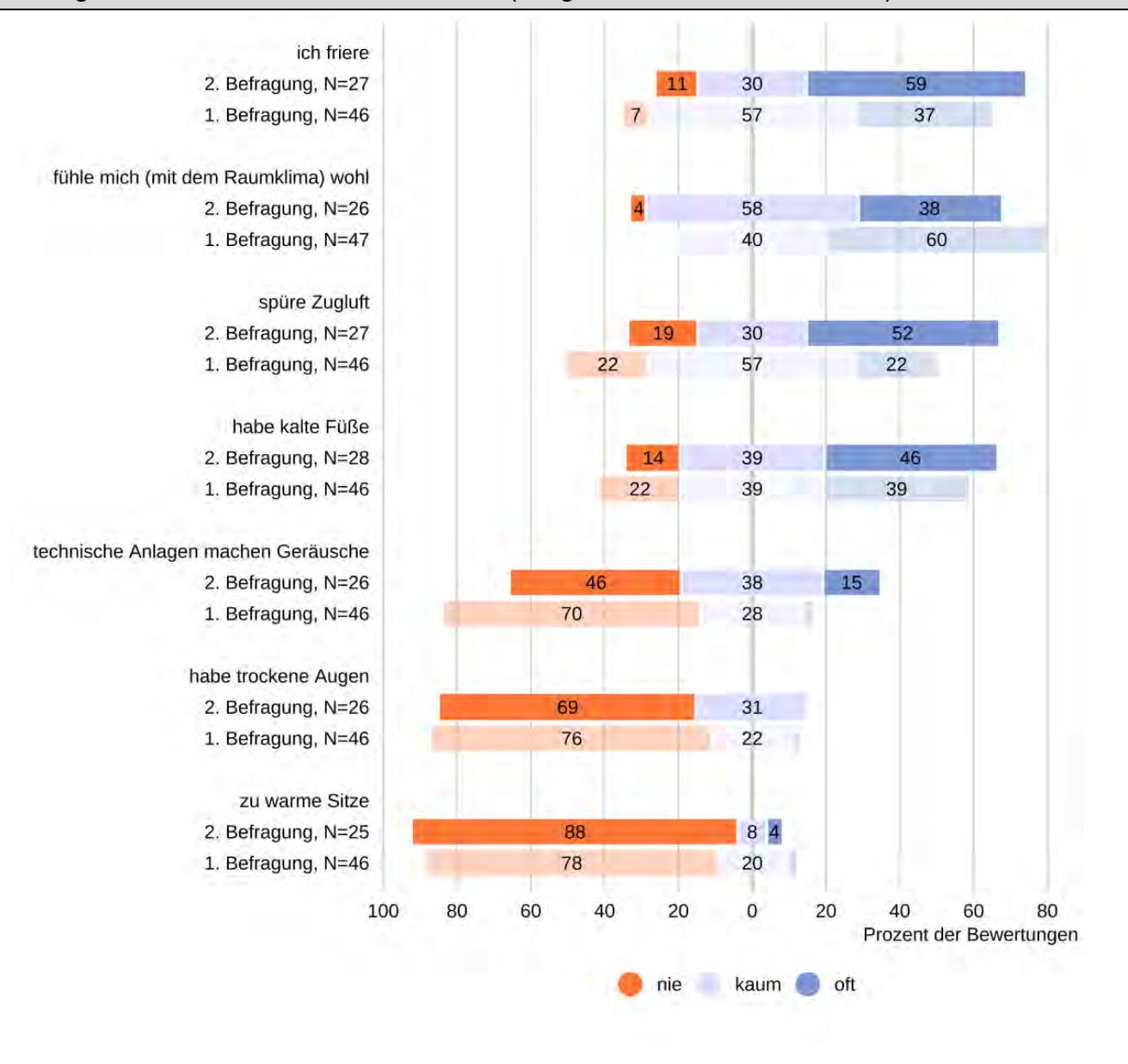


Zusammenfassung und Vergleich vor und nach der Maßnahme

Energetischer Vergleich		(a)	(b)	(c)
	vor der Maßnahme	Planung	nach der Maßnahme	
Heizenergieverbrauch HEV	30.719 kWh/a	29.156 kWh/a	9.275,51 kWh/a 33% von (a)	
Spezif. Heizenergieverbrauchs-kennwert (HEV _{spez} = HEV/Volumen)	13,2 kWh/a/m ³	12,5 kWh/a/m ³	3,99 kWh/a/m ³ 33% von (a)	
relativer Heizenergieverbrauchskennwert (HEV _{spez} *100/Veranstaltungen pro Heizperiode)	34,73 kWh/a/m ³ /n	33,0 kWh/a/m ³ /n	10,49 kWh/a/m ³ /n 33% von (a)	
CO ₂ -Emission gesamt pro Jahr (CO ₂ -Emissionsfaktor Pellets 0,036 tCO ₂ /MWh; (Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle)	8.171 kg/a	787 kg/a	334 kg/a 4% von (a)	
spez. CO ₂ -Emission (CO ₂ -Emission/Volumen)	3,5 kg/a/m ³	0,3 kg/a/m ³	0,14 kg/a/m ³ 4% von (a)	
Veranstaltungen/Heizperiode n	38			

Klimatischer Vergleich		Messzeitraum	Messzeitraum
Zeitraum der Auswertung		10/2021 – 09/2022	01/2024 – 12/2024
Bewertung Einhaltung Temperaturgradient	A	0,023	0,03
	<ul style="list-style-type: none"> - Empfohlener Auf- und Abheizgradient von ± 1 K/h wird vor und nach der Maßnahme überschritten, unwesentlich verschlechtert - Unterschiede zwischen testo-Daten und GLT-Daten resultieren von verschiedenen Messsystemen und Messorten her 		
Bewertung Einhaltung oberer Feuchtegrenzwert	B _{pos}	5,0489	10,35
	<ul style="list-style-type: none"> - relative Feuchte im Winterhalbjahr wochenweise > 70% - der höhere Wert ab 10/2023 resultiert aus dem extrem feuchten Herbst 2023 		
Bewertung Einhaltung unterer Feuchtegrenzwert	B _{neg}	0,1206	0
	<ul style="list-style-type: none"> - relative Feuchte im Winterhalbjahr nach der Maßnahme > 45% - Stabilisierung durch Fenstersteuerung und Feuchtevorrangschaltung erklärbar 		

Behaglichkeit während des Aufenthaltes (Vergleich 2024 und 2022 in %)





Pelletlager



Pelletkessel fröling



Pellet Ansaugsystem



Pufferspeicher aus Platzgründen im Erdreich



Bank-Rohrheizkörper



Thermofußleiste

Baujahr: vor 1491

Volumen: 546 m³

Sitzplätze: 150



Dirk Ingo Franke - Eigenes Werk, CC BY 3.0, <https://de.wikipedia.org>



Doris Antony, Berlin - Eigenes Werk, CC BY-SA 3.0 <https://de.wikipedia.org>



© Olaf Striboll, <https://www.elkar.de>

Zustand von Technik, Ausstattung und Nutzung vor der Maßnahme	
Energieträger	Erdgas
Wärmeerzeuger	Gas-Warmluft-Gebläseheizung von 1930, Gasbrenner von 1994, unzuverlässig und reparaturanfällig
Grundheizsystem	Umluftheizung: Zuluftauslässe auf der nördlichen Seite, Abluftauslässe auf der südlichen Seite des Kirchenschiffes
Körpernahes Heizsystem	-
Lüftung	Lüftung manuell möglich, sehr umständlich
Art der Heizungsregelung	Raumthermostat Vaillant Calormatic, keine Feinregulierung, erfüllt nicht die Anforderungen
Solltemperatur Nichtnutzung T ₀	8-10 °C lt. Fragebogen
Solltemperatur Nutzung T _i	16-18 °C lt. Fragebogen, keine Nachabsenkung
Solltemperatur körpernahe Heizung	-
Auf-, Abheizgradient	keine Vorgaben, keine Temperaturrampe
Relative Feuchte	keine Feuchtevorrangsschaltung
Schützenswerte Ausstattung	Spätmittelalterlicher Passionsaltar/Flügelaltar (um 1515, neu arrangiert 1936/38), herausragendes Kunstkulturgut; Schuke-Orgel (Bj. 1971, Gehäuse 1891)
Nutzung	ca. 106 Veranstaltungen pro Jahr Gottesdienste, Taufen, Hochzeiten, Trauerfeiern, Konzerte, Chorproben, Lesungen, Vorträge, offene Kirche

Raumklima vor der Maßnahme	
Zeitraum der Auswertung	05/2022 – 04/2023, seit Sommer 2020 Kirche unbeheizt
Verletzung Gradient Temperatur $> \pm 1 \text{ K/h} $ Kriterium A	Keine = 0,001
Grenzwertverletzung relative Feuchte $> 70\%$ Kriterium B _{pos}	im Winterhalbjahr zu hohe rel. Feuchte = 17,996
Grenzwertverletzung relative Feuchte $< 45\%$ Kriterium B _{neg}	im Sommerhalbjahr tlw. zu niedrige rel. Feuchte = 0,0132
Fahrweise Gebäudetechnik	<ul style="list-style-type: none"> - Empfohlener Auf- und Abheizgradient von $\pm 1 \text{ K/h}$ wird weit unterschritten - relative Feuchte im Winterhalbjahr generell $> 70\%$, da nicht geheizt wird - mäßig erhöhte dynamische Abweichungen der rel. Feuchte von der historischen Variabilität - Funktion der Temperaturregelung nicht nachweisbar - keine Aufheizspitzen - keine Feuchtevorrangschaltung
Zustand der Orgel	<ul style="list-style-type: none"> - Schäden in der Orgel durch zu hohe Temperatur im Sommerhalbjahr
Klimabedingte Schäden	<ul style="list-style-type: none"> - Schäden am Altar (Schwundrisse) durch zu hohe Temperatur im Sommerhalbjahr, zu niedrige relative Feuchte, über das Jahr zu große Temperatur- und Feuchteschwankungen

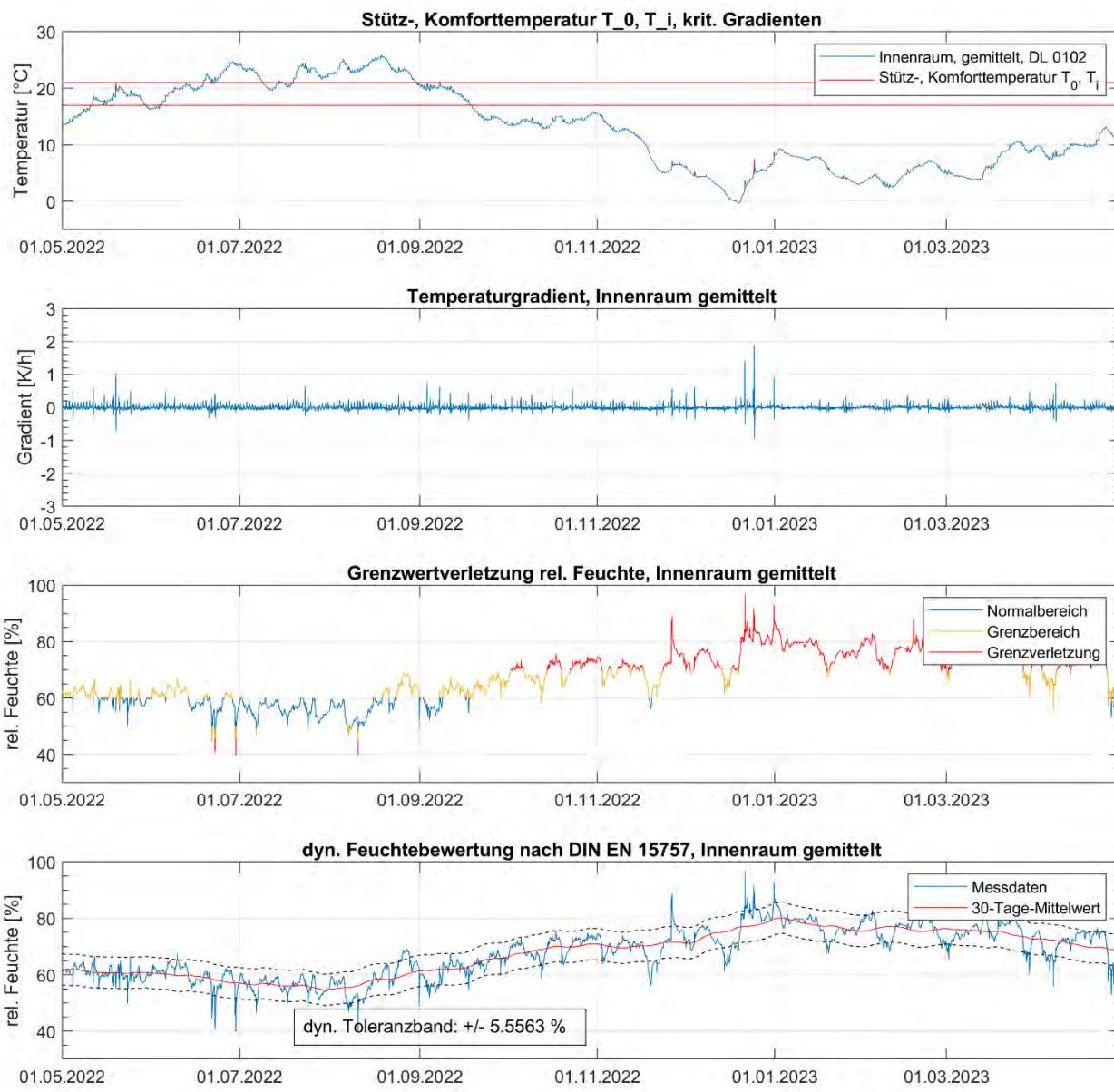
Energetische Bewertung vor der Maßnahme	
durchschnittl. Heizenergieverbrauch HEV	= 27.680 kWh/a
Spez. Heizenergieverbrauch HEV _{spez} = HEV/beheiztes Volumen	= 50,7 kWh/a/m ³
relativer Heizenergieverbrauch EVK = HEV _{spez} *100/Anzahl der Veranstaltungen	= 95,6 kWh/a/m ³ /n
Anzahl der Veranstaltungen n/Heizperiode	= 53

Sozialwissenschaftliches Monitoring vor der Maßnahme (Fokusgruppe mit 20 Befragten)	
Raumtemperatur	Absenken der Raumtemperatur; der Schutz von Altar und Orgel wird als wichtig erachtet
Wohlbefinden	die Menschen wollen sich wohlfühlen, ganzjährige Behaglichkeit ist wichtig
Kälteempfinden	warme Kleidung, Decken, warmer Tee als Ergänzung
Energieverbrauch	Klimaschutz ist wichtig und deswegen erneuerbare Energien mit moderner Technik
Bewertung	Geschichte des Gebäudes bewahren, Widerspiegelung des gelebten Glaubens der eigenen Epoche, Beitrag der jetzigen Generation: Kirche weiterentwickeln

Beginn der Messdatenaufzeichnung: 03/2022
 Zeitraum der Baumaßnahmen: 26.07.2023 bis 13.10.2023

Raumklima vor der Maßnahme von 05/2022 – 04/2023

Dorfkirche Alt-Reinickendorf



Energetische Daten

	Bestand	Vorzugsvariante: ABAA
Energieträger	Erdgas	Sole-Wasser-Wärmepumpe
Wärmeleistung	32 kW	27 kW
Heizenergieverbrauch	27.680 kWh/a	6.146 kWh/a
Heizenergiekosten	1.661 €/a	1.229 €/a
CO ₂ -Emissionsfaktor	0,202 kg/kWh	0,366 kg/kWh
CO ₂ -Emission	5.591 kg/a	2.249 kg/a

Zusammenstellung der innovativen Kosten

Kosten-gruppe	Kostenposition	Kostenanschlag 07.08.2023 (brutto)	ETiK -Fördermittel (brutto)
KG 420	Heizung	128.816,86 €	29.558,40 €
KG 430	Kontrollierte Lüftungsanlage	8.127,80 €	6.502,24 €
KG 480	Gebäudeleittechnik	44.638,15 €	35.710,52 €
KG 490	sonstige TGA (Dokumentation)	4.599,35 €	0,00 €
KG 544	Baukonstruktion Heizung	54.940,52 €	0,00 €
KG 200+400	Summe Baukosten	241.122,67 €	71.771,16 €
KG 736	Baunebenkosten	48.224,66 €	21.064,84 €
	Summe brutto	289.347,32 €	62.221,35 €
	Summe brutto abzgl. mgl. ETiK-Fördermittel exkl. Bauseitiger Leistungen	227.125,97 €	

Zusammenfassung der Planung

Begründungen der innovativen Ansätze der einzelnen Positionen

Wärmeerzeugeranlage	energieeffiziente Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Erdsonden südöstlich der Kirche und Pufferspeicher im vorhandenen Heizungskeller; Wärmepumpe wird für höhere Temperaturen ausgelegt, da alleinige Wärmeerzeugeranlage; Erdsonden nah im ungenutzten Bereich um die Kirche
Wärmeverteilung - Körpernahe Heizung	Bedarfsgerechte Wärmeverteilung im Gestühl mittels gestalterisch angepasster Rohrheizkörper Heizkreis 1: Bankheizkörper (körpernahe Heizung) Heizkreis 2: Ergänzungsheizung (Grundheizung)
Kontrollierte Lüftung	jeweils zwei Lüftungsfenster an der Nord- und an der Südseite mit kontinuierlich steuerbaren Fensterantrieben, damit schon Sicherstellung des erforderlichen Mindestluftwechsels, Abluftanlage nicht erforderlich
Regelung Gebäudeleittechnik mit neuartiger koordinierter Heizungs-Lüftungs-Strategie	Neue GLT Mahr, Typ ACTHERM-F mit Fernzugriff, Koordinierung von Grundheizung, körpernaher Heizung, Wärmeerzeugung, -verteilung; exakte Regelung der reduzierten Grund- und Nutzungstemperatur; Einhaltung von Temperaturgradienten und Feuchtegrenzen (Feuchtevorrangschaltung); Koordinierung von Heizungsregelung mit Fensterlüftung

Zu erwartende Verbesserungen

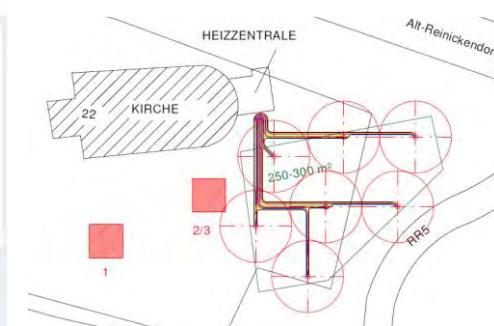
Denkmalschutz	durch Steuerung der Feuchte (Feuchtevorrangschaltung, neuartige Lüftungs-Strategie) sollen die relative Feuchte stabilisiert und Schwundrisse an wertvollen Holzeinbauten aufgehalten werden
Behaglichkeit	Verbesserung der Behaglichkeit im Gestühl durch körpernahe Heizung; Temperierung der Wände soll die Strahlungskälte minimieren; eine gleichmäßige Wärmeverteilung soll Zuglufterscheinungen verringern
CO ₂ - Ersparnis	die Reduzierung der Heizleistung und Umstellung auf erneuerbare Energien verspricht ein CO ₂ -Einsparpotential von ca. 3,3 Tonnen CO ₂ pro Jahr oder 60%, für Strom aus erneuerbaren Energien 100%



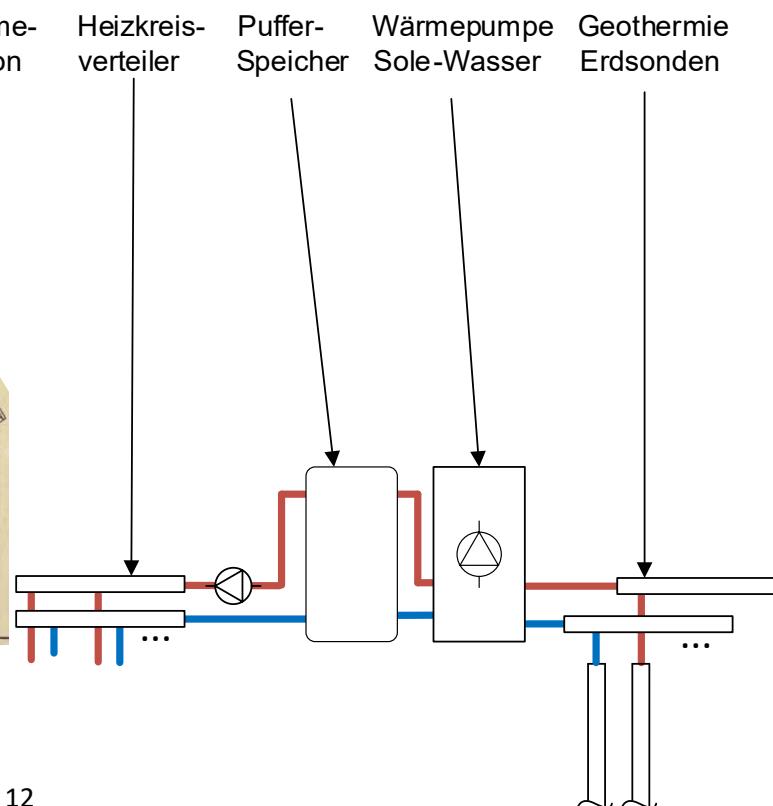
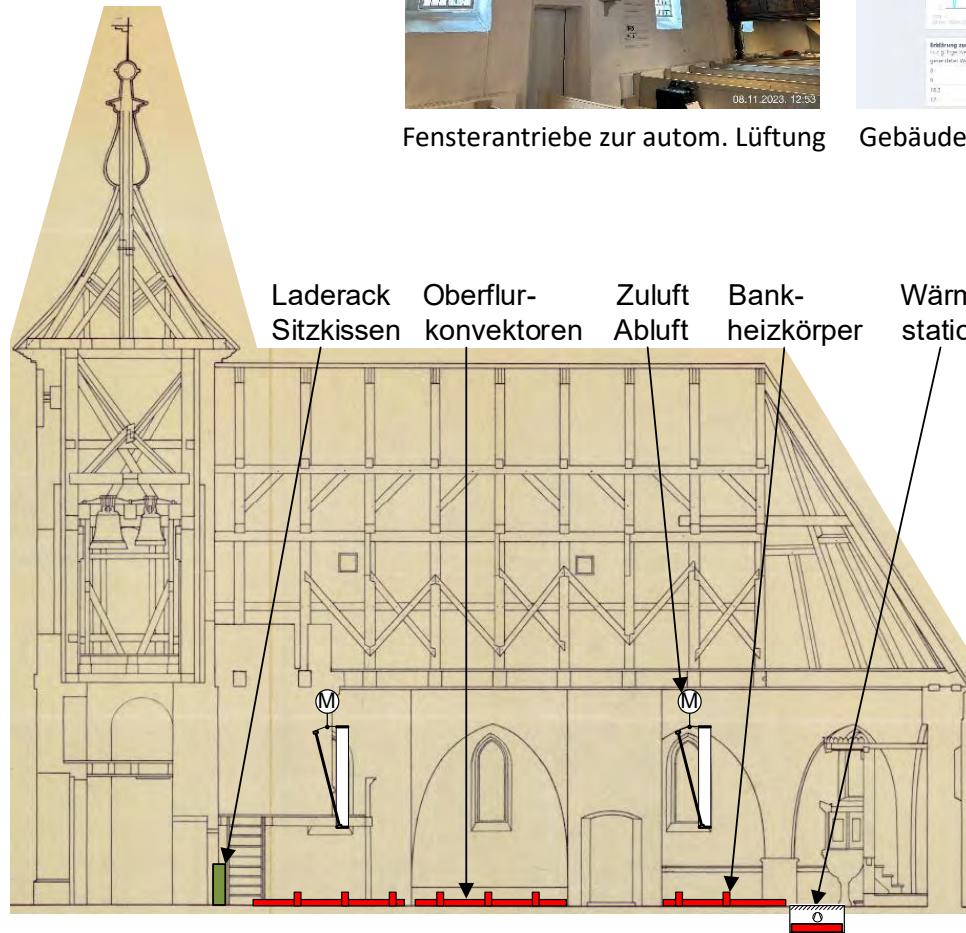
Fensterantriebe zur autom. Lüftung



