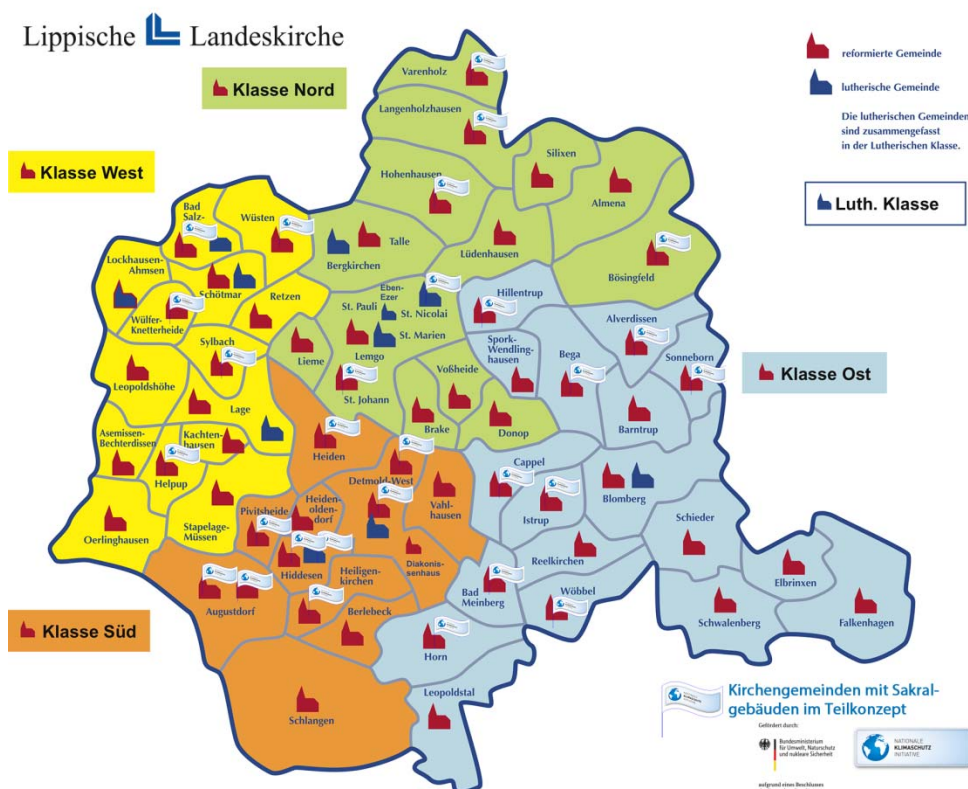


2. Klimaschutz-Teilkonzept für 34 Sakralgebäude der Lippischen Landeskirche 2018

Ergebnisse der Untersuchung des energetischen Zustandes und Sanierungsbedarfs
von 32 Kirchen und 2 Kapellen in 28 Gemeinden zwischen Januar und Juli 2018



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und nukleare Sicherheit

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Abkürzungen

BR	Bruchstein
BWK	Brennwert-Heizkessel
CO ₂	Kohlendioxid (Abgasbestandteil)
DAH	Dunstabzugshaube
Estr	Estrich
FD	Flachdach
FE	Fenster
FW	Fernwärme
HBL	Hohlblockleichtstein (1955-80)
HLZ	Hochlochziegel (1950-80)
HOAI	Honorarordnung f. Architekten + Ingenieure
ISO	Isolierglas (Thermopane 1965-90)
k.A.	keine Angabe
KBD	Kehlbalkendecke
KE-DE	Kellerdecke
KS	Kalksandstein
LD	Luftdichtheit
LHLZ	Leichthochlochziegel (ab etwa 1980, vgl. HLZ, VZ)
LSM	Luftschichtmauerwerk
NT	Niedertemperatur-Heizkessel (vgl. BWK)
n.v.	nicht vorhanden
PVC	Kunststofffenster
SD	Schrägdach
Sol	Thermische Solaranlage
SpK	Spezial-Heizkessel (vgl. NT, BWK)
VZ	Vollziegel (vor 1950, später HLZ, LHLZ))
WD	Wärmedämmung
WS-2	2-Scheiben-Wärmeschutzglas (1990 ff)
WS-3	3-Scheiben-Wärmeschutzglas (1990 ff)
WP	Wärmepumpe
WRG	Wärmerückgewinnung

Impressum

Erarbeitet im Auftrag der Lippischen Landeskirche von:

Dipl.-Pol. Klaus Michael
Niedrig-Energie-Institut Detmold
Sachsenstr. 27
D-32756 Detmold
Tel. 05231- 390 747
info@nei-dt.de / www.nei-dt.de