Gebäudeleittechnik (Mahr)



Lageplan Erdsonden



Raumklima nach der Maßnahme	
Zeitraum der Auswertung	01/2024 – 12/2024
Verletzung Gradient Temperatur > 1 K/h Kriterium A	etwas verschlechtert, aber vor der Maßnahme kaum Heizvorgänge, deutlich besser als 2023 = 0,06
Grenzwertverletzung relative Feuchte > 70% Kriterium B _{pos}	im 10/2023 mäßige Verletzung Grenzwert rel. Feuchte, deutliche Verbesserung im Vgl. zu 2023 und vor der Maßnahme = 0,22
Grenzwertverletzung relative Feuchte < 45% Kriterium B _{neg}	im Winterhalbjahr mäßige Verletzung Grenzwert rel. Feuchte, verschlechtert durch Heizzspitzen, besser als 2023 = 1,63
Fahrweise Gebäudetechnik	<ul style="list-style-type: none"> - Empfohlener Auf- und Abheizgradient von ± 1 K/h wird überschritten - Grenzwert relative Feuchte im Winterhalbjahr leicht über- und unterschritten - Feuchtevorrangsschaltung in 12/2023 funktioniert - dynamische Abweichungen der rel. Feuchte von der historischen Variabilität etwas verschlechtert
Zustand der Orgel	
Klimabedingte Schäden	

Energieverbrauch nach der Maßnahme	
Heizenergieverbrauch (Hochrechnung/Heizperiode)	HEV = 5.621,5 kWh/a
spezifischer Heizenergieverbrauchskennwert (HEV _{spez} =HEV/Volumen)	HEV _{spez} = 10,29 kWh/(a·m ³)
relativer Heizenergieverbrauchskennwert (HEV _{spez} *100/Veranstaltungen pro Heizper.)	EVK _{rel} = 19,426 kWh/(a·m ³ ·Zv)
CO ₂ -Emission gesamt pro Jahr	2.057 kg/a
spez. CO ₂ -Emission (CO ₂ -Emission/Volumen)	3,77 kg/(a·m ³)
Bewertung	<ul style="list-style-type: none"> - lineare Hochrechnung des Verbrauches auf die Heizperiode - Klimabereinigung des Verbrauches auf das langjährige Mittel und auf die Klimaregion mittels Gradtagszahlen - geringer HEV_{spez} bei kleinem Volumen des Kirchenraumes: 63% der Kirche mit dem max. Verbrauch 108% vom mittleren Verbrauch aller Kirchen - erhöhter EVK_{rel}, der die mittlere Nutzung im Jahr berücksichtigt: 98% der Kirche mit dem max. Verbrauch 163% vom mittleren Verbrauch aller Kirchen

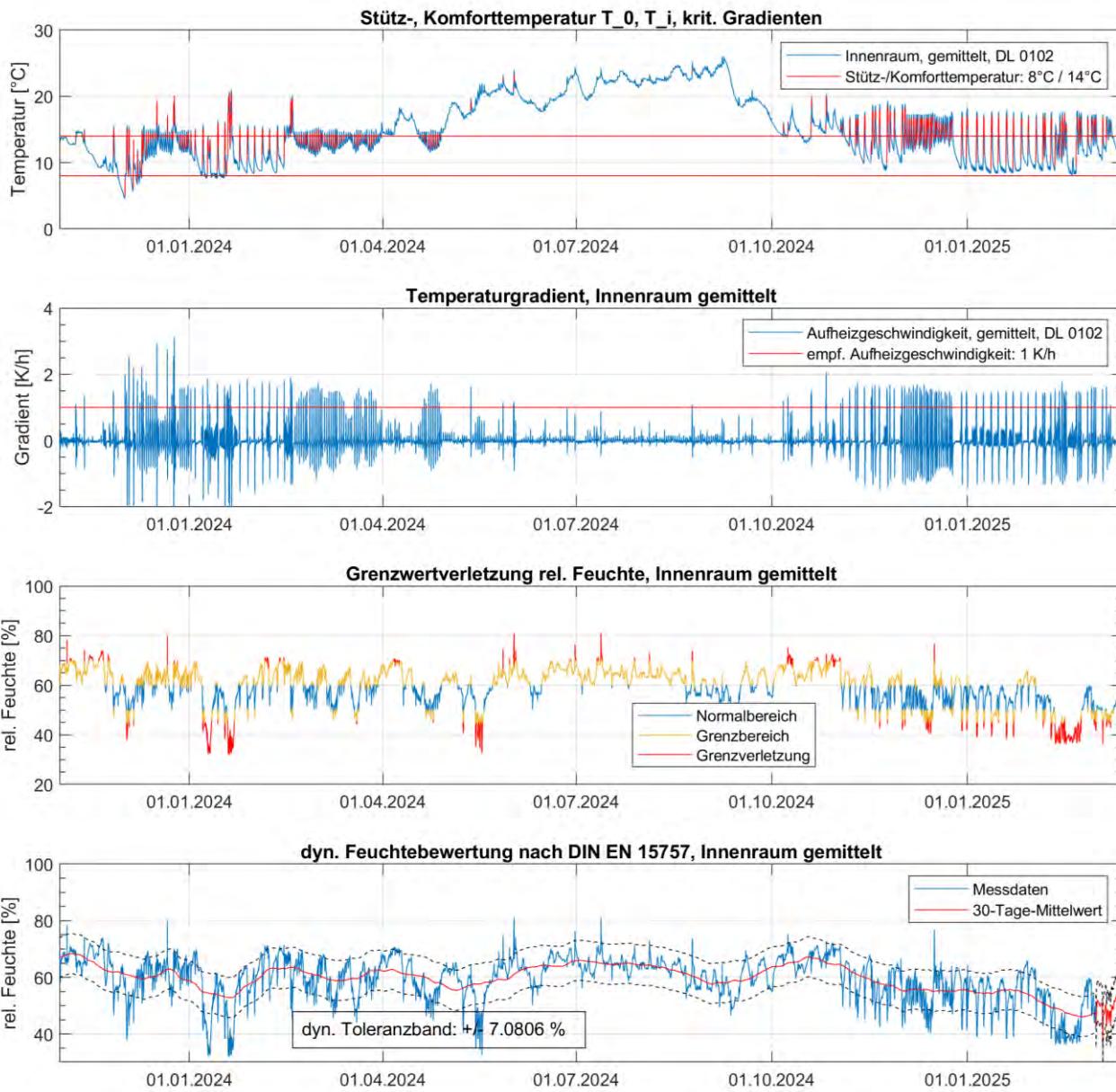
Sozialwissenschaftliches Monitoring 2024 (gesamt 40 Befragte)	
Raumtemperatur	86% für „sehr angenehm“ mit entsprechender Kleidung
Wohlbefinden	82% fühlen sich wohl
Luftqualität	98% für „genau richtig“
Zugluftempfinden	6% geben Zugluft mit „oft“ an
Kälteempfinden	Heizkissen helfen. Temperatur von 16°C wäre angenehmer 11% frieren „oft“
Unzufriedenheit mit Temperatur im Kirchenraum	12% sind (eher) unzufrieden mit der Temperatur im Kirchenraum
Bewertung	Hohes Wohlbefinden. Positive Bewertung der Heizkissen.

Beginn der Messdatenaufzeichnung:
Zeitraum der Baumaßnahmen:

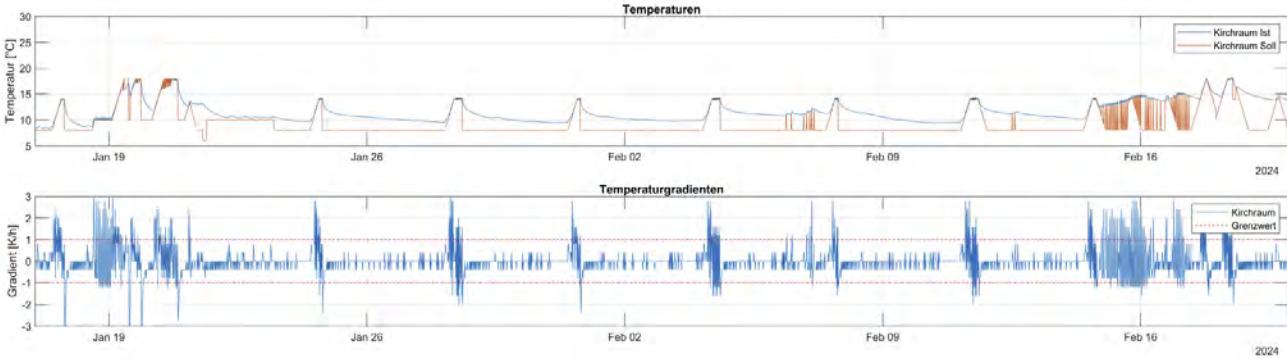
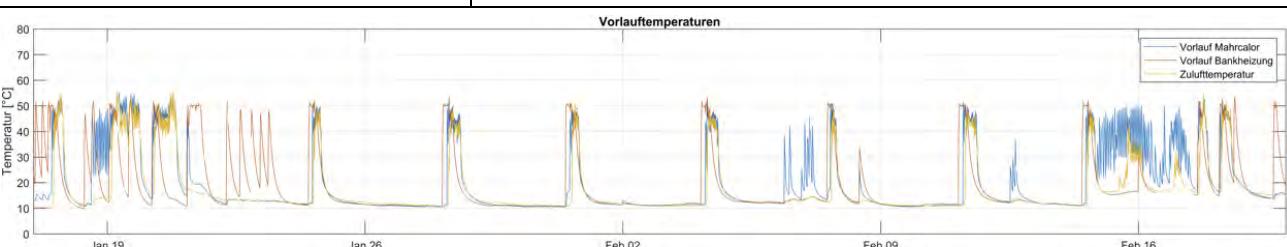
07/2023
26.07.2023 bis 13.10.2023

Raumklima nach der Maßnahme von 01/2024 – 12/2024

Dorfkirche Alt-Reinickendorf



Beurteilung von Funktionen der Gebäudeleittechnik

Änderungsgeschwindigkeit Raumtemperatur	Änderungsgeschwindigkeit verschlechtert $> \pm 1 \text{ K/h} $
Regelung der Raumtemperatur	Sollwert für Nutzung wird genau eingehalten Sollwert für Nichtnutzung wird kaum erreicht, da die Kirche so schnell nicht auskühlt
	
Feuchtevorrangschaltung	die Gegensteuerung der Heizung zur Einhaltung der Feuchtegrenzen durch Sollwerterhöhung bzw. -reduzierung für die Raumtemperatur ist nachweisbar bei $\varphi > 75\%$ (Einstellung GLT) Sollwerterhöhung Raumtemperatur bei $\varphi < 45\%$ Sollwertreduzierung Raumtemperatur
Lüftung	Automatische Lüftungsfenster bzw. Abluftanlage über den gesamten Messzeitraum nicht aktiv
Heizungsvorlauf	passt zu Temperatursollwerten, -verläufen, Feuchtevorrangschaltung
	

Energetische Bewertung		(a)	(b)	(c)
	vor der Maßnahme	Planung	nach der Maßnahme	
Heizenergieverbrauch HEV	27.680 kWh/a	6.146 kWh/a	5.621,5 kWh/a 20% von (a)	
Spezif. Heizenergieverbrauchs-kennwert (HEV _{spez} = HEV/Volumen)	50,7 kWh/a/m ³	11,3 kWh/a/m ³	10,29 kWh/a/m ³ 20% von (a)	
relativer Heizenergieverbrauchskennwert (HEV _{spez} *100/Veranstaltungen pro Heizperiode)	95,6 kWh/a/m ³ /n	21,2 kWh/a/m ³ /n	19,43 kWh/a/m ³ /n 20% von (a)	
CO ₂ -Emission gesamt pro Jahr (CO ₂ -Emissionsfaktor Strommix 0,366 tCO ₂ /MWh) (Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle)	5.591 kg/a	2.249 kg/a	2.057 kg/a 37% von (a)	
Für 100% Strom aus erneuerbaren Energien	5.591 kg/a	0 kg/a	0 kg/a 0% von (a)	
spez. CO ₂ -Emission (CO ₂ -Emission/Volumen)	10,2 kg/a/m ³	4,1 kg/a/m ³	3,77 kg/a/m ³ 37% von (a)	
Für 100% Strom aus erneuerbaren Energien	10,2 kg/a/m ³	0 kg/a/m ³	0 kg/a/m ³ 0% von (a)	
Veranstaltungen/Heizperiode n	53			

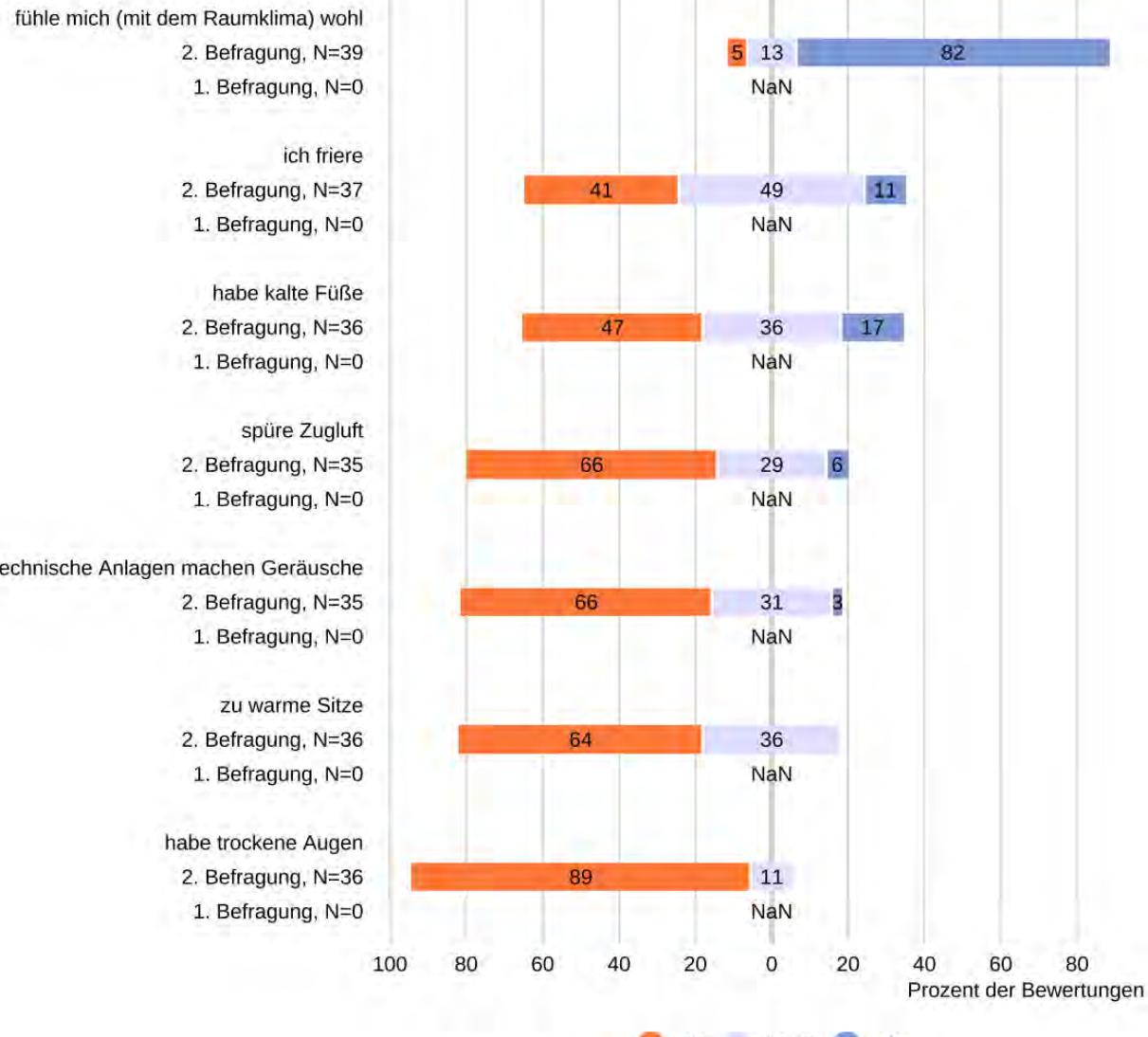
Klimatischer Vergleich		Messzeitraum	Messzeitraum
Zeitraum der Auswertung		05/2022 – 04/2023	01/2024 – 12/2024
Bewertung Einhaltung Temperaturgradient	A	0,001	0,06
	<ul style="list-style-type: none"> - Empfohlener Auf- und Abheizgradient von ± 1 K/h wird vor der Maßnahme unterschritten, nach der Maßnahme leicht überschritten - Unterschiede resultieren von verschiedenen Messsystemen und Messorten 		
Bewertung Einhaltung oberer Feuchtegrenzwert	B _{pos}	17,996	0,22
	<ul style="list-style-type: none"> - relative Feuchte im Winterhalbjahr wochenweise leicht > 70% - deutliche Verbesserung - der höhere Wert ab 10/2023 resultiert aus dem extrem feuchten Herbst 2023 		
Bewertung Einhaltung unterer Feuchtegrenzwert	B _{neg}	0,0132	1,63
	<ul style="list-style-type: none"> - relative Feuchte im Winterhalbjahr nach der Maßnahme tlw. < 45% - Stabilisierung durch Fenstersteuerung und Feuchtevorrangsschaltung erklärbar, allerdings Heizspitzen 		

Bisher Erdgas: Emissionsfaktor 0,201 tCO₂/MWh

Strommix: Emissionsfaktor 0,366 tCO₂/MWh

100% Ökostrom: Emissionsfaktor 0 tCO₂/MWh

Behaglichkeit während des Aufenthaltes 2024





Oberflurkonvektor
Kirchenbank-Rohrheizkörper



Fensterantrieb



Wärmestation
Kirchenbank-Rohrheizkörper



Pufferspeicher



Wärmepumpe



Erdsonden-Verteilerschacht

Baujahr: 1845
 Volumen: 8.298 m³
 Sitzplätze: ca. 200



Zustand von Technik, Ausstattung und Nutzung vor der Maßnahme	
Energieträger	Öl, Strom
Wärmeerzeuger	Warmlufterzeuger, Fabrikat Kori, Typ II / 400, Wärmeleistung 250 kW, aus dem Jahr 1934, offensichtlich 1956 erneuert, technisch verschlissen
Grundheizsystem	Umluftheizung, Zu- und Abluft symmetrisch über große Luftauslässe vor den Altarstufen, ungleichmäßige Temperaturverteilung
Körpernahes Heizsystem	keine
Lüftung	Lüftung durch manuelles Öffnen der unteren Fenster
Art der Heizungsregelung	Zweipunkt-Regler Vaillant Raumthermostat Bimetall, Ein/Aus, keine Feinregulierung, zeit- und temperaturabhängige Regelung, erfüllt nicht die Anforderungen
Solltemperatur Nichtnutzung T ₀	7°C Frostschutz, max. 12°C lt. Fragebogen
Solltemperatur Nutzung T _i	16 °C lt. Fragebogen
Solltemperatur körpernahe Heizung	-
Auf-, Abheizgradient	± 1 K/h, keine Temperaturrampe
Relative Feuchte	allg. zu niedrige Feuchte, keine Feuchtevorrangschaltung
Schützenswerte Ausstattung	Wandmosaik im Altarraum, eine der größten Orgeln West-Berlins (1959), Gesamtkunstwerk der 1950'er Jahre
Nutzung	Gottesdienste, Taufen, Hochzeiten, Trauerfeiern, Konzerte, Chorproben, Theateraufführungen, Lesungen, Tagungen, Vorträge, Kino, Kinderbetreuung, Seniorenkreis, Ausstellungen
Behaglichkeit	am Sitzplatz kalt, Dachbereich heiß, unangenehme Zugluft

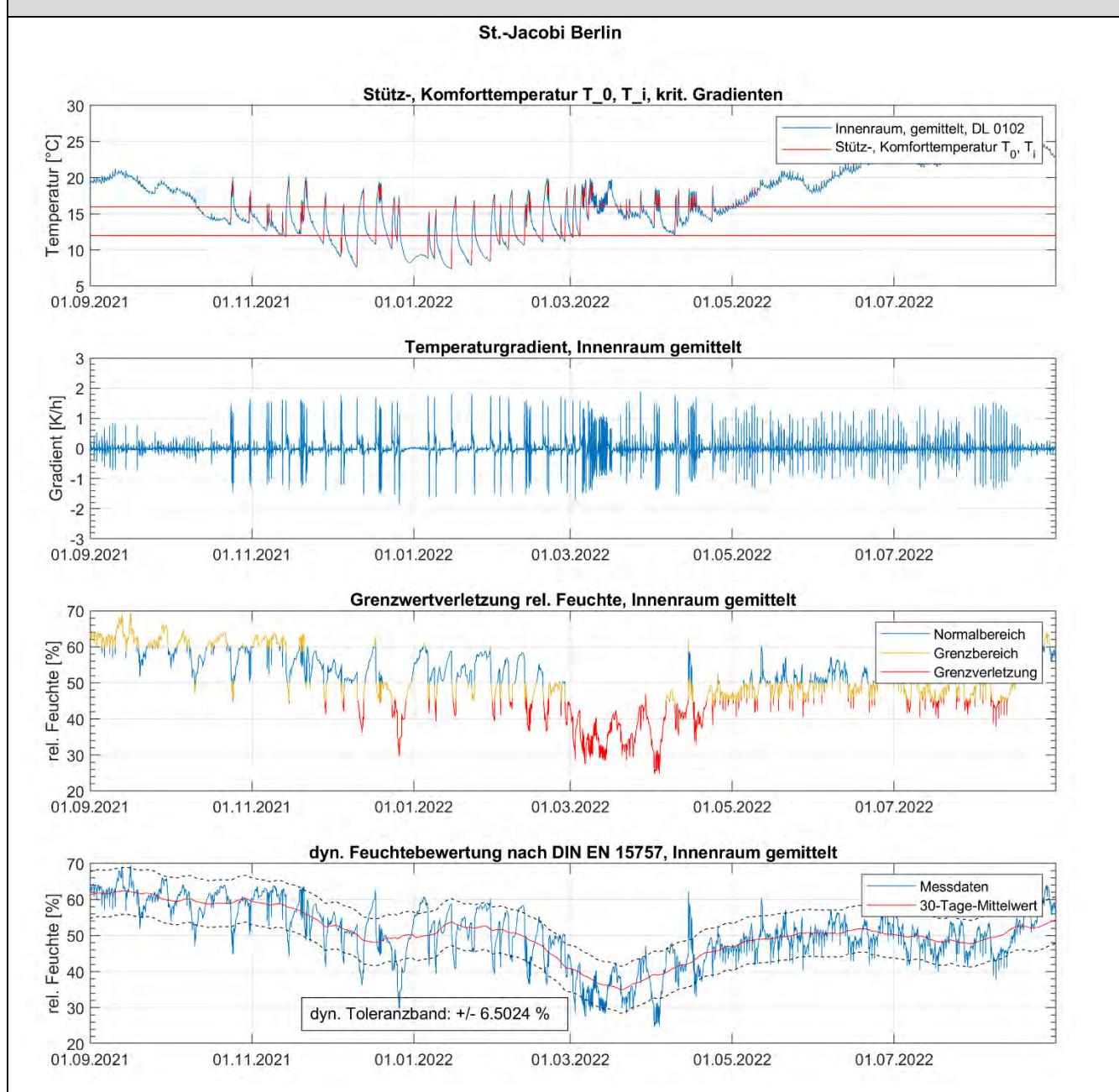
Raumklima vor der Maßnahme	
Zeitraum der Auswertung	09/2021 – 08/2022
Verletzung Gradient Temperatur > 1 K/h Kriterium A	Keine = 0,0391
Grenzwertverletzung relative Feuchte > 70% Kriterium B _{pos}	im Winterhalbjahr wird Grenzwert nicht überschritten = 0
Grenzwertverletzung relative Feuchte < 45% Kriterium B _{neg}	im Sommerhalbjahr zu niedrige rel. Feuchte = 9,0657
Fahrweise Gebäudetechnik	<ul style="list-style-type: none"> - Auf- und Abheizgradient bis ±2 K/h - hohe dynamische Abweichungen der rel. Feuchte von der historischen Variabilität - Temperaturregelung nicht erkennbar - Aufheizspitzen von ca. um 10K erkennbar - keine Feuchtevorrangschaltung
Zustand der Orgel	<ul style="list-style-type: none"> - Orgel steht mit Rückwand an der kalten Außenwand, deshalb Kondensat an der Rückseite und lokal an einzelnen Stellen - Orgel leidet in Heizsaison, durch starke Temperaturänderungen, Orgel ständig verstimmt
Klimabedingte Schäden	<ul style="list-style-type: none"> - allg. zu niedrige Feuchte