Fassung 17.07.2018

Inhalt

1	Einleitung	4
2	Vorgehen	4
3	Ergebnisse der Bestandsaufnahme	4
4	Sanierungsempfehlungen.....	13
4.1	Fußböden / Bodenplatten	13
4.2	Außenwände.....	13
4.3	Kirchenfenster.....	14
4.4	Dachbauteile.....	18
4.5	Heizanlagen.....	19
4.6	Lüftung und Luftdichtheit	20
5	CO ₂ -Einsparpotenziale	20
6	Befunde und Empfehlungen im Einzelnen	21

1 Einleitung

Die Lippische Landeskirche möchte Ihren Gemeinden Hilfestellung bei Maßnahmen zur CO₂-Einsparung geben. Dazu hat sie im Jahr 2018 zwei weitere Klimaschutz-Teilkonzepte über Möglichkeiten zur Verringerung der CO₂-Emissionen aus den Quellsektoren Gebäudeheizung und Stromverbrauch in gemeindlichen Gebäuden erarbeiten lassen. Das vorliegende 2. Klimaschutz-Teilkonzept über Sakralgebäude behandelt 32 Kirchen und 2 Kapellen in 29 Gemeinden. Parallel wurden im 3. Klimaschutz-Teilkonzept 69 Nicht-Sakralgebäude in 25 Gemeinden bearbeitet. Vorausgegangen war 2011-12 ein erstes Klimaschutz-Teilkonzept, in dem damals bereits 102 Gebäude untersucht wurden. Die Ausarbeitung erfolgt mit Förderung durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit im Rahmen der Klimaschutzinitiative der Bundesregierung.

2 Vorgehen

Die Untersuchung der Sakralgebäude erfolgte zwischen Januar und Juli 2018 durch empirische Gebäudeanalysen jedes Objekts vor Ort. Dabei wurden dessen energetisch relevante Komponenten durch Begehung und ggf. Planeinsicht vor Ort ermittelt, dokumentiert und in ihrer energetischen Qualität sowie ihrer Relevanz für den Energieverbrauch des Gebäudes bewertet. Weiterhin wurde geprüft, ob und ggf. welche Sanierungsmaßnahmen an den jeweiligen Gebäudekomponenten empfehlenswert sind, welche Effekte diese bringen würden und abgeschätzt, wie hoch der jeweilige Aufwand wäre. Abschließend wurde für jedes Gebäude eine Prioritätenliste erarbeitet, welche Maßnahmen mit welcher Priorität zur Verringerung der CO₂-Emissionen unter Abwägung aller bekannten Kriterien empfohlen werden. Dabei wurden, soweit möglich, auch die möglichen Kosten und Effekte vorgeschlagener Sanierungsmaßnahmen dargestellt. Die Berichte wurden für jedes einzelne Objekt erstellt, den Gemeinden übersandt und sind diesem Endbericht beigelegt. Die Landeskirche wird in den nächsten Jahren die Gemeinden bei der Umsetzung dieser Maßnahmen durch Beratung und Finanzierungshilfen begleiten.

Bei der Untersuchung der Sakralgebäude fielen zwei Problembereiche auf, die für viele Kirchen gemeinsam gelten. Dies sind die hohen Transmissions-Wärmeverluste über ungedämmte Gewölbekuppeln und über einfach verglaste Kirchenfenster. Für diese Problembereiche wurden separate Recherchen angestellt, deren Ergebnisse in Kapiteln 4.3 und 4.5 dargelegt sind.

In dem 2011-12 erstellten ersten Klimaschutz-Teilkonzept für damals 102 Gebäude war eine ausführliche statistische Auswertung der bei den verschiedenen Gebäudearten üblichen Konstruktionsmerkmale und Schwachstellen erfolgt. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse über Häufigkeiten, jeweilige Probleme und Lösungsmöglichkeiten haben sich bei den Untersuchungen im Rahmen des zweiten und dritten Klimaschutz-Teilkonzepts wesentlich bestätigt. Auf eine erneute detaillierte Darstellung wird daher hier verzichtet. Diese Erkenntnisse sind im 1. Teilkonzept nachlesbar. Im hiesigen Bericht sind nur die wesentlichen Gruppenergebnisse der Gebäude des 2. Teilkonzepts zusammengefasst und die ausführlichen objektbezogenen Einzelberichte beigelegt, die die Grundlage für die jetzt beginnende Umsetzungsarbeit darstellen.

3 Ergebnisse der Bestandsaufnahme

Die Vielfalt der untersuchten Kirchen und Kapellen zeigen die Fotos auf den folgenden fünf Seiten, auf denen die Kirchen nach Baujahren sortiert sind. Unter den Bildern sind jeweils die Orte und Kennwerte für den spezifischen Heizenergieverbrauch in kWh/m²*a und die spezifischen CO₂-Emissionen in kg/m²*a angegeben. Tabelle 1 auf Seite 10 gibt eine Übersicht über Baualter, Größe, Bauart, Heiztechnik, Energieverbrauch und CO₂-Emissionen der untersuchten 34 Sakralgebäude. Weitere statistische Auswertungen folgen ab Seite 11



Lemgo St.Johann, Bj.780/1799, 145 kWh/m²*a, 21 kg CO₂/m²*a



Heiligenkirchen, Bj. 990, (keine Daten)



Lemgo St.Nicolai, Bj.1180, 171 kWh/m²*a, 26 kg CO₂/m²*a



Bad Meinberg, 12.Jh., 150 kWh/m²*a, 35 kg CO₂/m²*a



Hohenhausen, Bj.1200, 212 kWh/m²*a, 58 kg CO₂/m²*a



Heiden, Bj.1380, 146 kWh/m²*a, 98 kg CO₂/m²*a



Sonneborn, Bj.1381, 71 kWh/m²*a, 18 kg CO₂/m²*a



Langenholzhausen, 14.Jh., 161 kWh/m²*a, 54 kg CO₂/m²*a



Horn, Bj.1481, 243 kWh/m²*a, 60 kg CO₂/m²*a



Detmold, Erlöserkirche, 16.Jh, 59 kWh/m²*a, 8 kg CO₂/m²*a



Wüsten, Bj.1621, keine Energie- und CO₂-Daten



Bösingfeld, 1633/1900, 64 kWh/m²*a, 26 kg CO₂/m²*a



Vahrenholz, Bj.1682, 125 kWh/m²*a, 40 kg CO₂/m²*a



Wöbbel, Bj. 1699, 58 kWh/m²*a, 34 kg CO₂/m²*a



Wöbbel-Belle, Bj. 1741, 69 kWh/m²*a, 20 kg CO₂/m²*a



Bad Salzuflen Stadtkirche, 1765, 123 kWh/m²*a, 38 kg CO₂/m²*a



Cappel, Bj.1828, 69 kWh/m²*a, 25 kg CO₂/m²*a



Alverdissen, Bj.1842, 171 kWh/m²*a, 47 kg CO₂/m²*a



Dörentrop-Bega, Bj.1864, 131 kWh/m²*a, 42 kg CO₂/m²*a



Augustdorf, 19.Jh, 338 kWh/m²*a, 110 kg CO₂/m²*a



Hillentrup, Bj.1900, (keine Daten)



Helpup, Bj.1906, 202 kWh/m²*a, 41 kg CO₂/m²*a



Detmold, Christuskirche, 1907, 266 kWh/m²*a, 92 kg CO₂/m²*a



Hiddesen, Bj.1951, 126 kWh/m²*a, 39 kg CO₂/m²*a



Istrup, Bj.1953, 59 kWh/m²*a, 21 kg CO₂/m²*a



Sylbach, Bj.1953, 106 kWh/m²*a, 71 kg CO₂/m²*a



Lemgo St.Johann, Bj.1953, 127 kWh/m²*a, 34 kg CO₂/m²*a



Leopoldstal, Bj.1956 (keine eigene Messung)



Augustdorf Militärkirche, Bj.1962 (keine eigene Messung)



Leopoldstal-Veldrom, Bj.1964, 43 kWh/m²*a, 44 kg CO₂/m²*a



Wöbbel-Billerbeck, Bj.1966, 94 kWh/m²*a, 35 kg CO₂/m²*a



Hiddesen, Bj.1966, (keine eigene Messung)