Energetische Bewertung vor der Maßnahme	
durchschnittl. Heizenergieverbrauch HEV	= 279.634 kWh/a
Spez. Heizenergieverbrauch HEV _{spez} = HEV/beheiztes Volumen	= 33,7 kWh/a/m ³
relativer Heizenergieverbrauch EVK = HEV _{spez} *100/Anzahl der Veranstaltungen	= 11,3 kWh/a/m ³ /n
Anzahl der Veranstaltungen n/Heizperiode	= 299

Sozialwissenschaftliches Monitoring vor der Maßnahme (51 Befragte)	
Raumtemperatur	64% für „sehr angenehm“ mit entsprechender Kleidung
Wohlbehagen	55% fühlen sich wohl
Luftqualität	93% für „genau richtig“
Zugluftempfinden	unangenehme Zugluft 13% geben Zugluft mit „oft“ an
Kälteempfinden	52% frieren „oft“, in den Bankreihen kalt
Unzufriedenheit mit Temperatur im Kirchenraum	40% sind (eher) unzufrieden mit der Temperatur im Kirchenraum

Beginn der Messdatenaufzeichnung: 08/2021
 Zeitraum der Baumaßnahmen: 07.06.2023 bis 26.10.2023

Raumklima vor der Maßnahme von 09/2021 – 08/2022



Energetische Daten

	Bestand	Vorzugsvariante: GAAA
Energieträger	Heizöl / Strom	Fernwärme
Wärmeleistung	423 / 30 kW	357 kW
Heizenergieverbrauch	279.634 kWh/a	250.306 kWh/a
Heizenergiekosten	28.114 €/a	49.306 €/a
CO ₂ -Emissionsfaktor	0,293 / 0,366 kg/kWh	0,077 kg/kWh
CO ₂ -Emission	81.933 kg/a	19.374 kg/a

Zusammenstellung der innovativen Kosten			
Kosten-gruppe	Kostenposition	Kostenberechnung 06.05.2022 (brutto)	ETiK -Fördermittel (brutto)
KG 224	Fernwärme	23.324,00 €	0,00 €
KG 300	Bau	77.869,79 €	0,00 €
KG 420	Heizung	209.412,16 €	10.953,71 €
KG 430	Kontrollierte Lüftungsanlage	10.144,75 €	8115,80 €
KG 480	Gebäudeleittechnik	76.219,14 €	60.975,31 €
KG 490	sonstige TGA (Dokumentation)	7.461,30 €	0,00 €
KG 540	Bau	19.635,00 €	0,00 €
KG 544	Fernwärmeleitung	37.819,63 €	0,00 €
KG 200+400	Summe Baukosten	461.885,77 €	80.044,83 €
KG 731	Baunebenkosten Architekt	68.129,52 €	0,00 €
KG 736	Baunebenkosten Fachplaner LP 3-4	23.325,76 €	31.750,85 €
KG 736	Baunebenkosten Fachplaner LP 5-9	77.752,51 €	
	Summe brutto	631.093,56 €	111.795,68 €
	Summe brutto abzgl. mgl. ETiK-Fördermittel exkl. Bauseitiger Leistungen	519.297,89 €	

Zusammenfassung der Planung	
Begründungen der innovativen Ansätze der einzelnen Positionen	
Wärmeerzeugeranlage	Umstellung auf Fernwärme, Nahwärmeverbund mit Gemeindehäusern
Wärmeverteilung - Körpernahe Heizung	Großflächige Fußbodenheizung im Gestühl, bewirkt Senkung der Systemtemperaturen und der Heizleistung Heizkreis 1-1: Kirchenschiff und Empore (Luftheizung, Wärmestationen) Heizkreis 1-2: körpernahe Heizung (Fußbodenheizung) Heizkreis 1-3: Altarraum Heizkreis 1-4: Nebenräume
Kontrollierte Lüftung	in der untersten Ebene nur drei der fünf Fenster sowie jeweils zwei Fenster der obersten Ebene auf jeder Seite mit kontinuierlich steuerbaren Fensterantrieben, damit schon Sicherstellung des erforderlichen Mindestluftwechsels, Abluftanlage nicht erforderlich
Regelung Gebäudeleittechnik mit neuartiger koordinierter Heizungs-Lüftungs-Strategie	Neue GLT Mahr, Typ ACTHERM-F mit Fernzugriff, Koordinierung von Grundheizung, körpernaher Heizung, Wärmeerzeugung, -verteilung; exakte Regelung der reduzierten Grund- und Nutzungstemperatur; Einhaltung von Temperaturgradienten und Feuchtegrenzen (Feuchtevorrangschaltung); Koordinierung von Heizungsregelung mit Fensterlüftung
Zu erwartende Verbesserungen	
Denkmalschutz	durch Steuerung der Feuchte (Feuchtevorrangschaltung, neuartige Lüftungs-Strategie, Temperaturabsenkung) soll die rel. Feuchte stabilisiert werden; durch Temperierung der Wände wird zukünftig die Verminderung von Kondensat auf der Rückseite der Orgel erwartet
Behaglichkeit	durch körpernahe Heizung wird Verbesserung der Behaglichkeit am Sitzplatz erwartet; mit Temperierung der Wände soll unangenehme



	Zugluft gemindert werden; mit dem Wechsel von der Umluftheizung auf Fußbodenheizung im Mittelschiff mit statischen Heizkörpern kann allg. die klimatische Situation im Gestühl und im Dachbereich verbessert werden
CO ₂ - Ersparnis	die Reduzierung der Heizleistung und Umstellung auf Fernwärme verspricht ein CO ₂ -Einsparpotential von ca. 62,5 Tonnen CO ₂ pro Jahr oder 76%



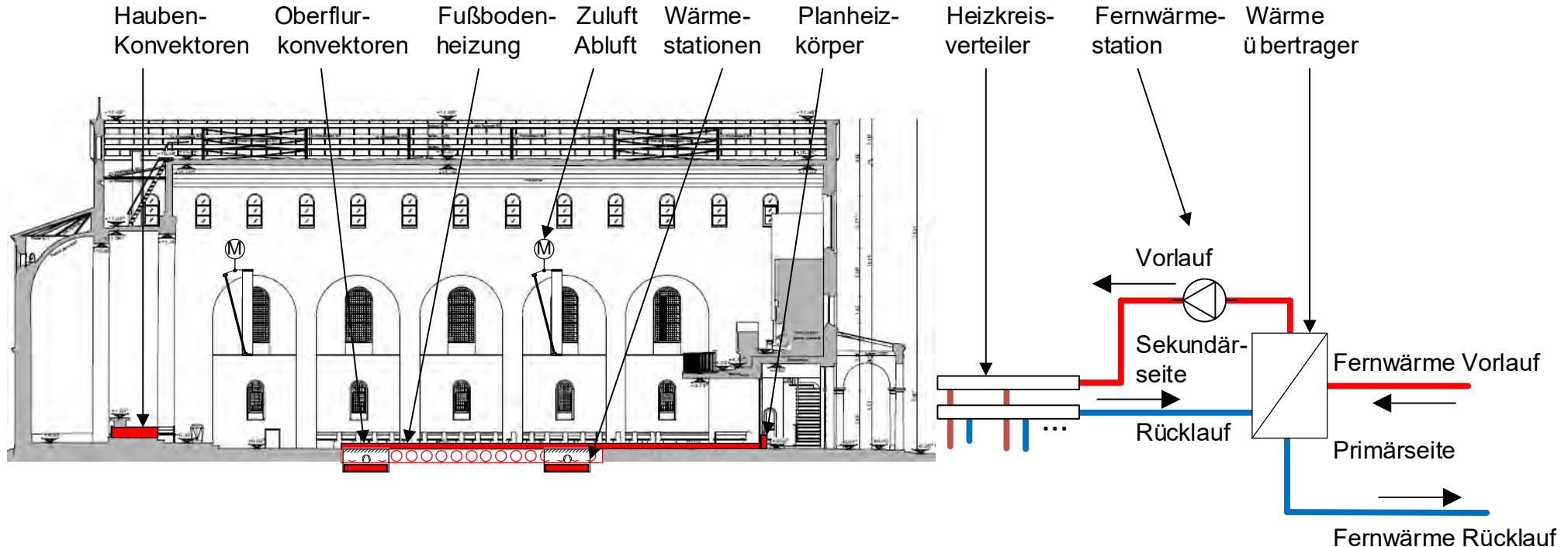
Wärmestation



Gebäudeleittechnik (Mahr)



Fernwärmeleitung



Raumklima nach der Maßnahme	
Zeitraum der Auswertung	01/2024 – 12/2024
Verletzung Gradient Temperatur > 1 K/h Kriterium A	Gering, verbessert i. Vgl. zu vor der Maßnahme und zu 2023 = 0,017
Grenzwertverletzung relative Feuchte > 70% Kriterium B _{pos}	Grenzwert wird nicht überschritten = 0
Grenzwertverletzung relative Feuchte < 45% Kriterium B _{neg}	deutliche Verbesserung i. Vgl. zu vor der Maßnahme und zu 2023 = 1,82
Fahrweise Gebäudetechnik	<ul style="list-style-type: none"> - Empfohlener Auf- und Abheizgradient von ± 1 K/h wird kaum überschritten - Grenzwert 45% der relativen Feuchte im Winterhalbjahr tlw. unterschritten - Feuchtevorrangsschaltung nachweisbar (20.10.23-1.12.23) - dynamische Abweichungen der rel. Feuchte von der historischen Variabilität etwas verschlechtert
Zustand der Orgel	
Klimabedingte Schäden	

Energieverbrauch nach der Maßnahme	
Heizenergieverbrauch (Hochrechnung/Heizperiode)	HEV = 45.439 kWh/a
spezifischer Heizenergieverbrauchskennwert (HEV _{spez} =HEV/Volumen)	HEV _{spez} = 5,48 kWh/(a·m ³)
relativer Heizenergieverbrauchskennwert (HEV _{spez} *100/Veranstaltungen pro Heizper.)	EVK _{rel} = 1,83 kWh/(a·m ³ ·n)
CO ₂ -Emission gesamt pro Jahr	3.499 kg/a
spez. CO ₂ -Emission (CO ₂ -Emission/Volumen)	0,42 kg/(a·m ³)
Bewertung	<ul style="list-style-type: none"> - lineare Hochrechnung des Verbrauches auf die Heizperiode - Klimabereinigung des Verbrauches auf das langjährige Mittel und auf die Klimaregion mittels Gradtagszahlen - erhöhter HEV_{spez} bei großem Volumen des Kirchenraumes: 33% der Kirche mit dem max. Verbrauch 57% vom mittleren Verbrauch aller Kirchen - sehr geringer EVK_{rel}, der die sehr hohe Nutzung im Jahr berücksichtigt: 9% der Kirche mit dem max. Verbrauch 15% vom mittleren Verbrauch aller Kirchen

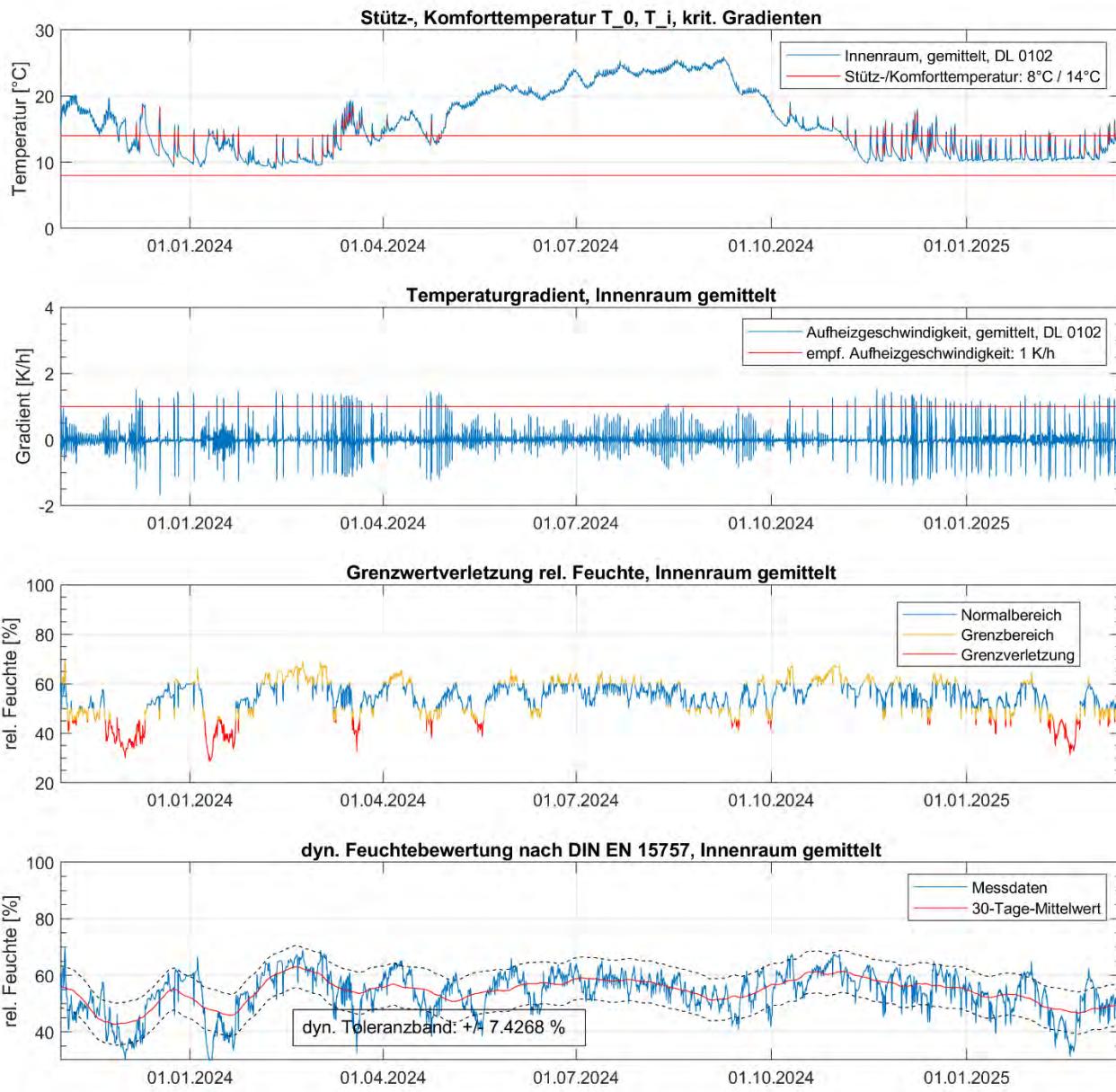
Sozialwissenschaftliches Monitoring nach der Maßnahme (gesamt 39 Befragte)	
Raumtemperatur	85% für „sehr angenehm“ mit entsprechender Kleidung (+ 21% vgl. zu 2022)
Wohlbehagen	79% fühlen sich wohl (+ 24% vgl. zu 2022)
Luftqualität	97% für „genau richtig“ (+ 4% vgl. zu 2022)
Zugluftempfinden	11% geben Zugluft mit „oft“ an (- 2% vgl. zu 2022)
Kälteempfinden	16% frieren „oft“ (- 36% vgl. zu 2022)
Unzufriedenheit mit Temperatur im Kirchenraum	13% sind (eher) unzufrieden mit der Temperatur im Kirchenraum (- 27% vgl. zu 2022)
Bewertung	Höheres Wohlbehagen und Zufriedenheit, v.a. durch besseres Temperaturempfinden

Beginn der Messdatenaufzeichnung:
Zeitraum der Baumaßnahmen:

10/2023
07.06.2023 bis 26.10.2023

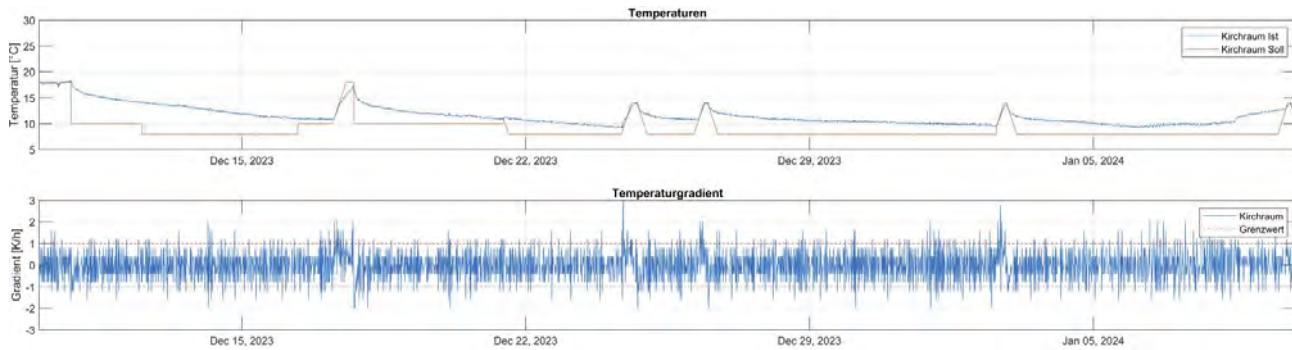
Raumklima nach der Maßnahme von 01/2024 – 12/2024

St.-Jacobi Berlin

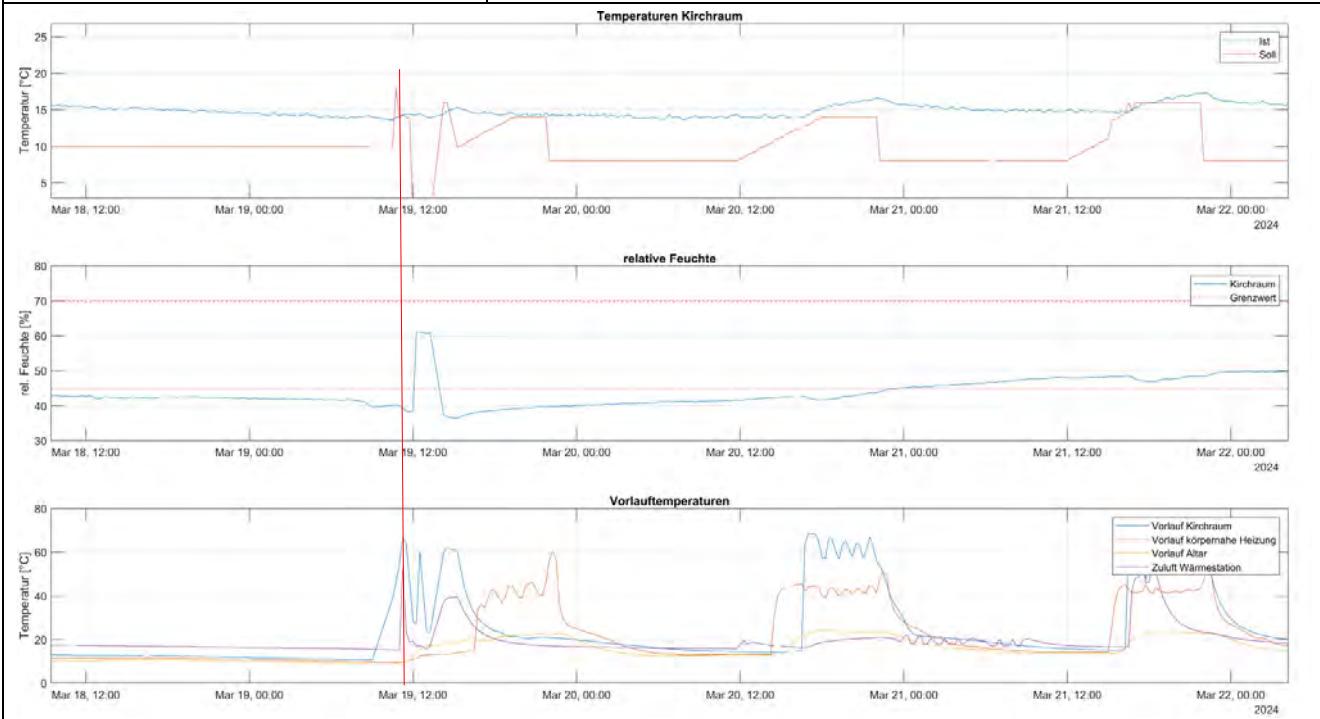


Beurteilung von Funktionen der Gebäudeleittechnik

Änderungsgeschwindigkeit der Raumtemperatur	meist innerhalb der Vorgaben $< \pm 1 \text{ K/h} $
Regelung der Raumtemperatur	Sollwert für Nutzung wird genau eingehalten Sollwert für Nichtnutzung wird kaum erreicht, da die Kirche so schnell nicht auskühlt