Detmold, Friedenskirche, Bj.1967, 285 kWh/m²*a, 3 kg CO₂/m²*a



Horn/Holzhausen, Bj.1971, 148 kWh/m²*a, 43 kg CO₂/m²*a

Nr	Gemeinde	Gebäude	Baujahr	NFI m²	Außenwände	Fenster	Dach	Heizung und Wärmeverteilung	kWh /a	kWh /m²*a	kg CO₂ /a	kg CO₂ /m²*a
1	Alverdissen	Kirche	1842	284	60 cm VZ	1-fach + Holz	KBD Holz, 3cm WD	Gas-NT, Konvektoren	48.488	171	13.374	47
2	Augustdorf (Mil.)	Kirche	1962	500	Beton/Klinker	1-fach+ Iso-außen	Beton-Holz, ? WD	Öl-NT, Deckenstrahler	k.A.		k.A.	
3	Augustdorf (ref.)	Alte Dorfkirche	19.Jh	240	Bruchstein	1-fach + Stein	KBD Holz, Lehm+10cm WD	Gas-NT, Warmluft	81.000	338	26.421	110
4	Bad Meinberg	Kirche	12.Jh (...) 1966	350	Bruchstein	2-fach + Holz	BS-Gewölbe, ohne WD	Gas-BWK, Warmluft	52.538	150	12.346	35
5	Bad Salzuflen	Stadtkirche	1765	400	Bruchstein	1-fach + Holz	KBD Holz, 14cm WD	Gas-SpK, Warmluft	49.000	123	15.323	38
6	Bega	Kirche	1864	410	Bruchstein	1-fach + Stahl	Holz-Gewölbe, Lehm-WD	Öl-SpK, Warmluft	53.600	131	17.190	42
7	Bösingfeld	Kirche	1633/1900/1962	600	Bruchstein/VZ	1-fach + Holz	KBD Holz, 20 cmLuft, 10cm WD	Gas-SpK, Warmluft	38.544	64	15.822	26
8	Cappel	Kirche	1828	434	Bruchstein	1-fach + Holz	KBD Holz, 20cm Zellulose	Gas-BWK, Warmluft	30.000	69	10.960	25
9	DT-Ost	Erlöserkirche	16. Jh	600	Bruchstein	1-fach + Stahl	BS-Gewölbe, ohne WD	FW, Warmluft + Rad	35.574	59	4.549	8
10	DT-Ost	Friedenskirche	1967	234	Sichtbeton	Iso-Glas Holz	Flachdach Holz 6-8 cm WD	FW, Konvektoren	66.577	285	797	3
11	DT-West	Christuskirche	1907/1983	690	VZ+Naturstein	1-fach + Stahl	VZ-Gewölbe, ohne WD	Öl-SpK, Dampf	183.440	266	63.631	92
12	Heiden	Kirche	1380	490	Bruchstein	1-fach + Stein	BS-Gewölbe, ohne WD	Gas-BWK, FBH, U-Konv	99.320	146	32.880	98
13	Heiligenkirchen	Kirche/Turm	990	246	Bruchstein	1-fach + Stahl	BS-Gewölbe, ohne WD	Elt-Sp, Warmluft	46.360	188	27.816	148
14	Helpup	Kirche	1906	450	Bruchstein	1-fach + Stahl	SD+KBD Holz, 12-20 cm WD	FW, Wand+FBH	90.900	202	18.308	41
15	Hiddesen (luth)	Kirche	1966	280	Beton/Klinker	1-fach+ Iso-außen	SD Holz, 14 cm WD	Gas-NT, Warmluft	---	---	---	---
16	Hiddesen (ref)	Kirche	1951	725	50 cm VZ	Iso-Glas + Stahl	KBD Holz, 20cm WD	Gas-BWK, Warmluft	91.390	126	28.398	39
17	Hillentrup	Kirche	1900	312	Bruchstein	1-fach + Stein	SD Holz, 2 cm WD	Öl-BWK, Konvektoren	100.000	321	34.070	109
18	Hohenhausen	Pauluskirche	1200	350	Bruchstein/VZ	1-fach + Holz	BS-Gewölbe, ohne WD	Gas-BWK, FBH, Warmluft	74.341	212	20.350	58
19	Horn	Kirche +Turm	1481	578	Bruchstein	1-fach + Stahl	BS-Gewölbe, ohne WD	Gas-NT, Konvektoren	140.400	243	34.709	60
20	Horn	Kirche Holzhausen	1971	207	KS, 5cm WD, KSV	Iso-/WS-Glas + Holz	SD Holz, 12cm WD	Gas-NT, Radiatoren	30.578	148	8.928	43
21	Istrup	Kirche	1953	257	Beton/Ziegel	1-fach+ Iso-außen	SD Holz, 12cm WD	Öl-SpK, Warmluft	15.070	59	5.403	21
22	Langenholzhausen	Kirche	14.Jh,1950/1970	373	Bruchstein	1-fach + Stahl	BS-Gewölbe, ohne WD	Öl-NT, FBH+Luft+Rad.	60.000	161	20.224	54
23	Lemgo St. Johann	Kirche	780/1799/1945	580	Bruchstein	1-fach + Stein	Holz-Gewölbe, 12cm	FW, FBH, Wandhgz	84.180	145	12.034	21
24	Lemgo St. Johann	Kapelle	1958	153	36 cm HBL	1-fach + Stahl + ISO innen	Holz-Gewölbe, 3 cm	4 Gasöfen	19.447	127	5.218	34
25	Lemgo St. Nicolai	Kirche	1180	1600	Bruchstein	1-fach + Stahl	BS-Gewölbe, ohne WD	FW, U-Konvektoren	185.932	116	18.965	12
26	Leopoldstal	Kirche Leopoldstal	1956	190	36-48 cm HLZ	2-S-WS, Holz	SD Holz, 14 cm WD	Öl-NT, FBH+Rad.	22.180	117	6.898	36
27	Leopoldstal	Kirche Veldrom	1964	206	36 HLZ+Klinker	1-fach / 2-fach + Holz	SD Holz, ca. 4cm WD	Elektrospeicher	17.000	83	10.200	124
28	Sonneborn	Kirche	1381	190	Bruchstein 1,5m	1-fach + Stahl / 1*Iso	BS-Gewölbe, ohne WD	Gas-BWK, Konvektoren	13.420	71	3.506	18
29	Sylbach	Kirche	1953	560	50 cm VZ	Holz+Iso / 1-fach+Iso	KBD Holz +31cm WD	Gas-BWK+Solar, FBH+W+Konv	79.633	106	21.117	71
30	Varenholz	Kirche	1682	200	Bruchstein	2-fach + Holz	KBD, 15cm Stoh-Lehm	Öl-NT, FBH+Umluft	25.000	125	8.075	40
31	Wöbbel	Kirche Wöbbel	1699	300	Bruchstein	1-fach + Stahl	BS-Gewölbe, ohne WD	Gas-BWK, Warmluft	28.561	58	8.349	34
32	Wöbbel	Kapelle Billerbeck	1966	130	30 cm HLZ	ISO-Glas/ 1-fach +Holz	SD Holz, ca. 8 cm WD	Öl-SpK, Radiatoren	30.000	94	9.953	35
33	Wöbbel	Kapelle Belle	1741	90	Fachwerk, VZ	Iso-Glas+Holz	KBD Holz, 12cm WD	2 Gasöfen	19.417	69	5.183	20
34	Wüsten	Kirche	1621	230	Bruchstein/VZ	1-fach + Holz	KBD Holz, 10cm WD	Gas-NT, Warmluft	---	---	---	---