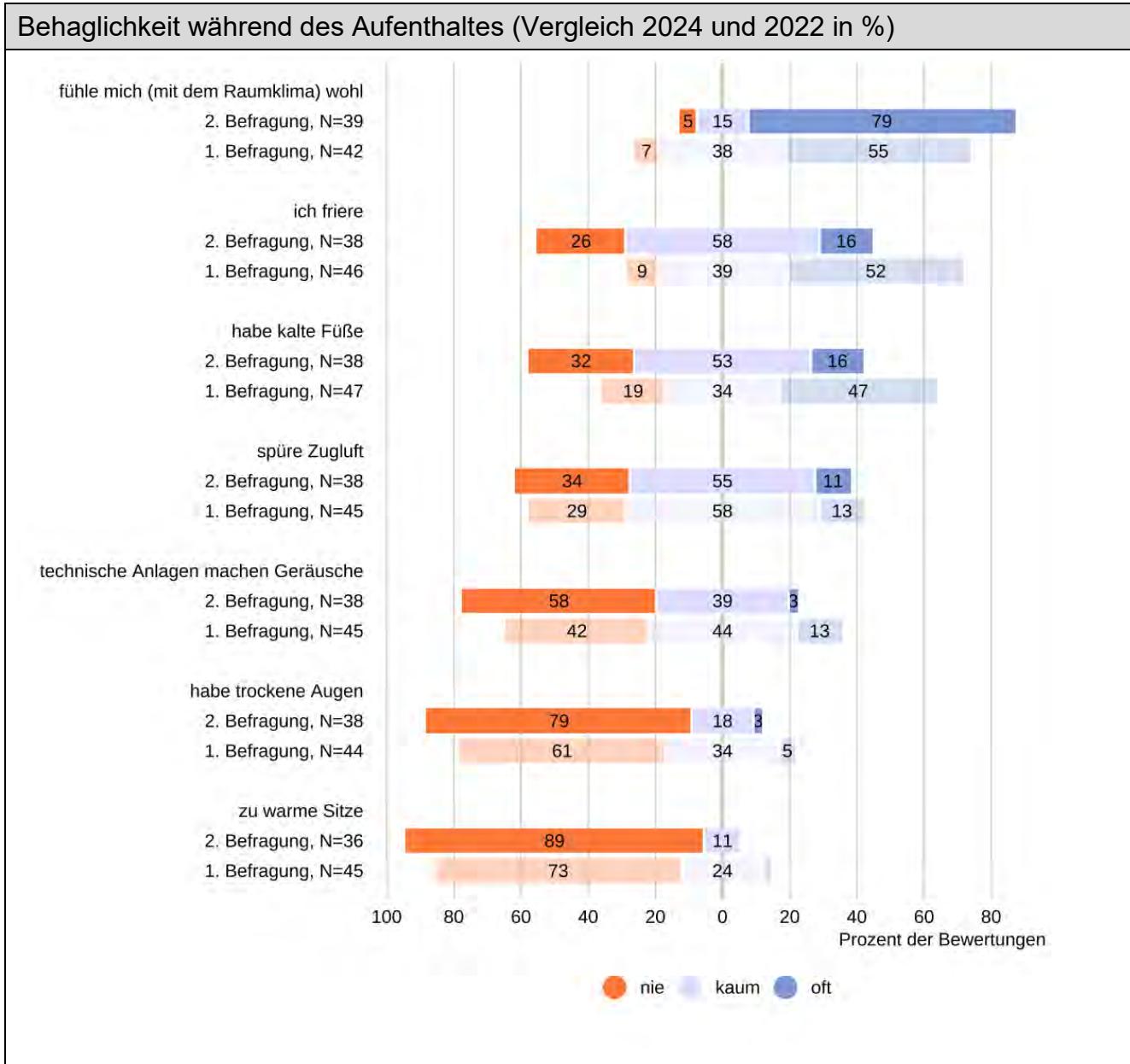
Feuchtevorrangschaltung	Keine Überschreitung des oberen Feuchtegrenzwertes von 70%, bei Unterschreitung von $\varphi < 40\%$ ab Markierung kurzzeitige Reduzierung des Sollwertes für Raumtemperatur erkennbar Geänderte Grenzwerteinstellung durch Nutzer auf einen Grenzwert von 30%
-------------------------	---



Lüftung	<p>Lüftungsfunktion zu Beginn des Messzeitraums aktiv bei Unterschreitung von 45%, es folgt die Anhebung der rel. Feuchte für $x_{\text{außen}} > x_{\text{innen}}$</p> <p>gegen Ende des Messzeitraumes keine Lüftung bei Unterschreitung von 45%, da $x_{\text{außen}} < x_{\text{innen}}$</p> <p>der Grenzwert beträgt allerdings 30%</p>
	<p>relative Feuchte: Shows relative humidity (rel. Feuchte [%]) from 30 to 80. A red vertical line marks the start of the protection function on Dec 15, 2023. A horizontal dashed line at 45% indicates the threshold. The Kirchraum (blue) stays above 45%, while Außen (orange) fluctuates below it.</p> <p>absolute Feuchte: Shows absolute humidity (abs. Feuchte [g/kg]) from 0 to 12. The Kirchraum (blue) stays below 4 g/kg, while Außen (orange) fluctuates above it.</p> <p>Schutzfunktion: Shows protection function status (Statuswert) from 0 to 20. A red bar chart indicates when the protection function is active (Lüften unterdrückt). The legend defines levels 0, 8, 18.5, and 12.</p>
Heizungsvorlauf	<p>gutes Regelungsverhalten</p> <p>körpernahe Heizung im Messzeitraum dauerhaft eingeschaltet (Trockenheizen Estrich)</p> <p>Heizungsvorlauf Kirchenraum ab 06.01.2024 führt zur Absenkung der rel. Feuchte (Ursache vmtl. Inbetriebnahme und Tests der Heizungsanlage)</p> <p>Vorlauftemperaturen: Shows temperatures (Temperatur [°C]) from 0 to 80. Four lines represent Kirchraum (blue), körpernah (orange), Altar (yellow), and Zuluft (purple). The körpernah and Altar lines are consistently high (around 50-60°C). The Kirchraum line shows sharp spikes, indicating active heating cycles.</p>

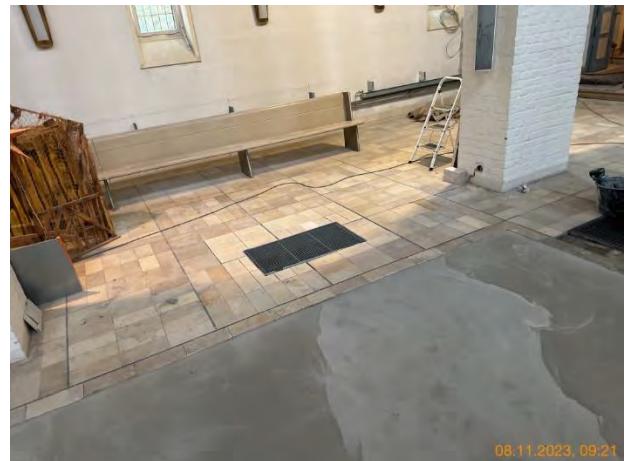
Energetische Bewertung		(a)	(b)	(c)
		vor der Maßnahme	nach der Planung	nach der Maßnahme
Heizenergieverbrauch HEV		279.634 kWh/a	250.306 kWh/a	45.439 kWh/a 16% von (a)
Spezif. Heizenergieverbrauchs-kennwert (HEV _{spez} = HEV/Volumen)		33,7 kWh/a/m ³	30,2 kWh/a/m ³	5,48 kWh/a/m ³ 16% von (a)
relativer Heizenergieverbrauchskennwert (HEV _{spez} *100/Veranstaltungen pro Heizperiode)		11,3 kWh/a/m ³ /n	10,1 kWh/a/m ³ /n	1,83 kWh/a/m ³ /n 16% von (a)
CO ₂ -Emission gesamt pro Jahr (CO ₂ -Emissionsfaktor Fernwärme 0,0556 tCO ₂ /MWh; (CO ₂ -Zertifikat Verbundnetz, Vattenfall)		81.933 kg/a	19.374 kg/a	2.526 kg/a 3,1 % von (a)
spez. CO ₂ -Emission (CO ₂ -Emission/Volumen)		9,9 kg/a/m ³	2,3 kg/a/m ³	0,30 kg/a/m ³ 3,1 % von (a)
Veranstaltungen/Heizperiode n	299			

Klimatischer Vergleich		Messzeitraum	Messzeitraum
Zeitraum der Auswertung		9/2021 – 08/2022	01/2024 – 12/2024
Bewertung Einhaltung Temperaturgradient	A	0,0391	0,01
	<ul style="list-style-type: none"> - Empfohlener Auf- und Abheizgradient von ± 1 K/h wird vor und nach der Maßnahme geringfügig überschritten mit leichter Verbesserung - Unterschiede resultieren von verschiedenen Messsystemen und Messorten her 		
Bewertung Einhaltung oberer Feuchtegrenzwert	B _{pos}	0	0
	<ul style="list-style-type: none"> - relative Feuchte keine Überschreitung > 70% - der höhere Wert ab 10/2023 resultiert aus dem extrem feuchten Herbst 2023 		
Bewertung Einhaltung unterer Feuchtegrenzwert	B _{neg}	9,0675	1,82
	<ul style="list-style-type: none"> - relative Feuchte im Sommerhalbjahr vor und nach der Maßnahme teilweise < 45% - Unterschreitung des Grenzwertes von 45% durch Trockenheizen des Estrich der FBH in 2023 - Stabilisierung der rel. Feuchte durch Fenstersteuerung und Korrektur des Temperatursollwertes erklärbar 		





Fußbodenheizung unter dem Gestühl



Wärmestation



Fernwärmeanschlussstation (Sekundärseite)



Fernwärmeanschlussstation (Primärseite)



Planheizkörper
Hinter den Altar-Bögen



Oberflurkonvektoren
Seitenschiff

Baujahr: 1866-1873
 Volumen: 17.083 m³
 Sitzplätze: ca. 400



Zustand von Technik, Ausstattung und Nutzung vor der Maßnahme	
Energieträger	Erdgas
Wärmeerzeuger	2 kaskadierbare, wandhängende Brennwertkessel, Fabrikat Viessmann, Typ Vitodens 200, Wärmeleistung bisher ca. 200 kW, 10 Jahre alt
Grundheizsystem	Unterflurkonvektoren im Erdgeschoss entlang der Außenwände, Oberflurkonvektoren u. Flachheizkörper auf Emporen, Gebläsekonvektoren auf der Orgelempore, Heizung nicht ausreichend
Körpernahes Heizsystem	-
Lüftung	Lüftung durch manuell öffnbare Fenster
Art der Heizungsregelung	elektronische Raumtemperaturregelung Vitotronic 330-K, 2x Vitotrol 300, erfüllt die Anforderungen
Solltemperatur Nichtnutzung T ₀	5 °C lt. Fragebogen bzw. Frostschutz
Solltemperatur Nutzung T _i	18 °C lt. Fragebogen, wird nicht erreicht
Solltemperatur körpernahe Heizung	-
Auf-, Abheizgradient	± 1 K/h
Relative Feuchte	45-70%
Schützenswerte Ausstattung	Wandmalereien in der Apsis, Terrakotta-Kanzel, zukünftig hochwertige Orgel
Nutzung	Gottesdienste, Taufen, Hochzeiten, Trauerfeiern, Konzerte, Chorproben, Theateraufführungen, Lesungen, Tagungen, Kino, Vorträge, Ausstellungen

Raumklima vor der Maßnahme

Zeitraum der Auswertung	09/2021 – 08/2022
Verletzung Gradient Temperatur > 1 K/h Kriterium A	sehr gering = 0,004
Grenzwertverletzung relative Feuchte > 70% Kriterium B _{pos}	im Sommerhalbjahr selten zu hohe rel. Feuchte = 0,1556
Grenzwertverletzung relative Feuchte < 45% Kriterium B _{neg}	im Winterhalbjahr zu niedrige rel. Feuchte = 4,7016
Fahrweise Gebäudetechnik	<ul style="list-style-type: none"> - Empfohlener Auf- und Abheizgradient von ± 1 K/h wird selten bis ± 2 K/h überschritten - relative Feuchte im Winterhalbjahr 1 Monat < 45% - hohe dynamische Abweichungen der rel. Feuchte von der historischen Variabilität - Temperaturregelung nicht erkennbar - Aufheizspitzen von ca. um 6K - keine Feuchtevorrangschaltung
Zustand der Orgel	-
Klimabedingte Schäden	- Schäden an Wänden, Salzausblühungen, zukünftig hohe Anforderungen an Raumklima

Energetische Bewertung vor der Maßnahme

durchschnittl. Heizenergieverbrauch HEV	= 124.780,0 kWh/a
Spez. Heizenergieverbrauch HEV _{spez} = HEV/beheiztes Volumen	= 7,3 kWh/a/m ³
relativer Heizenergieverbrauch EVK = HEV _{spez} *100/Anzahl der Veranstaltungen	= 8,8 kWh/a/m ³ /n
Anzahl der Veranstaltungen n/Heizperiode	= 84

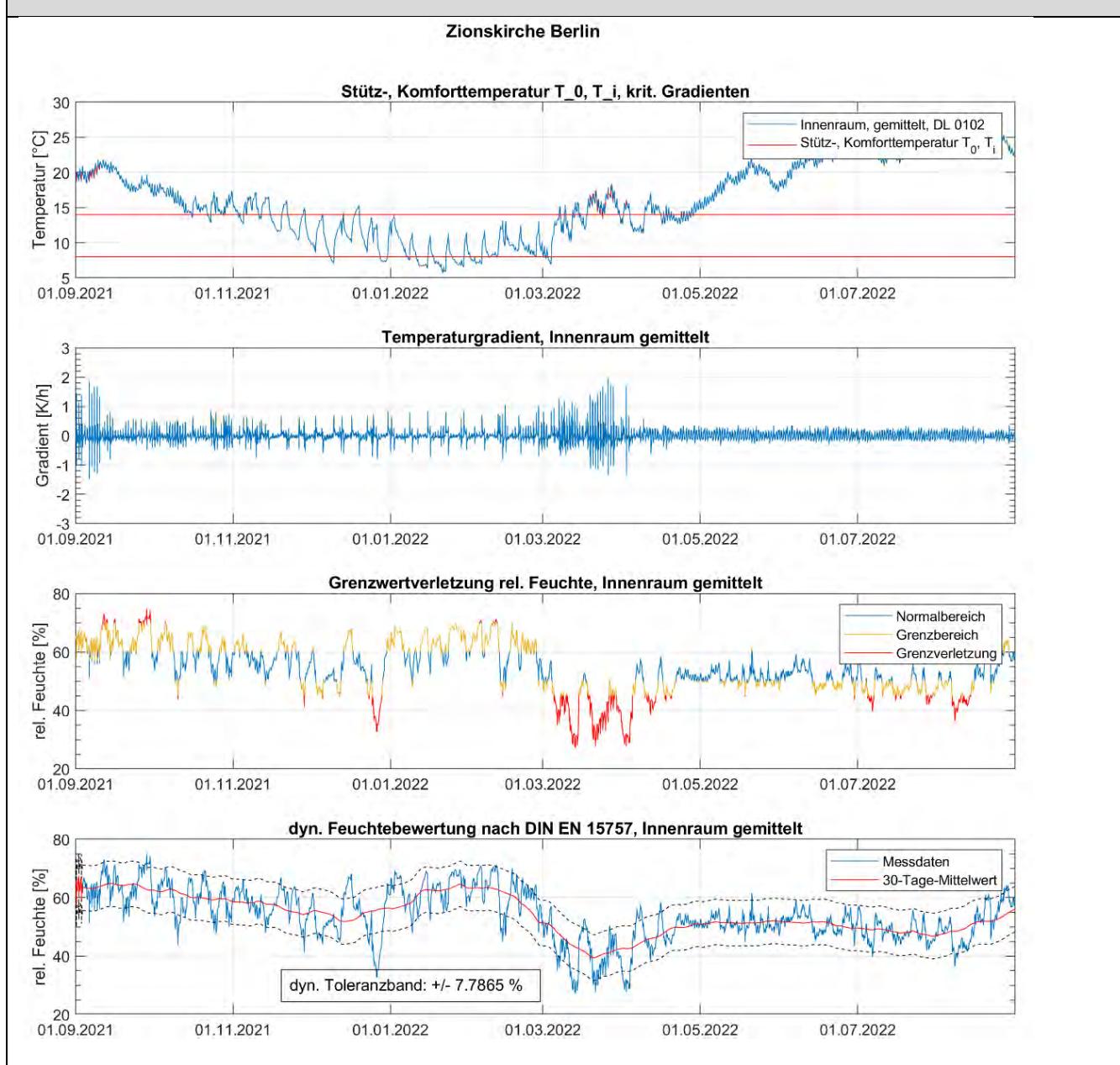
Sozialwissenschaftliches Monitoring vor der Maßnahme (33 Befragte)

Raumtemperatur	84% für „sehr angenehm“ mit entsprechender Kleidung
Wohlbefinden	84% fühlen sich wohl
Luftqualität	93% für „genau richtig“
Zugluftempfinden	Kaltluftabfall an Fenstern und Wänden 3% geben Zugluft mit „oft“ an
Kälteempfinden	23% frieren „oft“
Unzufriedenheit mit Temperatur im Kirchenraum	24% sind (eher) unzufrieden mit der Temperatur im Kirchenraum

Beginn der Messdatenaufzeichnung:
Zeitraum Baumaßnahmen:

08/2021
01.08.2022 bis 22.06.2023

Raumklima vor der Maßnahme von 09/2021 – 08/2022



Energetische Daten		
	Bestand	Vorzugsvariante: AAAA
Energieträger	Erdgas	Erdgas / Sole/Wasser-Wärmepumpe
Wärmeleistung	200 kW	200 / 100 kW
Heizenergieverbrauch	124.780 kWh/a	82.684 kWh/a
Heizenergiekosten	10.637 €/a	9.552 €/a
CO ₂ -Emissionsfaktor	0,202 kg/kWh	0,202 / 0,366 kg/kWh
CO ₂ -Emission	25.206 kg/a	19.260 kg/a

Zusammenstellung der innovativen Kosten

Kosten-gruppe	Kostenposition	Kostenberechnung 12.04.2022 (brutto)	ETiK -Fördermittel (brutto)
KG 225	Stromversorgung	2.856,00 €	0,00 €
KG 420	Heizung	166.922,61 €	47.699,96 €
KG 430	Kontrollierte Lüftungsanlage	15.697,89 €	12.558,31 €
KG 480	Gebäudeleittechnik	54.510,33 €	43.608,26 €
KG 490	sonstige TGA (Dokumentation)	6.783,00 €	0,00 €
KG 544	Baukonstruktion Heizung	183.296,63 €	0,00 €
KG 200+400	Summe Baukosten	430.066,46 €	103.866,53 €
KG 736	Baunebenkosten	112.842,71 €	57.182,05 €
	Summe brutto	542.909,17 €	161.048,58 €
	Summe brutto abzgl. mgl. ETiK-Fördermittel exkl. Bauseitiger Leistungen	381.860,59 €	

Zusammenfassung der Planung

Begründungen der innovativen Ansätze der einzelnen Positionen

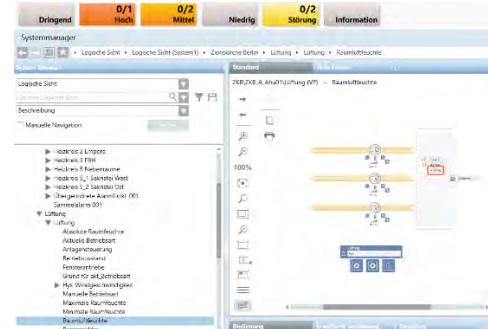
Wärmeerzeugeranlage	Kombination von Sole/Wasser-Wärmepumpe mit Erdsonden und kleiner moderner Gas-Brennwerttechnik für geringe Spitzenlast ab 2025 bis zum Abschluss des Projektes noch 2 Brennwertkessel in Betrieb
Wärmeverteilung - Körpernahe Heizung	Großflächige Fußbodenheizung, bewirkt Senkung der Systemtemperaturen und der Heizleistung, bedarfsgerechte Wärmeverteilung durch Grundheizung und körpernahe Heizung
Kontrollierte Lüftung	Kombination von automatisierten Lüftungsfenstern und geregelter Abluftanlage
Regelung Gebäudeleittechnik mit neuartiger koordinierten Heizungs-Lüftungs-Strategie	GLT SIEMENS, Typ DESIGO CC mit Fernzugriff, Koordinierung von Grundheizung, körpernahe Heizung, Wärmeerzeugung, -verteilung; exakte Regelung der reduzierten Grund- und Nutzungstemperatur; Einhaltung von Temperaturgradienten und Feuchtegrenzen (Feuchtevorrangsschaltung); Koordinierung von Heizungsregelung mit Fensterlüftung und Abluftanlage

Zu erwartende Verbesserungen

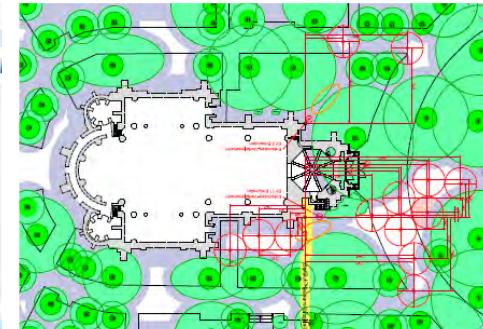
Denkmalschutz	Schutz der wertvollen Ausstattung, Verringerung von Feuchteschwankungen durch koordinierte Heizungs-Lüftungs-Steuerung zur Erfüllung der zukünftig hohen Anforderungen an das Raumklima
Behaglichkeit	gleichmäßige Wärmeverteilung soll für die Minderung von Zuglufterscheinungen sorgen und allg. die Behaglichkeit verbessern
CO ₂ - Ersparnis	die Reduzierung der Systemtemperaturen und die Einbindung erneuerbarer Energien verspricht ein CO ₂ -Einsparpotential von ca. 6 Tonnen CO ₂ pro Jahr oder 24%



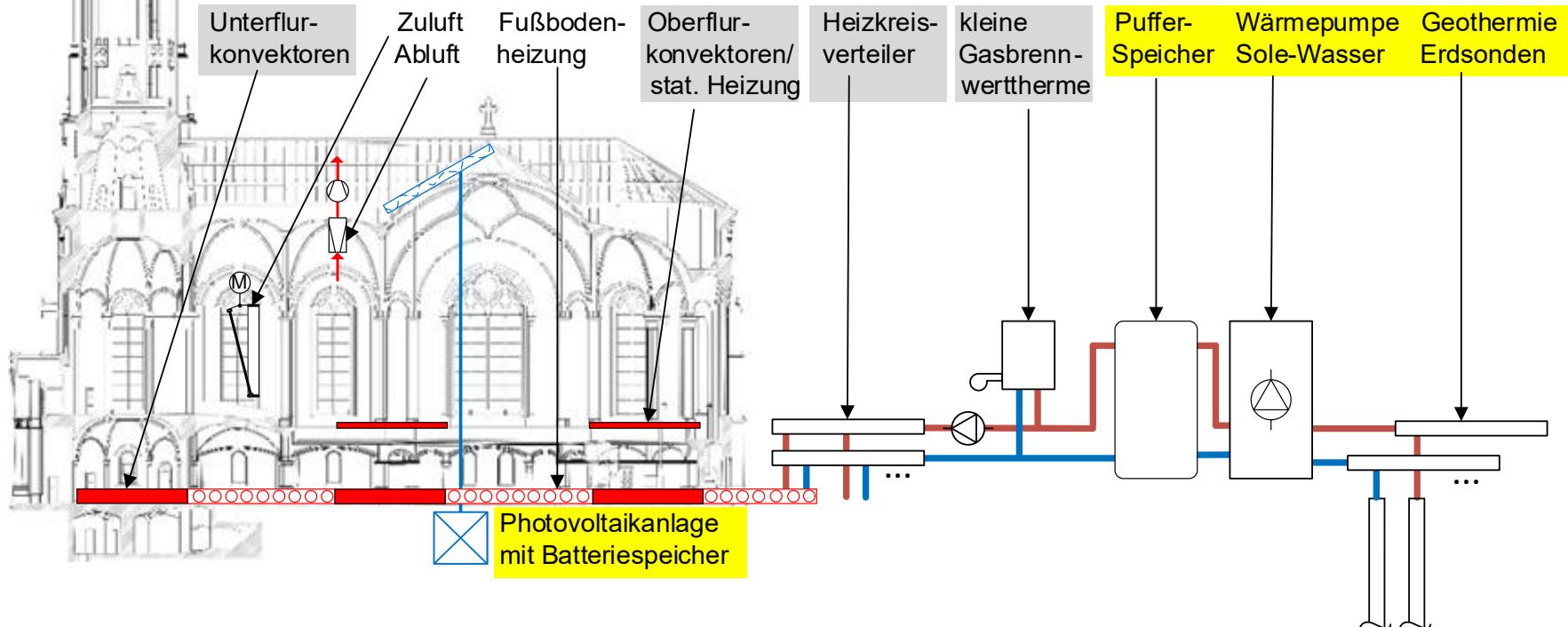
Abluftventilator im Dachboden



Gebäudeleittechnik (SIEMENS)