Tabelle 1: Datenübersicht Kirchen und Kapellen

Tabelle 2 zeigt die Häufigkeit der vier wesentlichen Baualtersgruppen. Es dominieren Kirchen vor 1800 und aus 1951-67.

1801-1945	7
1951-67	10
nach 1967	1

Tabelle 2: Altersklassen

Tabelle 3 zeigt die Bauweise der tragenden Wände. Sie korreliert weitgehend mit den Baualtersgruppen. Bei Kirchen vor 1800 kommen fast nur Bruchsteinwände vor, lediglich eine kleinere Kapelle ist aus Fachwerk gebaut. In Kirchen des 19. Jahrhunderts und vor dem 2. Weltkrieg dominieren Vollziegel-Massivbauten, die teils verputzt, teils optisch mit Naturstein bekleidet sind. Die Nachkriegskirchen sind teils noch aus Vollziegeln, meist aber aus industriell gefertigten Hochlochziegeln, HBL-Steinen, Kalksandstein oder aus Sichtbeton.

Bruchstein	20
Vollziegel	4
Fachwerk	1
HLZ/HBL/KL+Kli	4
Beton/KS	5

Tabelle 3: Wandbauarten

Tabelle 4 zeigt die Häufigkeiten der Kirchenfenster. Sie haben zu großem Anteil nur Einfachverglasung, was zu hohen Wärmeverlusten sowie zu starken Kaltluftströmen unterhalb der Fenster während der Beheizung führt. Als Abhilfe gibt es äußere oder innere Vorsatzfenster, Umbauten zu Doppelverglasung oder moderne Mehrscheibenfenster mit unbeschichtetem Isolier- oder beschichtetem Wärmeschutzglas. Das Thema Kirchenfenster wird ausführlich in Kapitel 4.3 behandelt.

1-fach Holz	7
1-fach Stahl	9
1-fach Stein	4
mit Vorsatzfenster außen	3
mit Vorsatzfenster innen	1
mit Iso- oder WS-Glas	10

Tabelle 4: Kirchenfenster

Tabelle 5 zeigt die Häufigkeit der oberen Gebäudeabschlüsse. Bei sehr alten Kirchen kommen vor allem Bruchsteingewölbe vor, ab 1850 auch Ziegel- und Leichtbaugewölbe. Daneben gibt es viele Kirchen mit waagerechten Holzbalkendecken, wenige mit Holz-Schrägdächern direkt über dem Kirchenraum und nur eine mit Flachdach. Zur Dämmung von Gewölbedecken siehe Kapitel 4.4.

Bruchsteingewölbe	10
Ziegelgewölbe	1
Leichtbau-Gewölbe	3
Holzbalkendecke	11
Holz-Schrägdach	8
Flachdach	1

Tabelle 5: Obere Gebäudeabschlüsse

Tabellen 6 bis 8 zeigen die Häufigkeit der Heizanlagen, Kesselalter und Wärmeverteilungssysteme. Es ist die bei Bestandsgebäuden übliche Vielfalt an Wärmeerzeugern. Je nach Lage im städtischen, dörflichen oder außerörtlichen Bereich kommen Fernwärme, Gasheizungen, Ölheizungen, selten Elektro- und Pelletsheizungen vor. Nur eine Kirche hat eine thermische Solaranlage zur Unterstützung von Heizung und Warmwasserversorgung für Kirche und benachbartes Pfarrhaus. Bei mehreren Kirchen sind Umrüstungen auf Fernwärme, Biomasse oder von Öl immerhin auf CO₂-ärmeres Gas möglich.