Lageplan Erdsonden



Raumklima nach der Maßnahme	
Zeitraum der Auswertung	01/2024 – 12/2024
Verletzung Gradient Temperatur > 1 K/h Kriterium A	gering = 0,01
Grenzwertverletzung relative Feuchte > 70% Kriterium B _{pos}	im Winterhalbjahr wird Grenzwert ab und zu überschritten, geringfügig verschlechtert, Verbesserung i. Vgl. zu 2023 = 2,9
Grenzwertverletzung relative Feuchte < 45% Kriterium B _{neg}	generell verbessert i. Vgl. zu vor der Maßnahme und 2023 = 0,4
Fahrweise Gebäudetechnik	<ul style="list-style-type: none"> - Empfohlener Auf- und Abheizgradient von ± 1 K/h wird selten überschritten - Grenzwert relative Feuchte im Winterhalbjahr leicht über- und unterschritten - Feuchtevorrangsschaltung vom 01.10.23-1.12.23 aktiv - dynamische Abweichungen der rel. Feuchte von der historischen Variabilität verschlechtert
Zustand der Orgel	
Klimabedingte Schäden	

Energieverbrauch nach der Maßnahme	
Heizenergieverbrauch (Hochrechnung/Heizperiode)	HEV = 86.058 kWh/a
spezifischer Heizenergieverbrauchskennwert (HEV _{spez} =HEV/Volumen)	HEV _{spez} = 5,04 kWh/(a·m ³)
relativer Heizenergieverbrauchskennwert (HEV _{spez} *100/Veranstaltungen pro Heizper.)	EVK _{rel} = 6,033 kWh/(a·m ³ ·n)
CO ₂ -Emission gesamt pro Jahr	17.298 kg/a
spez. CO ₂ -Emission (CO ₂ -Emission/Volumen)	1,01 kg/(a·m ³)
Bewertung	<ul style="list-style-type: none"> - lineare Hochrechnung des Verbrauches auf die Heizperiode - Klimabereinigung des Verbrauches auf das langjährliche Mittel und auf die Klimaregion mittels Gradtagszahlen - sehr geringer HEV_{spez} bei großem Volumen des Kirchenraumes: 30% der Kirche mit dem max. Verbrauch 53% vom mittleren Verbrauch aller Kirchen - sehr geringer EVK_{rel}, der die mittlere Nutzung im Jahr berücksichtigt: 30% der Kirche mit dem max. Verbrauch 50% vom mittleren Verbrauch aller Kirchen

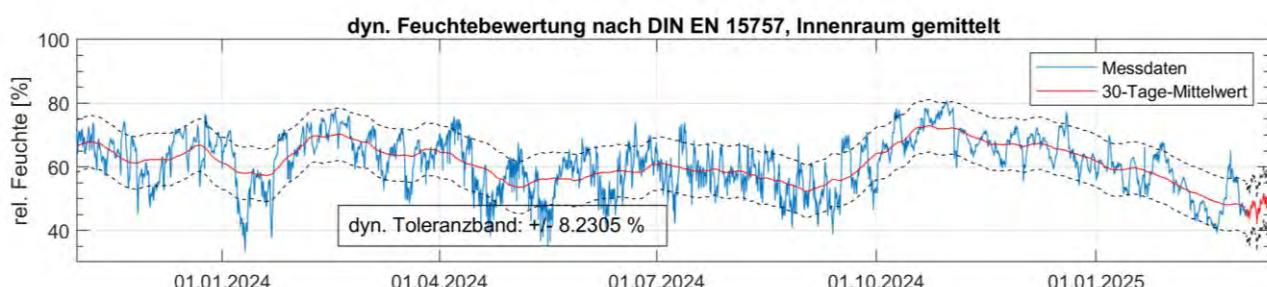
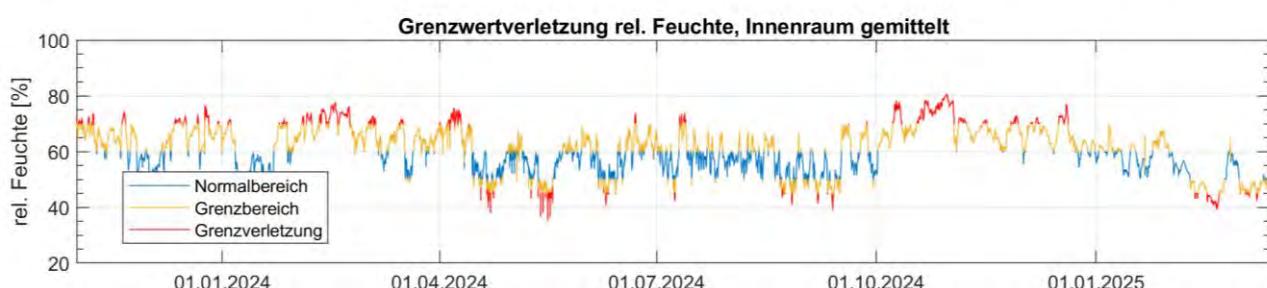
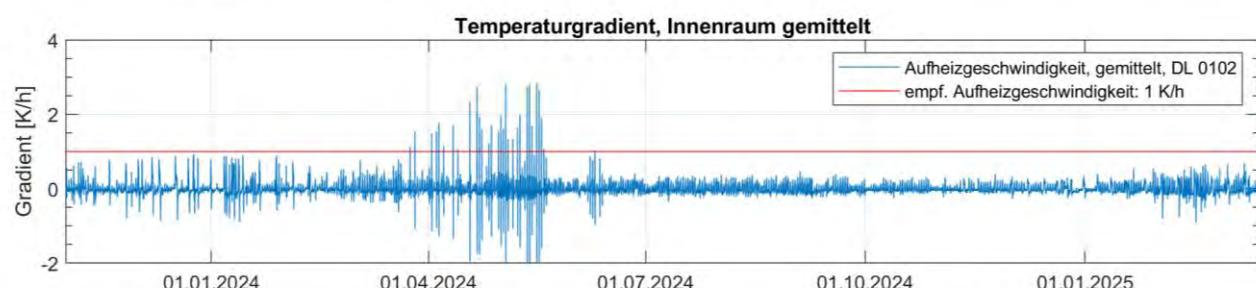
Sozialwissenschaftliches Monitoring nach der Maßnahme (gesamt 21 Befragte)	
Raumtemperatur	90% für „sehr angenehm“ mit entsprechender Kleidung (+ 6% vgl. zu 2022)
Wohlbehagen	85% fühlen sich wohl (+ 1% vgl. zu 2022)
Luftqualität	100% für „genau richtig“ (+ 7% vgl. zu 2022)
Zugluftempfinden	10% geben Zugluft mit „oft“ an (+ 7% vgl. zu 2022)
Kälteempfinden	10% frieren „oft“ (- 13% vgl. zu 2022)
Unzufriedenheit mit Temperatur im Kirchenraum	5% sind (eher) unzufrieden mit der Temperatur im Kirchenraum (- 19% vgl. zu 2022)
Bewertung	Höhere Zufriedenheit durch verbesserte Temperierung

Beginn der Messdatenaufzeichnung:
Zeitraum der Baumaßnahmen:

10/2023
01.08.2022 bis 22.06.2023

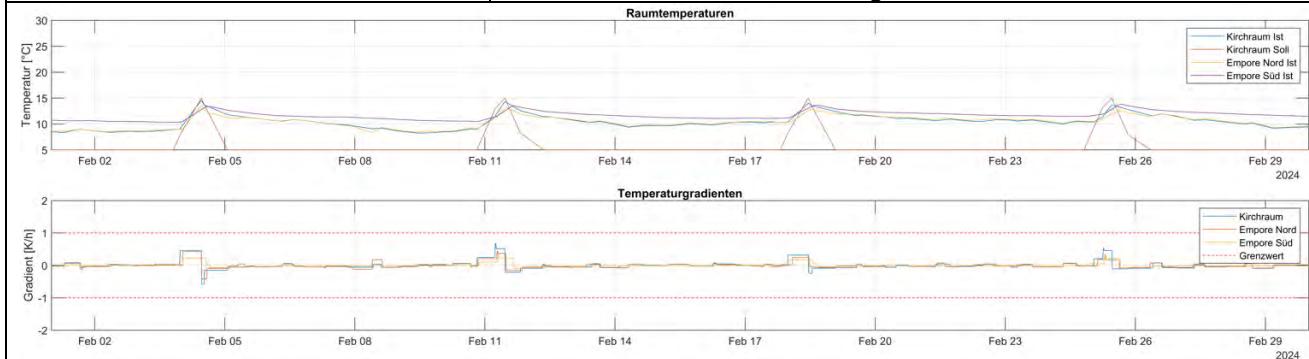
Raumklima nach der Maßnahme von 01/2024 – 12/2024

Zionskirche Berlin

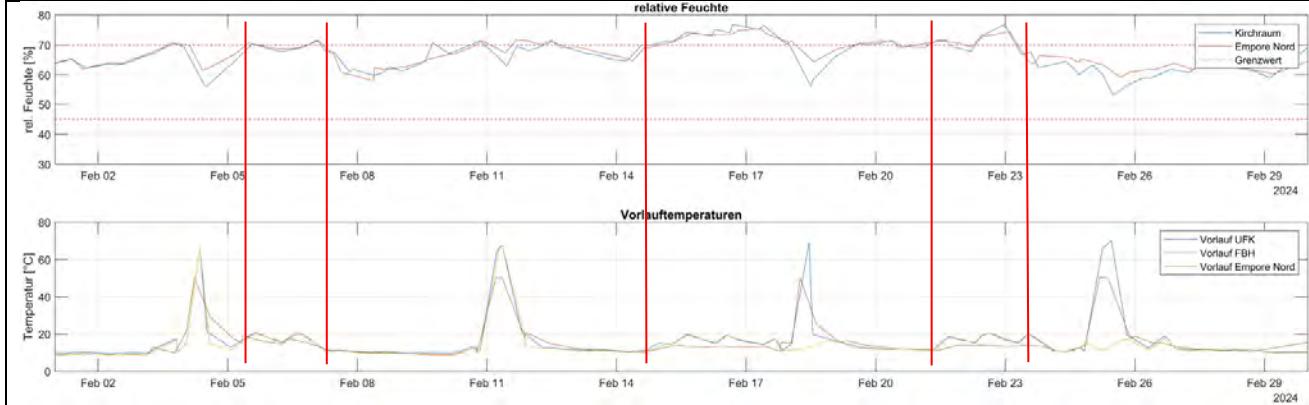


Beurteilung von Funktionen der Gebäudeleittechnik

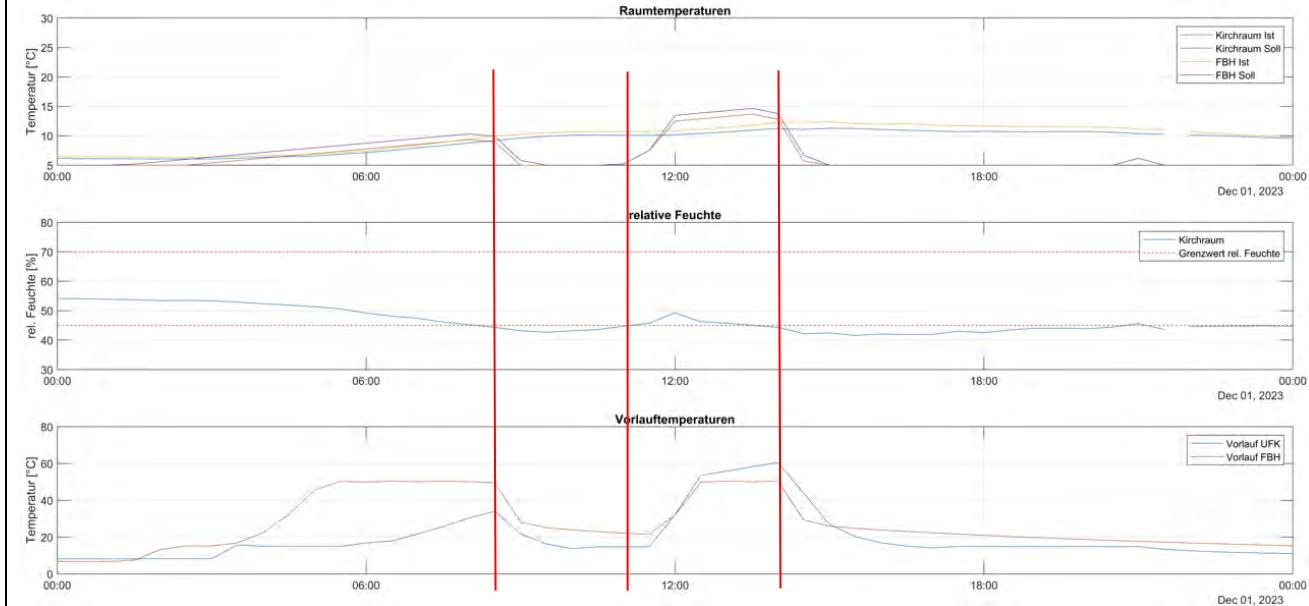
Änderungsgeschwindigkeit Raumtemperatur	Änderungsgeschwindigkeit innerhalb der Vorgabe $< \pm 1 \text{ K/h} $
Regelung der Raumtemperatur	Sollwert für Nutzung wird nicht zu 100% erreicht, Sollwertabsenkung erfolgt bereits vor Erreichen der geforderten Raumtemperatur; Sollwertwerteinstellung der GLT auf 5°C für Nichtnutzung - wird nicht erreicht, da der Raum langsam auskühlt



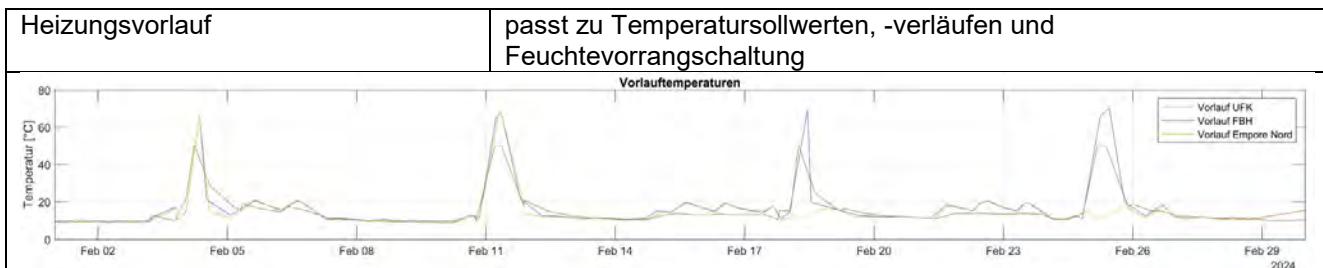
Feuchtevorrangschaltung	bei Überschreitung obere Grenze relative Feuchte von 70% Gegensteuern der Heizung (Erhöhung Vorlauftemperatur)
-------------------------	--



	bei Unterschreitung der unteren Grenze relative Feuchte von 45% Gegensteuern des Heizvorganges durch Sollwertabsenkung
--	--



Lüftung	Keine Daten für Fensterstellung/Lüftung in der GLT verfügbar
---------	--

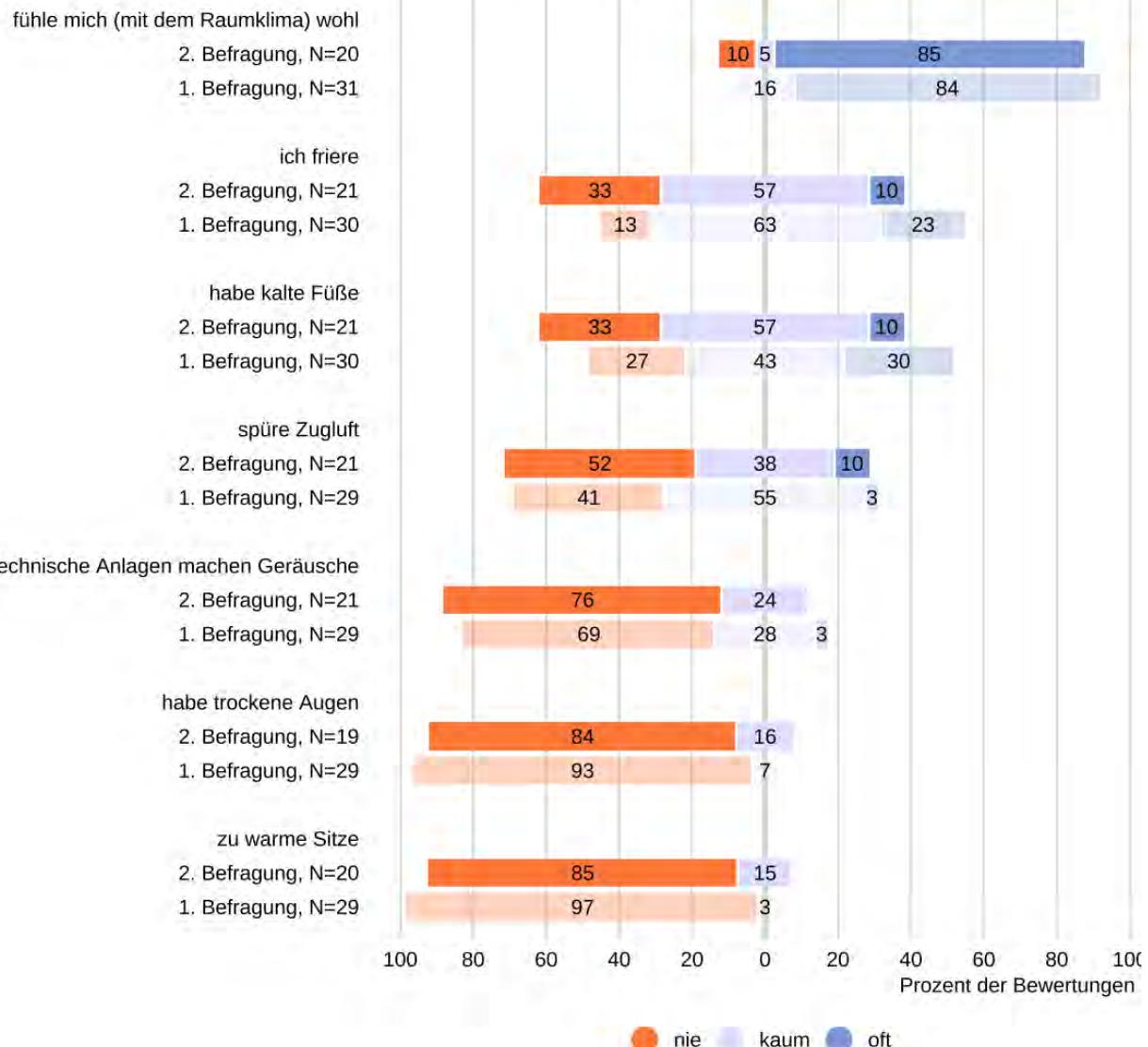


Energetische Bewertung		(a)	(b)	(c)
		vor der Maßnahme	Planung	nach der Maßnahme
Heizenergieverbrauch HEV	124.780,0 kWh/a	82.684 kWh/a	86.058 kWh/a	69% von (a)
Spezif. Heizenergieverbrauchskennwert (HEV _{spez} = HEV/Volumen)	7,3 kWh/a/m ³	4,8 kWh/a/m ³	5,04 kWh/a/m ³	69% von (a)
relativer Heizenergieverbrauchskennwert (HEV _{spez} *100/Veranstaltungen pro Heizperiode)	8,8 kWh/a/m ³ /n	5,8 kWh/a/m ³ /n	6,033 kWh/a/m ³ /n	69% von (a)
CO ₂ -Emission gesamt pro Jahr (CO ₂ -Emissionsfaktor Erdgas 0,201 tCO ₂ /MWh) (Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle)	25.206 kg/a	16.619 kg/a	17.298 kg/a	69% von (a)
1/3 der Wärmeerzeugung Gas 2/3 Strom aus Strommix ab 2025	25.206 kg/a	5.534 kg/a 20.155 kg/a	5.760 kg/a 20.977 kg/a	102% von (a) 106% von (a)
1/3 der Wärmeerzeugung Gas 2/3 Strom aus erneuerbaren Energien ab 2025	25.206 kg/a	5.534 kg/a 0 kg/a	5.760 kg/a 0 kg/a	22% von (a) 23% von (a)
spez. CO ₂ -Emission (CO ₂ -Emission/Volumen) 2/3 Strom aus erneuerbaren Energien ab 2025	1,5 kg/a/m ³	4,1 kg/a/m ³	0,34 kg/a/m ³	23% von (a)
Veranstaltungen/Heizperiode n	84			

Bisher Erdgas: Emissionsfaktor 0,201 tCO₂/MWh
 Strommix: Emissionsfaktor 0,366 tCO₂/MWh
 100% Ökostrom: Emissionsfaktor 0 tCO₂/MWh

Klimatischer Vergleich		Messzeitraum	Messzeitraum
Zeitraum der Auswertung		10/2021 – 09/2022	01/2024 – 12/2024
Bewertung Einhaltung Temperaturgradient	A	0,004	0,01
	<ul style="list-style-type: none">- Empfohlener Auf- und Abheizgradient von ± 1 K/h wird vor und nach der Maßnahme unterschritten- Unterschiede resultieren von verschiedenen Messsystemen und Messorten		
Bewertung Einhaltung oberer Feuchtegrenzwert	B_{pos}	0,1556	2,9
	<ul style="list-style-type: none">- relative Feuchte im Winterhalbjahr wochenweise $> 70\%$- etwas verschlechtert, aber Gegensteuerung der Heizung		
Bewertung Einhaltung unterer Feuchtegrenzwert	B_{neg}	4,7016	0,4
	<ul style="list-style-type: none">- relative Feuchte im Winterhalbjahr nach der Maßnahme $> 45\%$ durch Gegensteuerung der Heizung zur Stabilisierung des unteren Grenzwertes		

Behaglichkeit während des Aufenthaltes (Vergleich 2024 und 2022 in %)





Fensterantrieb zur automatischen Lüftung



automatisierte Lüftungsfenster



Wetterstation



Heizungsverteilung



Schalschrank Gebäudeleittechnik



Unterflurkonvektor

Baujahr: ca. 1180
 Volumen: 3.392 m³
 Sitzplätze: ca. 380



Zustand von Technik, Ausstattung und Nutzung vor der Maßnahme	
Energieträger	Erdgas
Wärmeerzeuger	Gasheizkessel, Nahwärmeleitungen vom Pfarrhaus zur Kirche, technisch erneuerungswürdig
Grundheizsystem	statische Heizung mit Flachheizkörpern im Altarraum, Oberflurkonvektoren hinter Holzverkleidungen an den Außenwänden (1972)
Körpernahes Heizsystem	-
Lüftung	keine Fensterlüftung
Art der Heizungsregelung	keine Regelung, manuelle Handschiebersteuerung für Nahwärmeleitung, manuelle Steuerung der Temperatur ohne Messfühler, erfüllt die Anforderungen nicht
Solltemperatur Nichtnutzung T ₀	6-8 °C lt. Fragebogen
Solltemperatur Nutzung T _i	15-18 °C lt. Fragebogen
Solltemperatur körpernahe Heizung	-
Auf-, Abheizgradient	± 1 K/h, keine Temperaturrampe
Relative Feuchte	40-60 %, keine Feuchtevorrangsschaltung
Schützenswerte Ausstattung	Orgel (1898), Altar, Kanzel, spätgotisches Kruzifix, barocke Schnitzfigurengruppe, Renaissance-Tonnenbemalung
Nutzung	Gottesdienste, Taufen, Hochzeiten, Trauerfeiern, Konzerte, Chorproben, Theateraufführungen, Lesungen, Tagungen, Vorträge, Ausstellungen

Raumklima vor der Maßnahme	
Zeitraum der Auswertung	09/2021 – 08/2022
Verletzung Gradient Temperatur > 1 K/h Kriterium A	Keine = 0,0001
Grenzwertverletzung relative Feuchte > 70% Kriterium B _{pos}	im Winterhalbjahr zu hohe rel. Feuchte = 3,6376
Grenzwertverletzung relative Feuchte < 45% Kriterium B _{neg}	im Sommerhalbjahr seltene Grenzwertverletzungen = 0,0194
Fahrweise Gebäudetechnik	<ul style="list-style-type: none"> - Empfohlener Auf- und Abheizgradient von ± 1 K/h wird eingehalten - erhöhte dynamische Abweichungen der rel. Feuchte von der historischen Variabilität - Solltemperatur Nichtnutzung wird gehalten, Solltemperatur Nutzung wird nicht erreicht - Aufheizspitzen von ca. um 8K - keine Feuchtevorrangschaltung
Zustand der Orgel	<ul style="list-style-type: none"> - Schimmelbefall in Orgel durch zu hohe rel. Feuchte
Klimabedingte Schäden	<ul style="list-style-type: none"> - Wandflächen in N/W-Ecke Kirchenschiff feucht; - Altar: Farbfassungsschäden, Schrumpfen von Holz durch geringe rel. Feuchte; - Steinepitaph: Absanden durch zu hohe rel. Feuchte; - Ausblühen von Salzen am Mauerwerk;

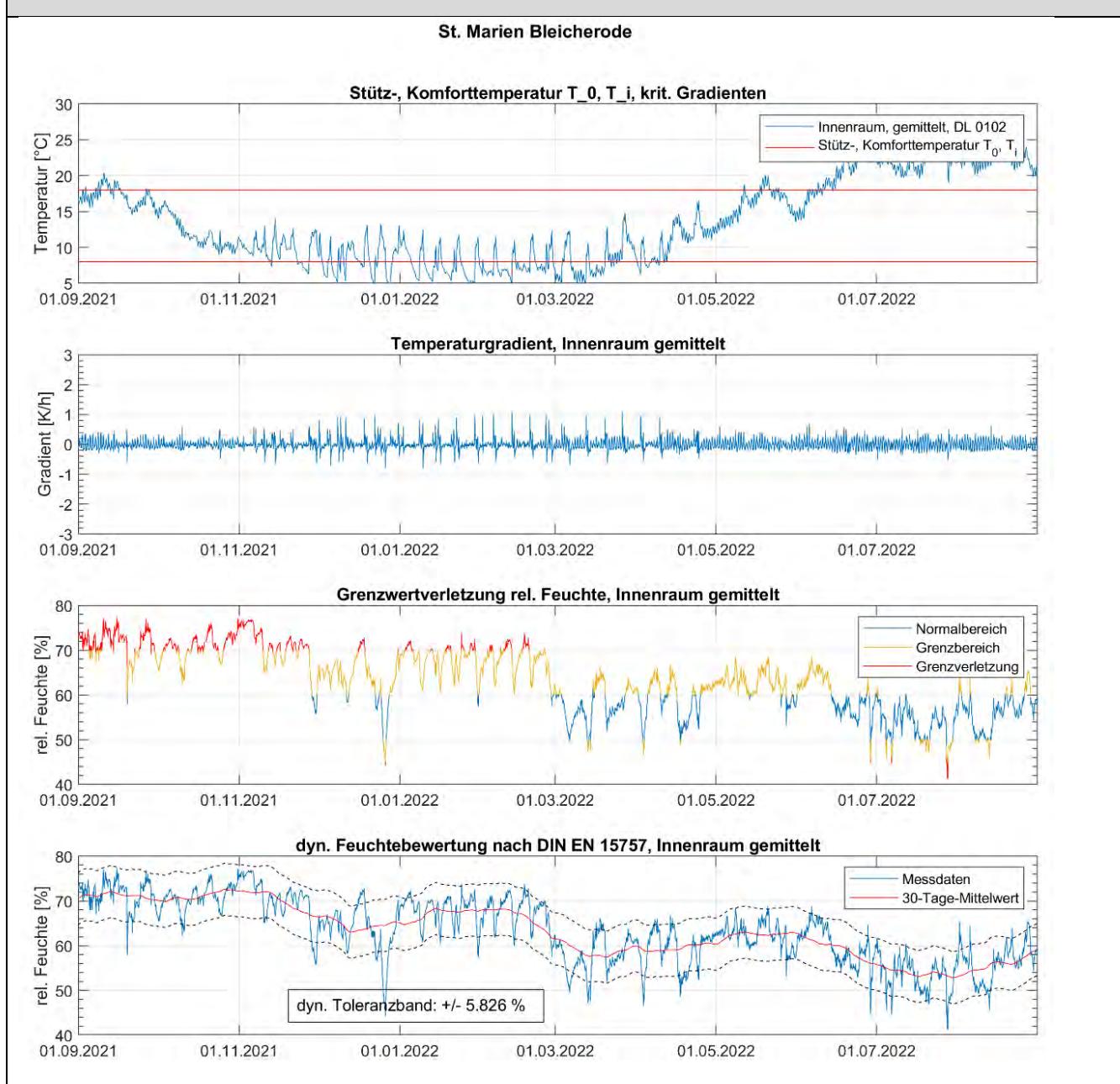
Energetische Bewertung vor der Maßnahme	
durchschnittl. Heizenergieverbrauch HEV	= 47.190,0 kWh/a
Spez. Heizenergieverbrauch HEV _{spez} = HEV/beheiztes Volumen	= 13,9 kWh/a/m ³
relativer Heizenergieverbrauch EVK = HEV _{spez} *100/Anzahl der Veranstaltungen	= 16,9 kWh/a/m ³ /n
Anzahl der Veranstaltungen n/Heizperiode	= 83

Sozialwissenschaftliches Monitoring vor der Maßnahme (22 Befragte)	
Raumtemperatur	68% für „sehr angenehm“ mit entsprechender Kleidung
Wohlbefinden	62% fühlen sich wohl
Luftqualität	79% für „genau richtig“
Zugluftempfinden	Zugerscheinungen im Altarraum 16% geben Zugluft mit „oft“ an
Kälteempfinden	60% frieren „oft“
Unzufriedenheit mit Temperatur im Kirchenraum	32% sind (eher) unzufrieden mit der Temperatur im Kirchenraum

Beginn der Messdatenaufzeichnung:
Zeitraum Baumaßnahmen:

08/2021
26.07.2023 bis 20.10.2023

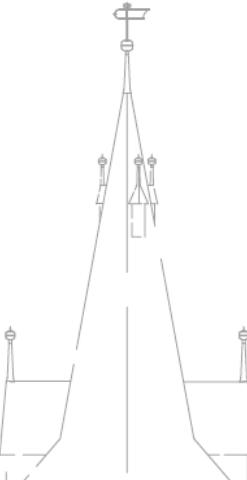
Raumklima vor der Maßnahme von 09/2021 – 08/2022



Energetische Daten		
	Bestand	Vorzugsvariante: Minimallösung
Energieträger	Erdgas	Erdgas + Strom
Wärmeleistung	130 kW	130 kW
Heizenergieverbrauch	47.190 kWh/a	11.901 kWh/a
Heizenergiekosten	2.831 €/a	1.428 €/a
CO ₂ -Emissionsfaktor	0,202 kg/kWh	0,202 kg/kWh
CO ₂ -Emission	9.532 kg/a	2.404 kg/a

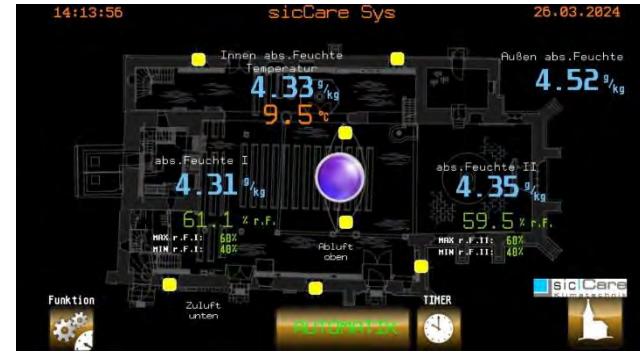
Zusammenstellung der innovativen Kosten			
Kosten-gruppe	Kostenposition	Kostenberechnung 30.01.2023 (brutto)	ETiK -Fördermittel (brutto)
KG 420	Heizung	22.933,32 €	18.346,66 €
KG 430	Kontrollierte Lüftungsanlage	34.660,00 €	27.728,00 €
KG 480	Gebäudeleittechnik	0,00 €	0,00 €
KG 490	sonstige TGA (Dokumentation)	3.694,95 €	2.955,96 €
KG 544	Nahwärmeleitung	0,00 €	0,00 €
KG 200+400	Summe Baukosten	61.288,27 €	49.030,62 €
KG 736	Baunebenkosten Fachplaner LP3-4	17.980,28 €	36.408,96 €
KG 736	Baunebenkosten Fachplaner LP3-4 Ü1	749,70 €	
KG 736	Baunebenkosten Fachplaner LP5-9	19.514,72 €	
	Summe brutto	99.532,97 €	85.439,58 €
	Summe brutto abzgl. mgl. ETiK-Fördermittel exkl. Bauseitiger Leistungen	14.093,39 €	

Zusammenfassung der Planung	
Begründungen der innovativen Ansätze der einzelnen Positionen	
Wärmeerzeugeranlage	Bestehende Kesselanlage Fabrikat Viessmann, Typ Vertomat VSB13, Wärmeleistung max.130 kW, Bj. 2000, wird für die Grundtemperierung und Frostfreihaltung des Kirchenraumes weiter genutzt
Wärmeverteilung - Körpernahe Heizung	Ergänzung der Grundtemperierung mit 40 Stück flexibel einsetzbaren akkubetriebenen elektrischen Sitzkissen
Kontrollierte Lüftung	einige Fenster offenbar mit Antrieben zur automatischen Fensterlüftung, freier Öffnungsquerschnitt relativ klein im unteren Bereich des jeweiligen Fensterfeldes, Ergänzung einer Abluftanlage mit 2 Abluftventilatoren, Realisierung einer feuchteabhängigen kontrollierten Lüftung mit automatisierten Lüftungsfenstern und einer Abluftanlage
Regelung Gebäudeleittechnik mit neuartiger koordinierten Heizungs-Lüftungs-Strategie	GLT Passtec mit Fernzugriff, Standardgeregelte Kombination der Grundtemperierung mit der körpernahe Sitzkissenheizung; Einhaltung der Feuchtegrenzen durch die kontrollierte Lüftung, sofern die Innen- und Außenluftzustände das zulassen
Zu erwartende Verbesserungen	
Denkmalschutz	Mit der Stabilisierung der relativen Feuchte durch die Fenstersteuerung besteht die Möglichkeit der Förderung der Trocknungsprozesse, der Verringerung von Schrumpfen von Holz und des Schimmelpilzwachstums
Behaglichkeit	Verbesserung der Behaglichkeit im Gestühl durch körpernahe Heizung
CO ₂ - Ersparnis	Die Reduzierung der Grundtemperatur in Kombination mit der Sitzkissenheizung verspricht ein CO ₂ -Einsparpotential von ca. 7,1 Tonnen CO ₂ pro Jahr oder 75%

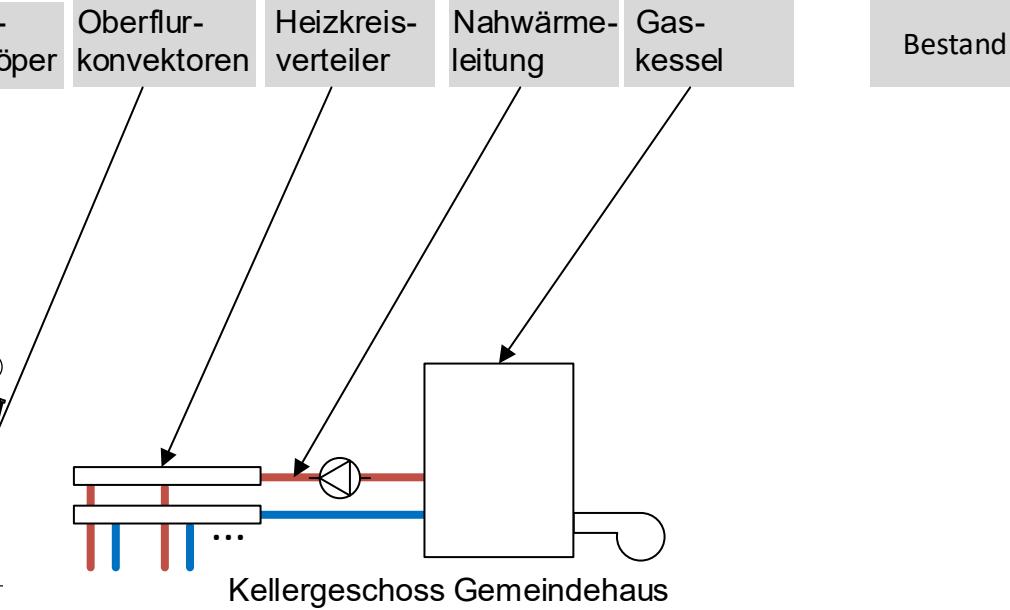
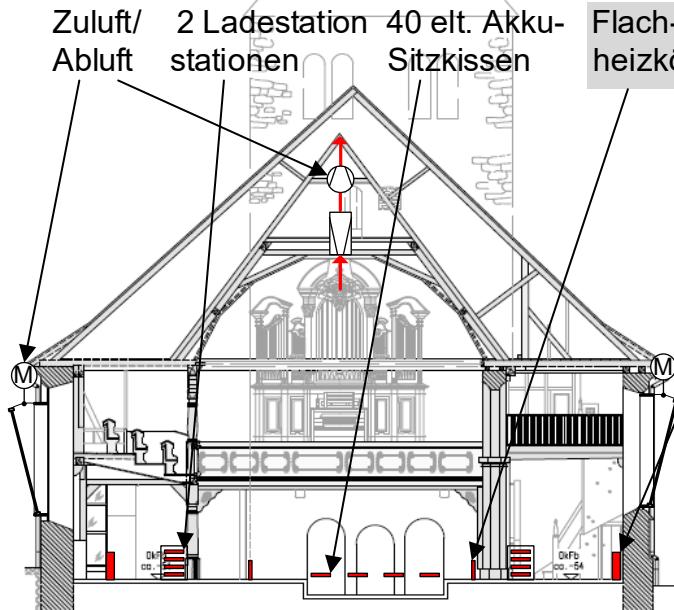


HILFE STATUS LOG	
EIN	AKTIV
AUS	AKTIV
EIN	HEUTE
AUS	HEUTE
UNGÜNSTIG	
INNEN KALT	
DEFECTUHT	
ENTFEUCHT	
AKTIV AUS	
INNEN WARM	MODUS
FROSTSCHUTZ	
OK ZIELER	
MANU/TIM EIN	
MANU/TIM AUS	
SONSTIGE	
HANU EIN	BETRIEBSART
AUTO	
HANU AUS	BETRIEBSART
AKTIV	ZEIT LÜFTUNG EIN (SCHALTZEIT)
	AKTIV
AKTIV	ZEIT LÜFTUNG AUS (SCHALTZEIT)
	ANLAGE EIN (LÜFTEN JA = GERÄTE EIN)
	ANLAGE AUS (LÜFTEN NEIN = GERÄTE AUS)
UNGÜNSTIG	LÜFTEN NICHT SICHTVOLL
COLD	INNENTEMP ZU KALT (UNTER GRENZWERT)
	MODUS BEFEUCHTEN
	MODUS ENTFEUCHTEN
	AKTIVITÄT RUS - ANLAGE IST NICHT AKTIV
OK	INNENTEMP ZU WARM (ÜBER GRENZWERT)
	FROSTSCHUTZ - AUSSENTEMP ZU KALT
	OK - RAUM IM OPTIMALEN BEREICH
	MANUELL oder TIMER EIN
	MANUELL oder TIMER AUS
	ALARM - SENSORENFEHLER
	BETRIEBSART MANUELL EIN
	BETRIEBSART AUTOMATIK
	BETRIEBSART MANUELL AUS

Statusanzeige der GLT



auf die Lüftung reduzierte Gebäudeleittechnik (Passtec)



Raumklima nach der Maßnahme	
Zeitraum der Auswertung	01/2024 – 12/2024
Verletzung Gradient Temperatur > 1 K/h Kriterium A	keine = 0
Grenzwertverletzung relative Feuchte > 70% Kriterium B _{pos}	im Winterhalbjahr wird der Grenzwert von 70% deutlich überschritten, Verschlechterung i. Vgl. zu vor der Maßnahme, Verbesserung gegenüber 2023 = 5,78
Grenzwertverletzung relative Feuchte < 45% Kriterium B _{neg}	keine Grenzwertverletzung, leichte Verbesserung = 0
Fahrweise Gebäudetechnik	<ul style="list-style-type: none"> - Empfohlener Auf- und Abheizgradient von ± 1 K/h wird nicht überschritten - Grenzwert relative Feuchte im Winterhalbjahr deutlich überschritten - keine Feuchtevorrangsschaltung, Steuerung ist Bestand - dynamische Abweichungen der rel. Feuchte von der historischen Variabilität wie vor der Maßnahme
Zustand der Orgel	
Klimabedingte Schäden	

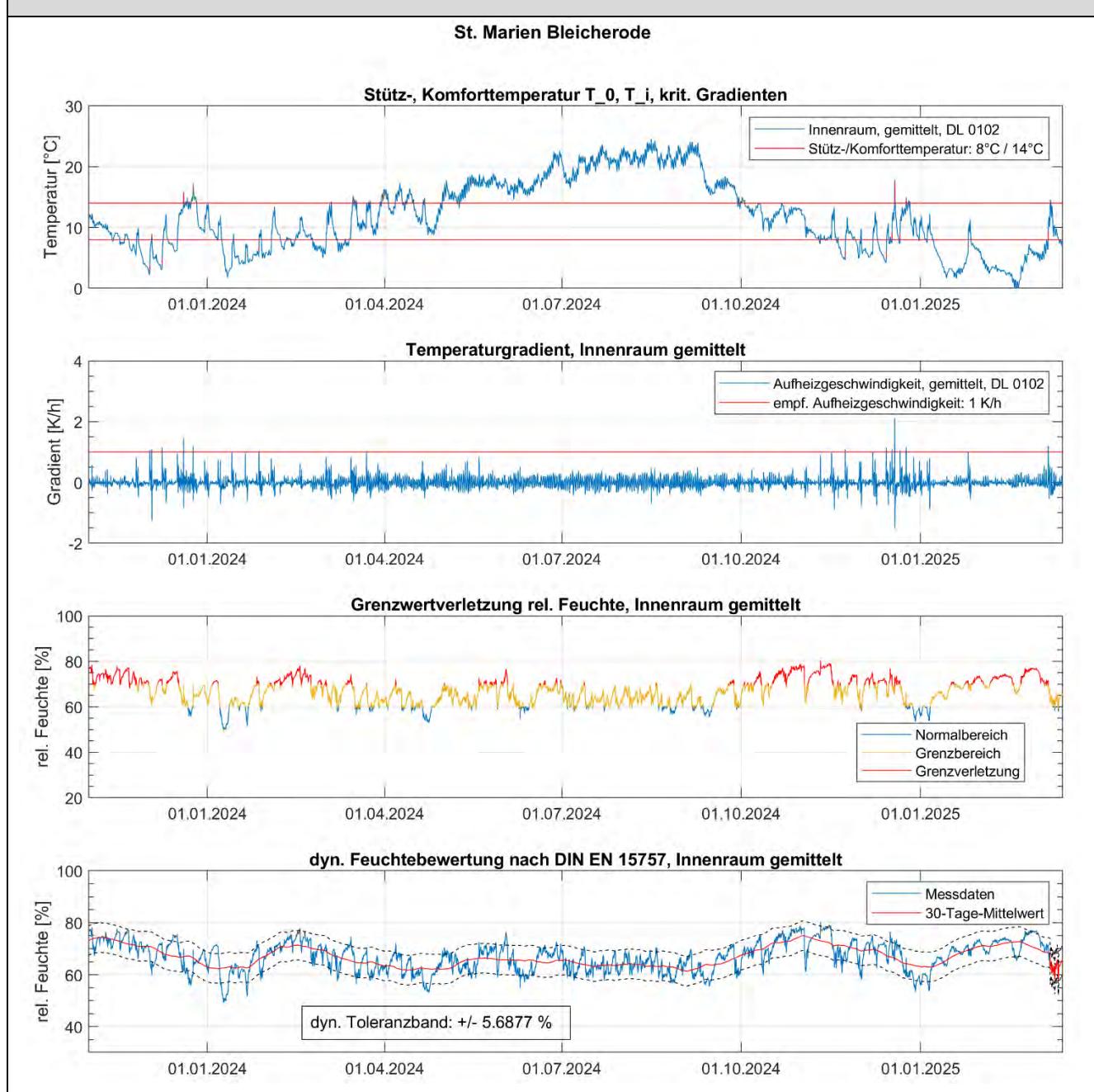
Energieverbrauch nach der Maßnahme / 6 Monate	
Heizenergieverbrauch (Hochrechnung/Heizperiode)	HEV = 55.432 kWh/a
spezifischer Heizenergieverbrauchskennwert (HEV _{spez} =HEV/Volumen)	HEV _{spez} = 16,34 kWh/(a·m ³)
relativer Heizenergieverbrauchskennwert (HEV _{spez} *100/Veranstaltungen pro Heizper.)	EVK _{rel} = 19,81 kWh/(a·m ³ ·n)
CO ₂ -Emission gesamt pro Jahr	11.142 kg/a
spez. CO ₂ -Emission (CO ₂ -Emission/Volumen)	3,28 kg/(a·m ³)
Bewertung	<ul style="list-style-type: none"> - lineare Hochrechnung des Verbrauches auf die Heizperiode - Klimabereinigung des Verbrauches auf das langjährige Mittel und auf die Klimaregion mittels Gradtagszahlen - hoher HEV_{spez} bei mittlerem Volumen des Kirchenraumes: 100% der Kirche mit dem max. Verbrauch 172% vom mittleren Verbrauch aller Kirchen - mittlerer EVK_{rel}, der die mittlere Nutzung im Jahr berücksichtigt: 100% der Kirche mit dem max. Verbrauch 166% vom mittleren Verbrauch aller Kirchen