Öl-ZH	9
Gas.ZH	16
Gas-Öfen	2
Elektrospeicher	2
Pellets/Hackschnitzel	0
Fernwärme	5
Solare Unterstützung	1

Tabelle 6: Wärmeerzeugung

Tabelle 7 zeigt die Häufigkeiten der Kesselbauarten. Die in Kirchen vorgefundenen Heizkessel sind meist nur mittlerer Qualität (NT); 4 Kirchen haben bereits Brennwertkessel (BWK), 6 haben noch ältere Spezialkessel (SpK), für welche Stilllegungspflichten nach EnEV gelten. Eine Kirche und eine Kapelle werden elektrisch beheizt. Sofern keine Umrüstung auf Fern- oder Nahwärme möglich ist, wird i.d.R. eine Umrüstung auf Brennwertkessel empfohlen. In Kirchen oder Kapellen mit Gas- oder Elektroöfen kommen als Ersatz auch Außenluft-Wärmepumpen in Frage.

Brennwertkessel	9
NT-Kessel	11
Spezialkessel	6

Tabelle 7: Kesselbauarten

Die Wärmeverteilung in den Kirchen erfolgt vielfältig, oft parallel mit mehreren Systemen zur Grundheizung und Aufheizung vor Veranstaltungen. Am häufigsten sind zentrale Warmluftsysteme, mit denen eine schnelle Lufterwärmung erfolgen kann, die aber in hohen Gebäuden wegen der Schichtung erst mit Verzögerung auf Nutzhöhe spürbar wird, gegenläufige Kaltluftströme unterhalb der Fenster fördert und bei undichten Gebäuden die Lüftungswärmeverluste erhöht. 8 Kirchen haben Fußbodenheizungen, die teils nur unter den Bankreihen eingebaut sind, dort wenig Streuverluste haben und besuchernah Wärme einbringen. Werden sie als Grundbeheizung genutzt und für die Aufheizphase mit flinken Wärmeverteilungssystemen kombiniert, ist damit eine verlustarme Heizperiode realisierbar. Einzelöfen kommen nur in kleinen Kapellen vor. Im Zentrum Detmolds gibt es noch eine ölgefeuerte Dampfheizung Bj. 1905, die hoffentlich bald durch Fernwärme und angepasste Heizflächen ersetzt wird.

Warmluft zentral	13
Warmluft-Konvektoren	8
Fußbodenheizung	8
Wandflächenheizung	2
Radiatoren	5
Deckenstrahler	1
Dampf	1
Einzelöfen	3

Tabelle 8: Wärmeverteilung

Das folgende Diagramm zeigt die spezifischen Heizwärmeverbräuche und resultierenden CO₂-Emissionen der untersuchten Sakralgebäude. Die blauen Balken zeigen den spezifischen Heizenergieverbrauch, die roten Balken die spezifischen CO₂-Emissionen im jeweils letzten Abrechnungsjahr 2016 oder 2017. Die Balkenreihe ist nach Höhe des Heizenergieverbrauchs sortiert.