Sozialwissenschaftliches Monitoring nach der Maßnahme (gesamt 27 Befragte)	
Raumtemperatur	88% für „sehr angenehm“ mit entsprechender Kleidung (+ 20% vgl. zu 2022)
Wohlbehagen	87% fühlen sich wohl (+ 25% vgl. zu 2022)
Luftqualität	Raumluft ist etwas zu trocken, Einbau der Lüftung positiv. 80% für „genau richtig“ (+ 1% vgl. zu 2022)
Zugluftempfinden	9% geben Zugluft mit „oft“ an (- 7% vgl. zu 2022)
Kälteempfinden	trotz Sitzkissen zu kalt 15% frieren „oft“ (- 45% vgl. zu 2022)
Unzufriedenheit mit Temperatur im Kirchenraum	15% sind (eher) unzufrieden mit der Temperatur im Kirchenraum (- 17% vgl. zu 2022)
Bewertung	Höheres Wohlbehagen und Zufriedenheit. Bessere Luft durch Lüftungsanlage

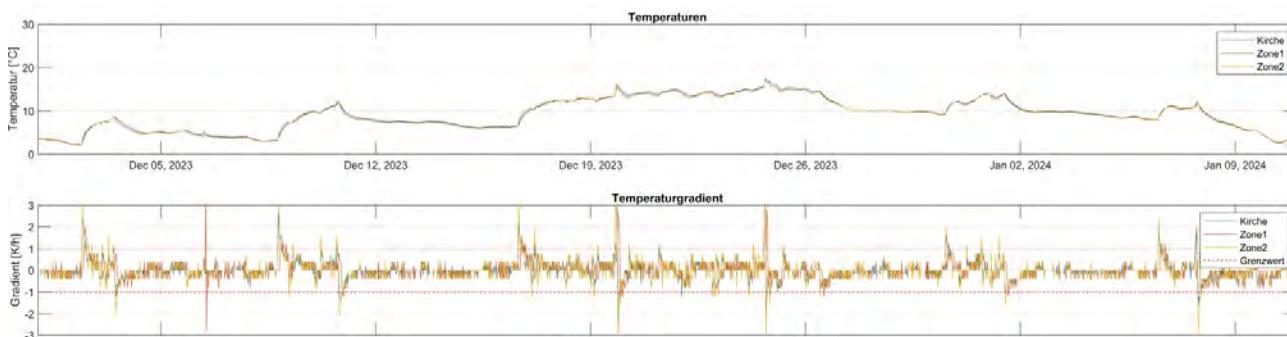
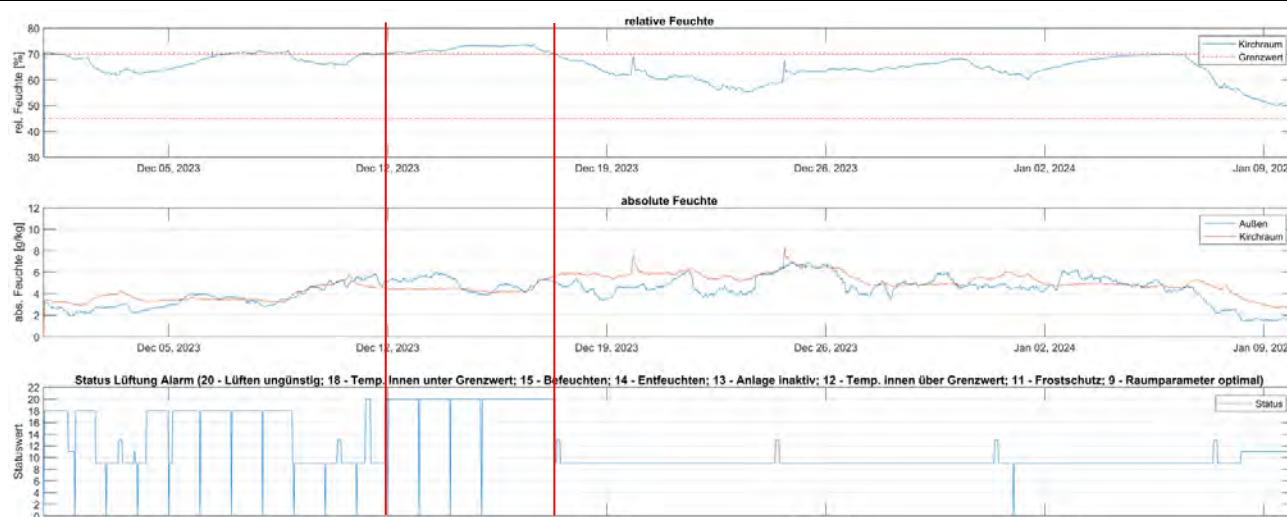
Beginn der Messdatenaufzeichnung:
Zeitraum der Baumaßnahmen:

10/2023
26.07.2023 bis 20.10.2023

Raumklima nach der Maßnahme von 01/2024 – 12/2024

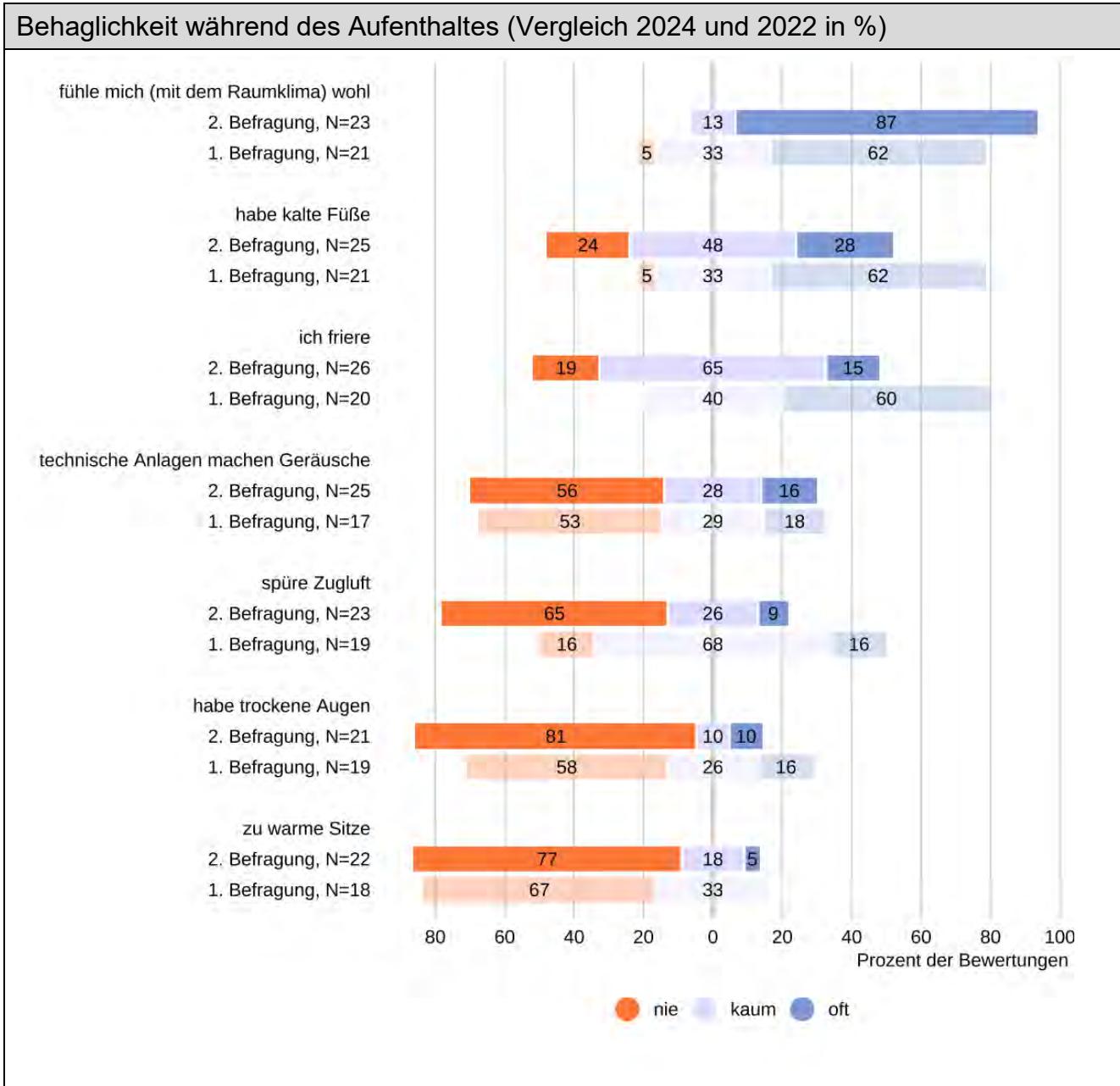


Beurteilung von GLT-Funktionen

Änderungsgeschwindigkeit Raumtemperatur	Änderungsgeschwindigkeit meist innerhalb der Vorgabe $< \pm 1 \text{ K/h} $
Regelung der Raumtemperatur	keine Regelung, manuelle Handschiebersteuerung für die Nahwärmeleitung und die Raumtemperatur ohne Messfühler
	
Feuchtevorrangschaltung	keine Feuchtevorrangschaltung, s. oben keine Unterschreitung des unteren Feuchtegrenzwertes 45%
	 <p>UNGUNSTIG - LUFTEN NICHT SINNVOLL 20 COOL - INNENTMP ZU KALT (UNTER GRENZWERT) 18 MODUS BEFEUCHTEN 15 MODUS ENTFEUCHTEN 14 AKTIVZEIT AUS - ANLAGE IST NICHT AKTIV 13 HOT - INNENTEMP ZU WARM (ÜBER GRENZWERT) 12 FROSTSCHUTZ - AUSSENTEMP ZU KALT 11 OK - RAUM IM OPTIMALEN BEREICH 9</p>
Lüftung	keine Messwerte zur Lüftungssteuerung verfügbar, wie Fensterantriebe, Abluftventilator aber Überschreitung des oberen Feuchtegrenzwertes von 70% durch Messsystem erkannt - Lüften nicht möglich, da absolute Feuchte außen größer als absolute Feuchte innen: $x_a > x_i$
Heizungsvorlauf	keine Messwerte zur Heizung verfügbar (Heizungssteuerung nicht auf GLT aufgeschalten)

Energetische Bewertung	(a)	(b)	(c)
	vor der Maßnahme	Planung	nach der Maßnahme
Heizenergieverbrauch HEV	47.190,0 kWh/a	11.901 kWh/a	55.432 kWh/a 117 % von (a)
Spezif. Heizenergieverbrauchskennwert (HEV _{spez} = HEV/Volumen)	13,9 kWh/a/m ³	3,5 kWh/a/m ³	16,34 kWh/a/m ³ 117% von (a)
relativer Heizenergieverbrauchskennwert (HEV _{spez} *100/Veranstaltungen pro Heizperiode)	16,9 kWh/a/m ³ /n	4,22 kWh/a/m ³ /n	19,81 kWh/a/m ³ /n 117% von (a)
CO ₂ -Emission gesamt pro Jahr (CO ₂ -Emissionsfaktor Erdgas 0,201 tCO ₂ /MWh; (Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle)	9.532 kg/a	2.404 kg/a	11.142 kg/a 117% von (a)
spez. CO ₂ -Emission (CO ₂ -Emission/Volumen)	2,8 kg/a/m ³	0,64 kg/a/m ³	3,28 kg/a/m ³ 117% von (a)
Veranstaltungen n/Heizperiode	83		

Klimatischer Vergleich		Messzeitraum	Messzeitraum
Zeitraum der Auswertung		09/2021 – 08/2022	01/2024 – 12/2024
Bewertung Einhaltung Temperaturgradient	A	0,0001	0
	<ul style="list-style-type: none"> - Empfohlener Auf- und Abheizgradient von ± 1 K/h wird vor und nach der Maßnahme unterschritten - Unterschiede resultieren von verschiedenen Messsystemen und Messorten 		
Bewertung Einhaltung oberer Feuchtegrenzwert	B _{pos}	3,6376	5,78
	<ul style="list-style-type: none"> - relative Feuchte im Winterhalbjahr wochenweise > 70% - der höhere Wert ab 10/2023 resultiert aus dem extrem feuchten Herbst 2023 		
Bewertung Einhaltung unterer Feuchtegrenzwert	B _{neg}	0,0194	0
	<ul style="list-style-type: none"> - relative Feuchte nach der Maßnahme generell > 45%, Verbesserung - Lüftung wird lt. Messwerte unterbunden, unterer Grenzwert wird nicht erreicht 		





Laderack für 24 Akku-Wärmekissen



Fensterantrieb für automatisierte Lüftung



2 parallele Systeme:
2 Kulissenschalldämpfer und Abluftventilator



einer von 2 Abluftkanälen im Dachraum



Bedienstation Lüftung (Passtec)



Gasheizkessel im Gemeindehaus mit
Nahwärmeleitung zur Kirche (Bestand)

Projektphase 2, KG20

Baujahr: ca. 1480
 Volumen: 4.845 m³
 Sitzplätze: ca. 600



Zustand von Technik, Ausstattung und Nutzung vor der Maßnahme

Energieträger	Erdgas
Wärmeerzeuger	2 Heizkessel, Fabrikat Viessmann, Typ Edelstahl-Kessel, Wärmeleistung je 93 kW, Bj. 1991, technisch verschlissen
Grundheizsystem	Oberflurkonvektoren entlang der Außenwände hinter Holzverkleidungen, überdimensioniert, Heiztruhen über den Eingängen nicht mehr in Betrieb
Körpernahes Heizsystem	-
Lüftung	offenbare Fenster, keine automatische Lüftung
Art der Heizungsregelung	Mikroprozessor-Regelung Centraterm mit 2 MC50-Regler (1991), erfüllt Anforderungen nur teilweise
Solltemperatur Nichtnutzung T ₀	14 °C lt. Fragebogen
Solltemperatur Nutzung T _i	18 °C lt. Fragebogen
Solltemperatur körpernahe Heizung	-
Auf-, Abheizgradient	± 1 K/h, mit Temperaturrampe
Relative Feuchte	zu niedrige rel. Feuchte, keine Feuchtevorrangschaltung
Schützenswerte Ausstattung	Orgel, Taufstein, Holzeinbauten, historisches Gestühl im Altarraum
Nutzung	Gottesdienste, Taufen, Hochzeiten, Trauerfeiern, Konzerte, Chorproben, Theateraufführungen, Morgen- und Marktandachten, Kinderkirche

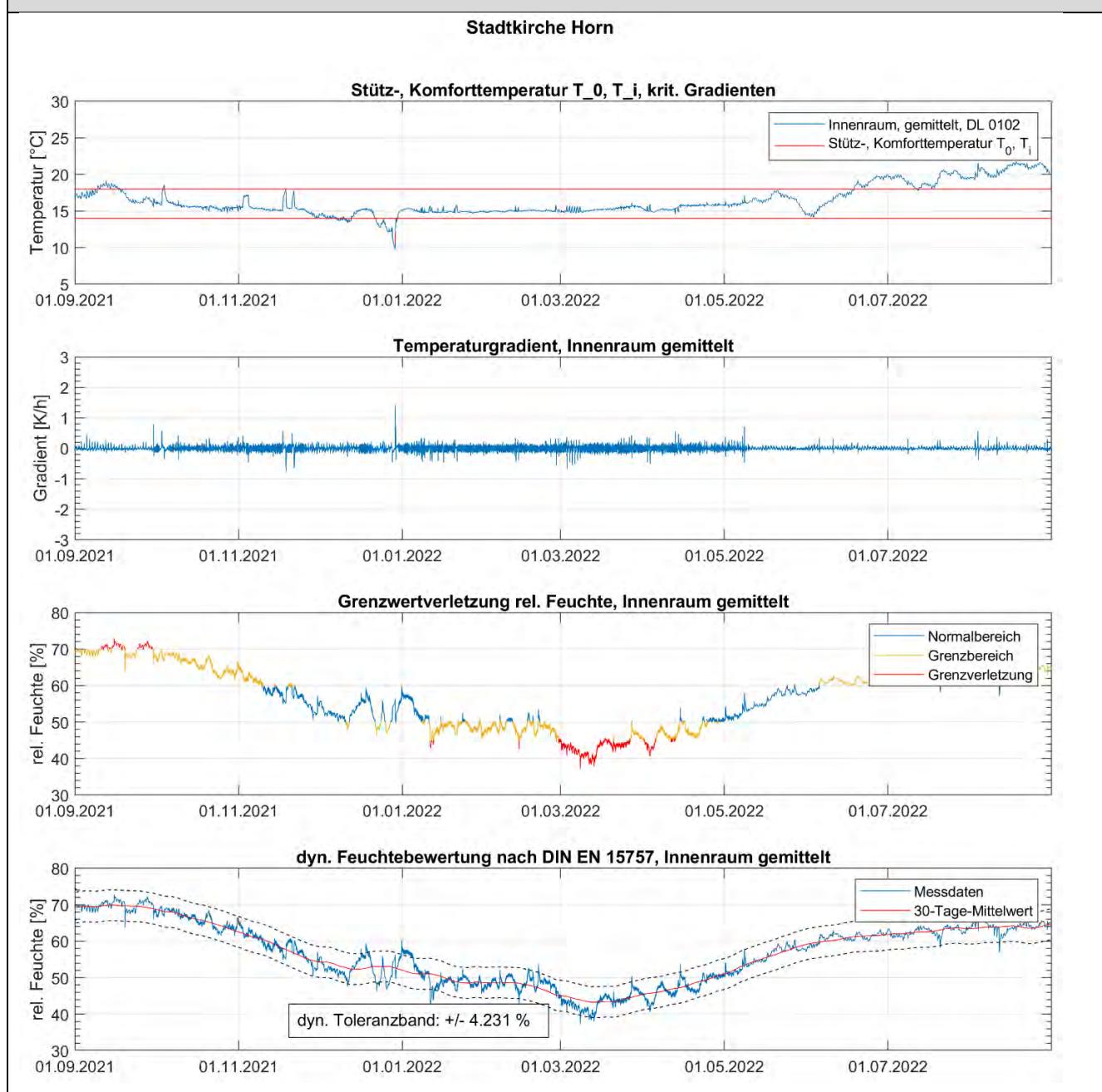
Raumklima vor der Maßnahme	
Zeitraum der Auswertung	09/2021 – 08/2022
Verletzung Gradient Temperatur > 1 K/h Kriterium A	Keine = 0,0003
Grenzwertverletzung relative Feuchte > 70% Kriterium B _{pos}	im Sommerhalbjahr kurzzeitig hohe rel. Feuchte = 0,2234
Grenzwertverletzung relative Feuchte < 45% Kriterium B _{neg}	im Winterhalbjahr 1 Monat zu niedrige rel. Feuchte = 1,2727
Fahrweise Gebäudetechnik	<ul style="list-style-type: none"> - Empfohlener Auf- und Abheizgradient von ± 1 K/h wird weit unterschritten - relative Feuchte im Winterhalbjahr wochenw. < 45% - geringe dynamische Abweichungen der rel. Feuchte von der historischen Variabilität - Temperatur im Winter durchgängig konstant - kaum Aufheizspitzen - keine Feuchtevorrangschaltung
Zustand der Orgel	<ul style="list-style-type: none"> - Risse an und in der Orgel - Schimmel am Orgelprospekt
Klimabedingte Schäden	<ul style="list-style-type: none"> - Schäden im Gebäude durch zu niedrige rel. Feuchte - erhebliche Risse an Holzeinbauten - Feuchteschäden in Eingangsbereichen - Staubentwicklung

Energetische Bewertung vor der Maßnahme	
durchschnittl. Heizenergieverbrauch HEV	= 251.949,0 kWh/a
Spez. Heizenergieverbrauch HEV _{spez} = HEV/beheiztes Volumen	= 52,0 kWh/a/m ³
relativer Heizenergieverbrauch EVK = HEV _{spez} *100/Anzahl der Veranstaltungen	= 69,3 kWh/a/m ³ /n
Anzahl der Veranstaltungen n/Heizperiode	= 75

Sozialwissenschaftliches Monitoring vor der Maßnahme (52 Befragte)	
Raumtemperatur	72% für „sehr angenehm“ mit entsprechender Kleidung
Wohlbefinden	70% fühlen sich wohl
Luftqualität	94% für „genau richtig“
Zugluftempfinden	Zugerscheinungen im Mittelschiff 23% geben Zugluft mit „oft“ an
Kälteempfinden	40% frieren „oft“, allg. Fußkälte
Unzufriedenheit mit Temperatur im Kirchenraum	32% sind (eher) unzufrieden mit der Temperatur im Kirchenraum

Beginn der Messdatenaufzeichnung: 08/2021
 Zeitraum Baumaßnahmen: 01.10.2022 bis 01.06.2023

Raumklima vor der Maßnahme von 09/2021 – 08/2022



Energetische Daten

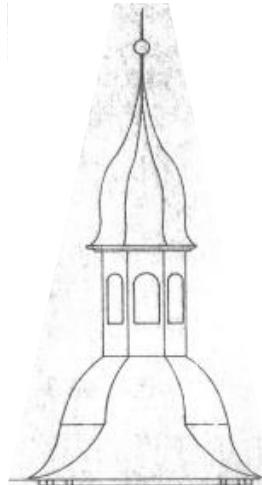
	Bestand	Vorzugsvariante: EBCA
Energieträger	Erdgas	Pellets
Wärmeleistung	258 kW	185 kW
Heizenergieverbrauch	251.949 kWh/a	167.538 kWh/a
Heizenergiekosten	15.117 €/a	8.377 €/a
CO ₂ -Emissionsfaktor	0,202 kg/kWh	0,027 kg/kWh
CO ₂ -Emission	50.894 kg/a	4.524 kg/a

Zusammenstellung der innovativen Kosten			
Kosten-gruppe	Kostenposition	Kostenberechnung 14.03.2022 (brutto)	ETiK -Fördermittel (brutto)
KG 300	Bau	85.186,15 €	0,00 €
KG 420	Heizung	307.437,06 €	59.503,19 €
KG 430	Kontrollierte Lüftungsanlage	15.220,10 €	12.176,08 €
KG 480	Gebäudeleittechnik	67.212,39 €	53.769,91 €
KG 490	sonstige TGA (Dokumentation)	6.783,00 €	0,00 €
KG 500	Bau	10.115,00 €	0,00 €
KG 544	Nahwärmeleitung	11.456,13 €	0,00 €
KG 200+400	Summe Baukosten	503.409,83 €	125.449,18 €
KG 700	Baunebenkosten Architekt	20.706,00 €	36.938,46 €
KG 736	Baunebenkosten LP 3-4	23.442,93 €	0,00 €
KG 736	Baunebenkosten LP 5-9	86.255,63 €	36.938,46 €
	Summe brutto	633.814,39 €	162.387,64 €
	Summe brutto abzgl. mgl. ETiK-Fördermittel inkl. Bauseitiger Leistungen	471.426,74 €	