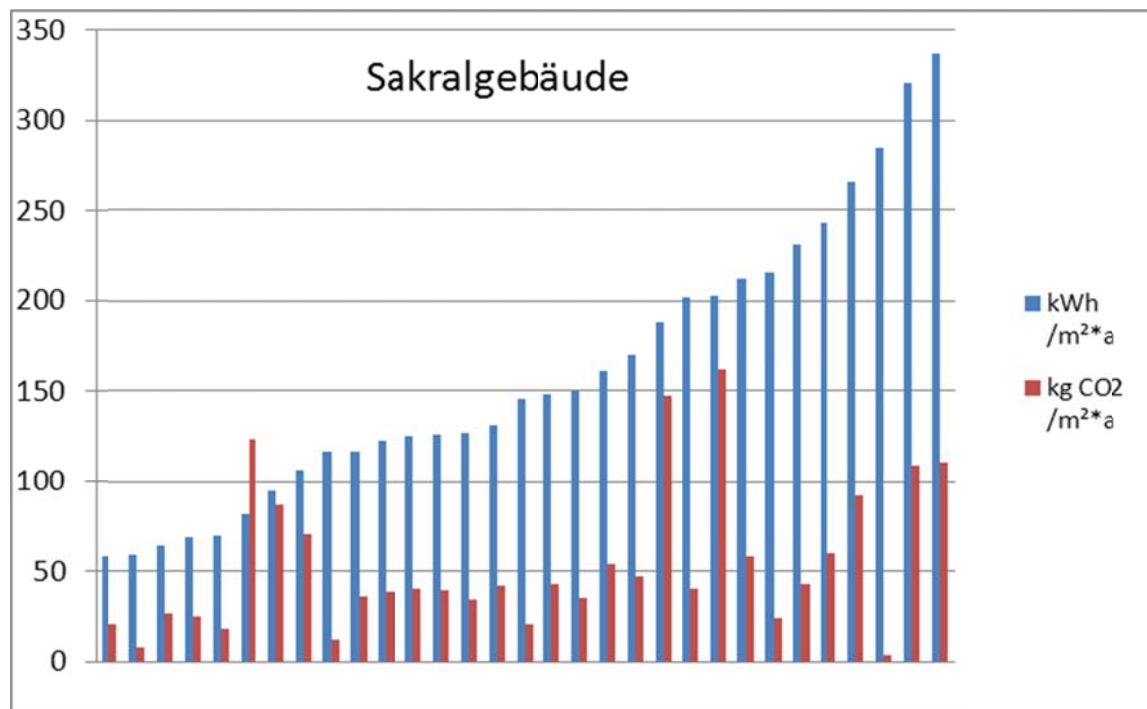


Diagramm 1: Spezifischer Heizenergieverbrauch und spezifische CO₂-Emissionen der untersuchten 34 Sakralgebäude

Die Werte des spezifischen Heizenergieverbrauchs liegen zwischen 59 und 338 kWh/m²*a. Sie unterscheiden sich um den Faktor 5,7. Dabei handelt es sich nicht um absolute Werte, die mit der Größe der Kirche korrelieren, sondern um von der Größe des Gebäudes unabhängige spezifische Werte pro Quadratmeter Nutzfläche. Die extrem weite Spreizung ist nicht ganz nachvollziehbar. Gründe mögen sein:

- die Nutzungsintensität (Beheizung nur einmal monatlich, 14-tägig, wöchentlich oder häufiger),
- die Temperaturniveaus der Absenk- und Nutzungsphase,
- die Art und Genauigkeit der Regelung und Bedienung
- die Wärmeverluste über die Gebäudehülle, Heizung, Lüftung und Heizanlage
- sowie bei Kirche mit sehr großen besonnten Fensterflächen die solaren Wärmegewinne

Besonders hohe Werte des spezifischen Heizwärmeverbrauchs von über 200 kWh/m²*a haben die Dorfkirche in Augustdorf (338), die Kirche in Hillentrup (321), die Friedenskirche in Detmold (288), die Christuskirche in Detmold (266), sowie die Kirchen in Horn (243), Helpup (202) und Hohenhausen (212). Zur Erläuterung siehe deren jeweilige Einzelberichte.

Die klimarelevanten spezifischen CO₂-Emissionen sind im obigen Diagramm mit roten Balken eingezeichnet. Sie schwanken zwischen 3 und 162 kg/m²*a, mithin um den Faktor 54. Die Spreizung resultiert aus den extrem niedrigen CO₂-Emissionen der Detmolder Fernwärme, welche tatsächlich CO₂-frei ist und aus hohen Werten von Kirchen mit intensiver konventioneller Beheizung mit Öl oder Gas und hohem Stromverbrauch.

Ein hoher Heizwärmeverbrauch verursacht stets hohe Betriebskosten, muss aber nicht zwingend mit hohen CO₂-Emissionen verbunden sein. Auch umgekehrt sind niedrige CO₂-Emissionen kein sicherer Hinweis auf niedrige Heizkosten, da auch saubere Wärme ihren Preis hat.

4 Sanierungsempfehlungen

Für jedes Sakralgebäude wurden nach der Bestandsanalyse individuelle Prioritätenempfehlungen für die energetische Sanierung gegeben und wurden deren Kosten sowie die damit mögliche Energie- und CO₂-Einsparung abgeschätzt. Diese Empfehlungen sind in den individuellen Beratungsberichten dargelegt, die diesem Endbericht als Anlagen beigefügt sind. Einbezogen wurden Maßnahmen an Bauteilen und Haustechnik-Komponenten mit besonders geringer energetischer Qualität, an denen hohe Einsparpotenziale bestehen, sofern eine Sanierung dieser Komponenten auf Grund der Randbedingungen überhaupt in Frage kommt. Daneben wurden auch Aspekte von Luftdichtheit und Lüftung qualitativ geprüft. Im Folgenden sind die wichtigsten Ergebnisse komponentenweise zusammengefasst.