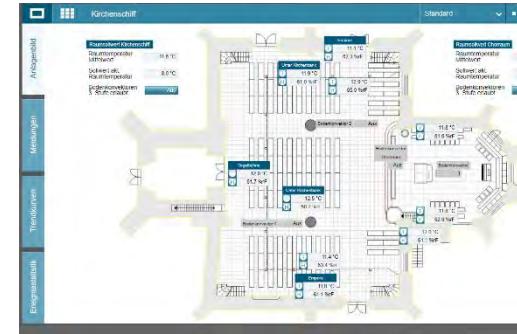
Anlage zur Kostenaufstellung	
Begründungen der innovativen Ansätze der einzelnen Positionen	
Wärmeerzeugeranlage	Moderne Pelletkesselanlage mit Pufferspeicher und Schnittstelle zur Gebäudeleittechnik, Nahwärmeverbund mit Gemeindehäusern
Wärmeverteilung - Körpernahe Heizung	Bedarfsgerechte Wärmeverteilung im Gestühl mittels gestalterisch angepasster Flachheizkörper Heizkreis 1-1: Kirchenschiff mit Empore Heizkreis 1-2: Körpernahe Heizung Heizkreis 1-3: Chorraum
Kontrollierte Lüftung	Kombination von automatisierten Lüftungsfenstern und kontrollierter Abluftanlage: je zwei Fenster auf der Süd- und der Nordseite offenbar, kleiner freier Öffnungsquerschnitt, zusätzliche Abluftanlage saugt über Öffnung im zentralen Schlussstein Luft aus dem Kirchenschiff in den Dachboden
Regelung Gebäudeleittechnik mit neuartiger koordinierten Heizungs-Lüftungs-Strategie	GLT Kieback&Peter, Typ quanteon, mit Fernzugriff, Koordinierung von Grundheizung, körpernaher Heizung, Wärmeerzeugung, -verteilung; exakte Regelung der reduzierten Grund- und Nutzungstemperatur; Einhaltung von Temperaturgradienten und Feuchtegrenzen (Feuchtevorrangsschaltung); Koordinierung von Heizungsregelung mit Fensterlüftung und Abluftanlage
Zu erwartende Verbesserungen	
Denkmalschutz	durch Steuerung der Feuchte (Feuchtevorrangsschaltung, neuartige Lüftungs-Strategie) sollen die rel. Feuchte stabilisiert und Schwundrisse an wertvollen Holzeinbauten aufgehalten werden; die Minderung von Feuchteschäden und Schimmelpilzbelastung werden erwartet



Behaglichkeit	durch Temperierung der Wandbereiche soll Zugluft im Mittelschiff gemindert werden, damit Verbesserung der Behaglichkeit im Gestühl; körpernahe Heizung verringert allg. Kälteempfinden im Gestuhl
CO ₂ - Ersparnis	die Reduzierung der Heizleistung und Umstellung auf erneuerbare Energien verspricht ein CO ₂ -Einsparpotential von ca. 46 Tonnen CO ₂ pro Jahr oder 91%



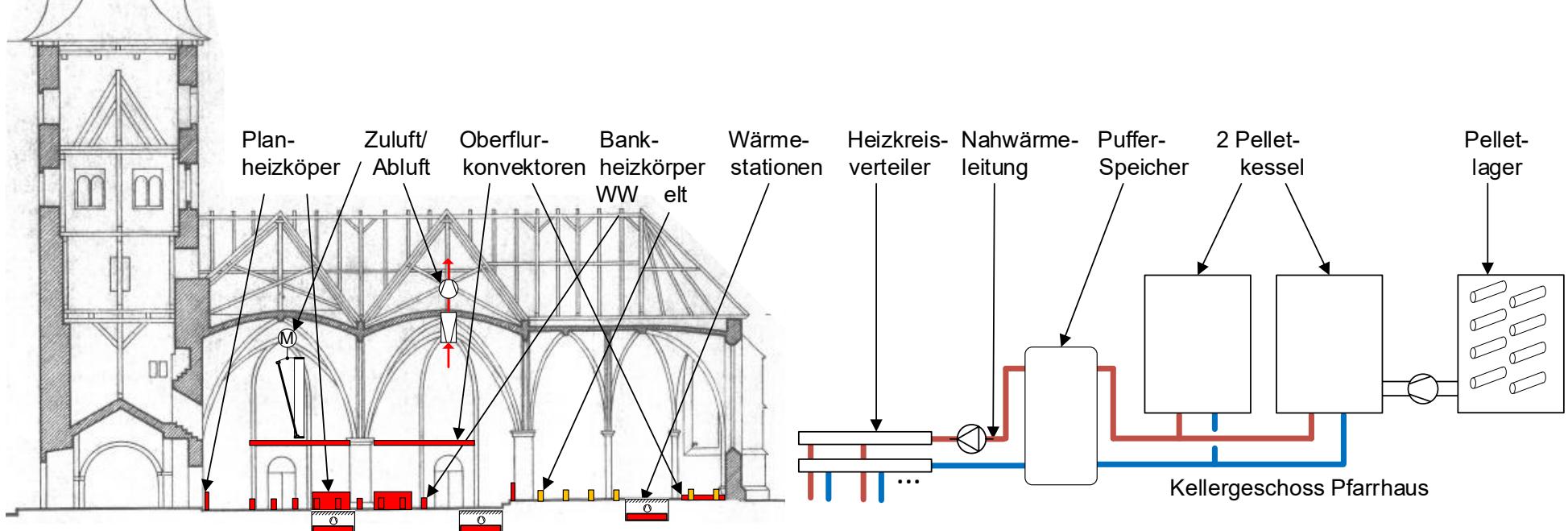
Fensterantrieb für autom. Lüftung



Gebäudeleittechnik (Kieback&Peter)



Pelletlager Big Bag



Raumklima nach der Maßnahme	
Zeitraum der Auswertung	01/2024 – 12/2024
Verletzung Gradient Temperatur > 1 K/h Kriterium A	geringfügig verschlechtert = 0,03
Grenzwertverletzung relative Feuchte > 70% Kriterium B _{pos}	im Winterhalbjahr wird Grenzwert überschritten, etwas verschlechtert = 2,28
Grenzwertverletzung relative Feuchte < 45% Kriterium B _{neg}	im Winterhalbjahr keine Verletzung Grenzwert rel. Feuchte, Verbesserung i. Vgl. zu vor der Maßnahme = 0
Fahrweise Gebäudetechnik	<ul style="list-style-type: none"> - Empfohlener Auf- und Abheizgradient von ± 1 K/h wird in I/2024 mäßig und in Einzelfällen deutlich überschritten - Grenzwert 70% relative Feuchte im Winterhalbjahr überschritten - Keine Feuchtevorrangschaltung - dynamische Abweichungen der rel. Feuchte von der historischen Variabilität gering und nochmals verbessert
Zustand der Orgel	
Klimabedingte Schäden	

Energieverbrauch nach der Maßnahme	
Heizenergieverbrauch (Hochrechnung/Heizperiode)	HEV = 60.942 kWh/a
spezifischer Heizenergieverbrauchskennwert (HEV _{spez} =HEV/Volumen)	HEV _{spez} = 12,58 kWh/(a·m ³)
relativer Heizenergieverbrauchskennwert (HEV _{spez} *100/Veranstaltungen pro Heizper.)	EVK _{rel} = 16,88 kWh/(a·m ³ ·n)
CO ₂ -Emission gesamt pro Jahr	2.194 kg/a
spez. CO ₂ -Emission (CO ₂ -Emission/Volumen)	0,45 kg/(a·m ³)
Bewertung	<ul style="list-style-type: none"> - lineare Hochrechnung des Verbrauches auf die Heizperiode - Klimabereinigung des Verbrauches auf das langjährige Mittel und auf die Klimaregion mittels Gradtagszahlen - hoher HEV_{spez} bei mittlerem Volumen des Kirchenraumes: 77% der Kirche mit dem max. Verbrauch 133% vom mittleren Verbrauch aller Kirchen - mittlerer EVK_{rel}, der die mittlere Nutzung im Jahr berücksichtigt: 85% der Kirche mit dem max. Verbrauch 142% vom mittleren Verbrauch aller Kirchen

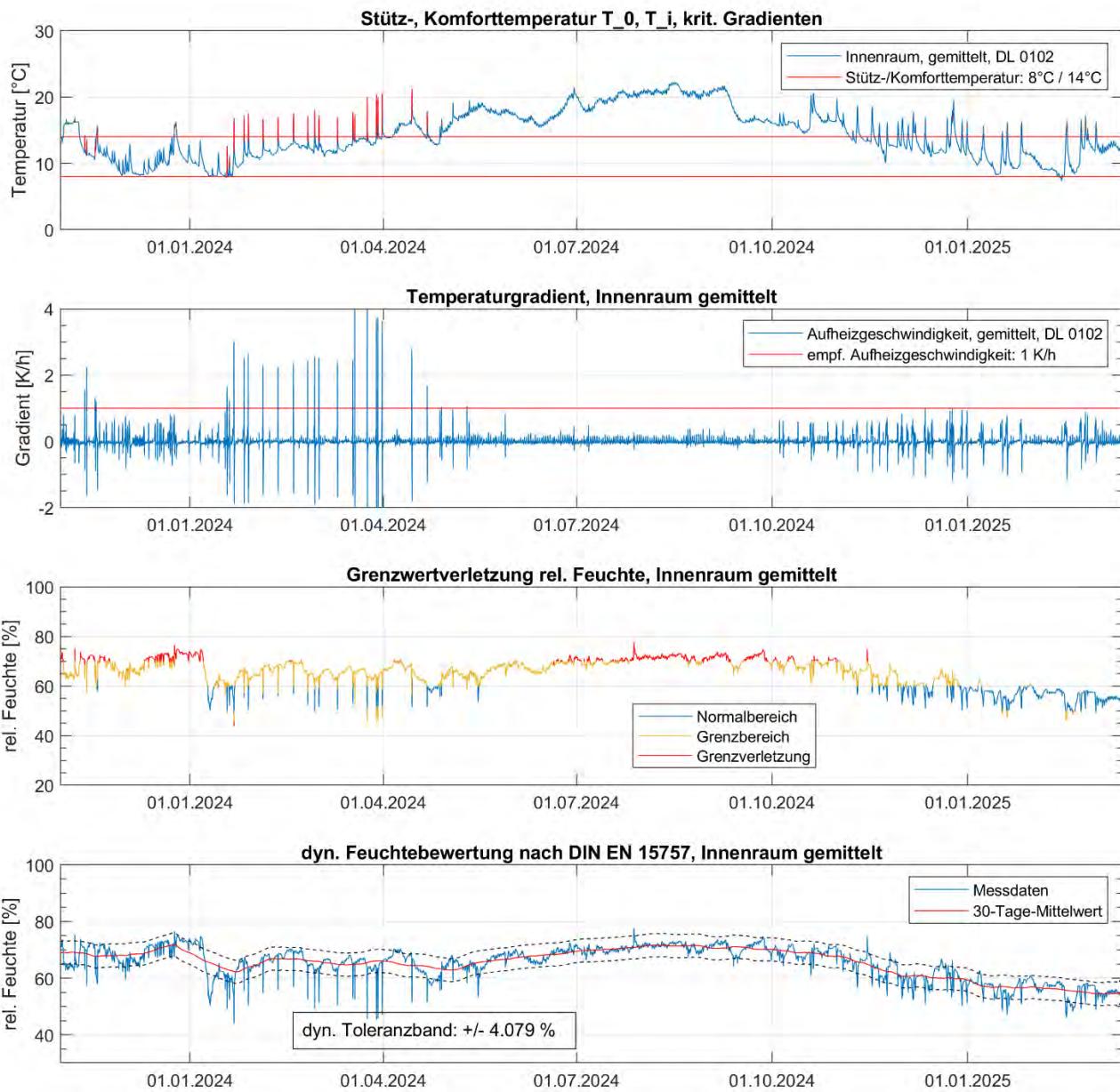
Sozialwissenschaftliches Monitoring nach der Maßnahme (gesamt 36 Befragte)	
Raumtemperatur	78% für „sehr angenehm“ mit entsprechender Kleidung (+ 6% vgl. zu 2022)
Wohlbehagen	65% fühlen sich wohl (- 5% vgl. zu 2022)
Luftqualität	83% für „genau richtig“ (- 11% vgl. zu 2022)
Zugluftempfinden	kalte Zugluft in oberen Bereichen (Chorraum) 50% geben Zugluft mit „oft“ an (+ 27% vgl. zu 2022)
Kälteempfinden	Im Chorraum für Posaunenchor zu kalt und es zieht 32% frieren „oft“ (- 8% vgl. zu 2022)
Unzufriedenheit mit Temperatur im Kirchenraum	17% sind (eher) unzufrieden mit der Temperatur im Kirchenraum (- 15% vgl. zu 2022)
Bewertung	Verbesserung der Temperierung und Zugluft in Teilen des Gebäudes. Weiterhin Verbesserungsbedarf im Chorraum

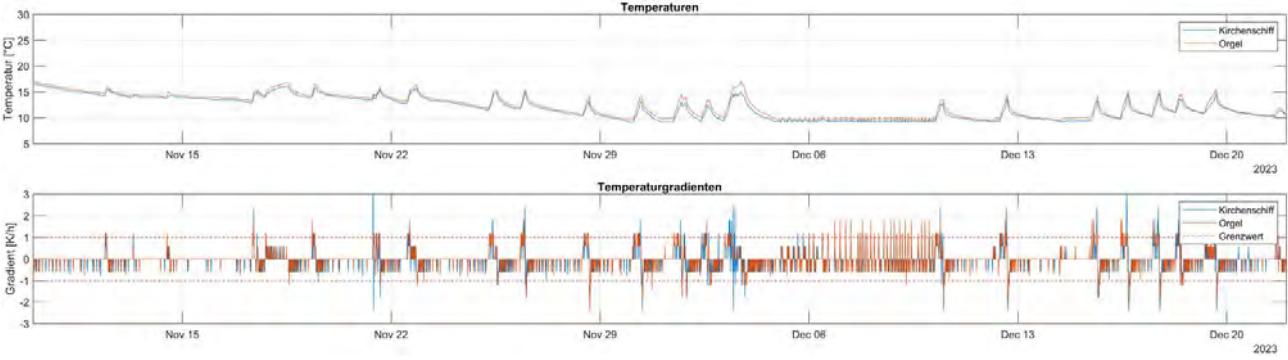
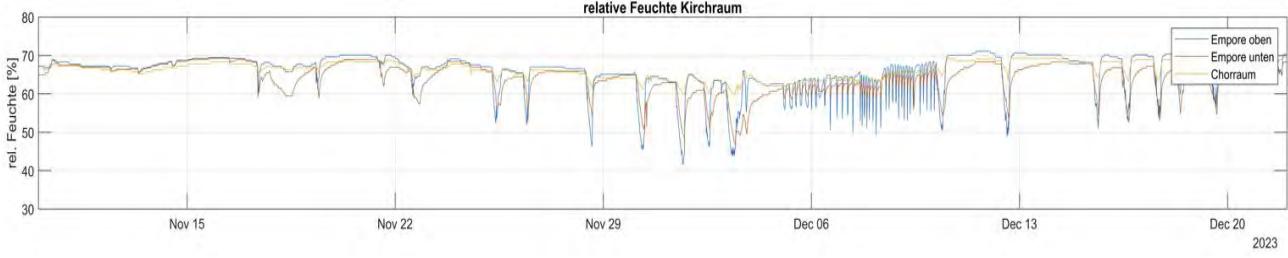
Beginn der Messdatenaufzeichnung:
Zeitraum der Baumaßnahmen:

10/2023
01.10.2022 bis 01.06.2023

Raumklima nach der Maßnahme von 01/2024 – 12/2024

Stadtkirche Horn

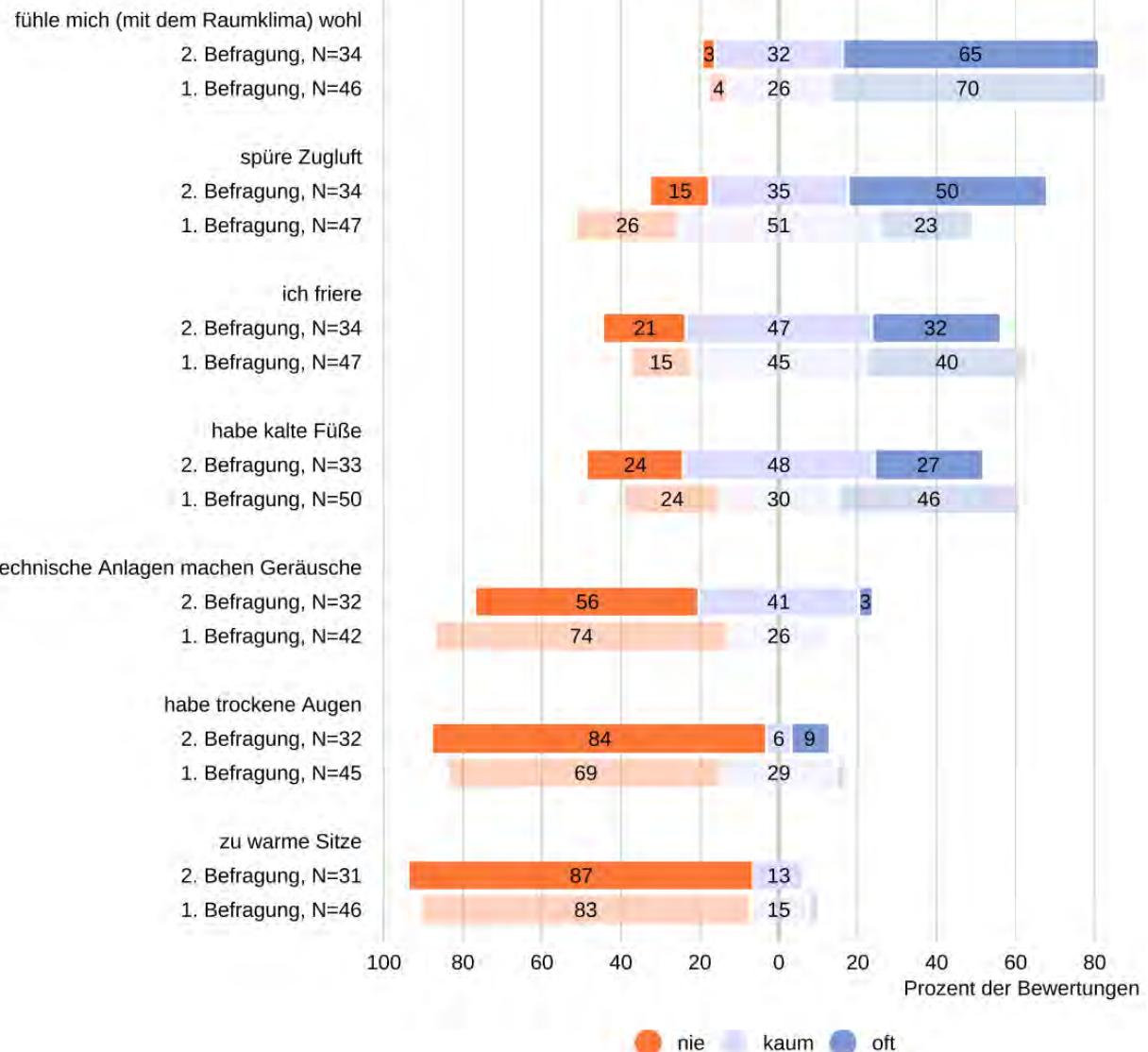


Beurteilung von GLT-Funktionen	
Änderungsgeschwindigkeit Raumtemperatur	geringe Überschreitung der max. Änderungsgeschwindigkeit von $\pm 1 \text{ K/h}$, insbesondere im Kirchenschiff
Regelung der Raumtemperatur	Sollwert für die Raumtemperatur in der GLT nicht vorhanden Sollwert für Nichtnutzung wird kaum erreicht, da die Kirche so schnell nicht auskühlt
	
Feuchtevorrangschaltung	relative Feuchte durchgängig $45\% < \varphi < 70\%$ Einhaltung der Feuchtegrenzen Gegensteuerung der Heizung ist nicht nachweisbar (keine Messdaten), Aktivierung der Heizung vmtl. nicht erforderlich
	
Lüftung	Keine Messdaten für die Lüftungssteuerung verfügbar, wie Fensterantriebe, Abluftventilator
Heizungsvorlauf	Keine Messdaten für die Heizung verfügbar

Energetische Bewertung		(a)	(b)	(c)
	vor der Maßnahme	Planung	nach der Maßnahme	
Heizenergieverbrauch HEV	251.949,0 kWh/a	167.538 kWh/a	60.942 kWh/a 24% von (a)	
Spezif. Heizenergieverbrauchs-kennwert (HEV _{spez} = HEV/Volumen)	52,0 kWh/a/m ³	34,6 kWh/a/m ³	12,58 kWh/a/m ³ 24% von (a)	
relativer Heizenergieverbrauchskennwert (HEV _{spez} *100/Veranstaltungen pro Heizperiode)	69,3 kWh/a/m ³ /n	46,4 kWh/a/m ³ /n	16,88 kWh/a/m ³ /n 24% von (a)	
CO ₂ -Emission gesamt pro Jahr (CO ₂ -Emissionsfaktor Pellets 0,036 tCO ₂ /MWh; (Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle)	50.894 kg/a	4.524 kg/a	2.194 kg/a 4,3% von (a)	
spez. CO ₂ -Emission (CO ₂ -Emission/Volumen)	10,5 kg/a/m ³	0,9 kg/a/m ³	0,45 kg/a/m ³ 4,3% von (a)	
Veranstaltungen n/Heizperiode	75			

Klimatischer Vergleich		Messzeitraum	Messzeitraum
Zeitraum der Auswertung		10/2021 – 09/2022	01/2024 – 12/2024
Bewertung Einhaltung Temperaturgradient	A	0,0003	0,03
	<ul style="list-style-type: none"> - Empfohlener Auf- und Abheizgradient von ± 1 K/h wird vor der Maßnahme unterschritten, danach geringfügig verschlechtert - Unterschiede resultieren von verschiedenen Messsystemen und Messorten 		
Bewertung Einhaltung oberer Feuchtegrenzwert	B _{pos}	0,2234	2,28
	<ul style="list-style-type: none"> - relative Feuchte im Winterhalbjahr wochenweise > 70%, verschlechtert - der höhere Wert ab 10/2023 resultiert aus dem extrem feuchten Herbst 2023 		
Bewertung Einhaltung unterer Feuchtegrenzwert	B _{neg}	1,2727	0
	<ul style="list-style-type: none"> - relative Feuchte im Winterhalbjahr nach der Maßnahme > 45% - Stabilisierung durch Fenstersteuerung und Feuchtevorrangsschaltung erklärbar 		

Behaglichkeit während des Aufenthaltes (Vergleich 2024 und 2022 in %)





2 Pelletkessel Pelletfire Plus



2 Pufferspeicher



Wärmestation



Bankheizkörper



Abluftführung durch Löcher im Gewölbe



Abluftventilator für den Chor