4.1 Fußböden / Bodenplatten

Die meisten Kirchen haben ungedämmte oder nur sehr wenig gedämmte Fußböden bzw. Bodenplatten; meist mit Naturstein- oder Fliesenbelag. Wegen der geringen Grundbeheizung und der schweren Massen bleiben diese Böden auch in der kurzen Nutzungsphase nur 10-14°C warm, also fußkalt. In mehreren Kirchen sind unter den Sitzreihen unterlüftete Holzböden auf Lagerhölzern vorhanden, die zwar nicht wärmer sind, deren Holzoberfläche aber eine 80-90 % geringere Wärmeleitfähigkeit als ein Steinboden hat, so dass sie den aufstehenden Füßen deutlich weniger Wärme entziehen. Eine Kirche hat aus demselben Grund Teppiche auf dem Steinboden, die aber schwerer sauber zu halten sind. Im 8 Kirchen sind Fußbodenheizungen unter Steinböden oder Holzböden vorhanden, in einer wird der Holzboden mit Warmluft durchspült.

Eine Verbesserung der Wärmedämmung unter schweren Kirchenböden ist i.d.R. nur bei stärker beheizten Kirchen und bei Kirchen mit Fußbodenheizung sinnvoll. Bei seltener beheizten Kirchen ohne Fußbodenheizung besteht dagegen nur eine geringe Temperaturdifferenz zwischen Absenkttemperatur der Raumluft (11-13°C) und Erdreichtemperatur. Allerdings sind solche Fußböden fußkalt, besonders wenn sie im Bereich der Sitzbänke oder Stuhlreihen Steinböden haben, die dem aufstehenden Fuß rasch viel Wärme entziehen. Holzböden unter den Bankreihen reduzieren dieses Problem erheblich. Den höchsten Komfort erreicht man durch eine Fußbodenheizung, die aber nur für die Grundbeheizung auf die Absenkttemperatur ausgelegt werden. Für ein kurzzeitiges Hochheizen ist sie dagegen zu träge. Fußbodenheizungen bietet auch nur teilweise Abhilfe gegen die kalten Fallwinde unterhalb einfach verglasten Fenster und kalter schwerer Wände. Das Hochheizen der Kirche vor Veranstaltungen und der Fallwindschutz sollte parallel mit flinken Systemen erfolgen. Kalten Fallwinden kann mit aufsteigender Warmluft entgegen gewirkt werden oder mit besser gedämmten Fenstern.

Bei kleinen Kirchen mit ungedämmten Böden kann auch eine Außendämmung der Fundamente sinnvoll sein. Diese bewirkt, dass das Erdreich unter der Kirche im Winter nicht so stark auskühlt. Diese Auskühlung erfolgt durch horizontale Wärmeströme in Richtung zum winterkalten Außenboden hin, wogegen aus der Tiefe der Erde eher geringe Wärmemengen zuströmen. Das Abgraben von Kirchenfundamenten nur zur Montage einer Außendämmung wäre zu aufwändig. Werden aber aus anderem Grund Kirchenaußenwände oder Fundamente außenseitig ganz oder teilweise abgegraben, sollte vor dem Wiederanschütten des Erdreichs stets eine Perimeterdämmplatte vorgestellt werden.

4.2 Außenwände

Bei den untersuchten Kirchen kommt eine Vielfalt von Wandbauarten vor (siehe Tabelle 3 auf Seite 11), deren Besonderheiten hier nicht sämtlich behandelt werden können. Bei der größten Gruppe der historischen Kirchen mit sehr dicken Bruchstein- oder Vollziegelwänden sind Dämmungen gestalterisch oft nicht möglich, zudem sind die U-Werte - bezogen auf die niedrige mittlere Innentemperatur - auch nicht überhöht. Das wesentliche Problem dieser Wände ist nicht ihr Wärmeabfluss nach außen, sondern die bei nur gelegentlicher Beheizung im Winter unangenehm kalt bleibende Innenoberfläche. Diese resultiert aus der schweren Masse der Wände, die bei langer Heizabsenkdauer und nur kurzzeitiger Aufheizung kaum wärmer als die Absenkttemperatur wird. Einige Kirchen mit derart schweren Wänden kompensieren diesen Komfortmangel mit einer in den Innenputz eingebetteten Wandflächenheizung, die aber träge ist und zudem die Wärmeverluste nach außen erhöht. Andere Kirchen haben vor den schweren Wänden und neben den Sitzreihen Warmluftkonvektoren, die vor den kalten Wänden während der Nutzung Warmluftschleier aufsteigen lassen und damit relativ flink die Strahlungskäl-

te reduzieren. Ideal für nur temporär wärmer benötigte Innenoberflächen wären sehr leichte und von den schweren Wänden durch Luftschicht oder Dämmung entkoppelte Innenoberflächen, die sich unabhängig von der schweren Mauer rasch innerlich erwärmen können oder sogar selbst kurzzeitig temperiert werden, wie z.B. auf Dämmplatten in Dünnputz aufkaschierte Elektroheizmatten im Höhenbereich von 0,4 - 1,4 m. Solche Systeme wurden aber nicht vorgefunden. Leicht temperierte Oberflächen könnten auch nur das Strahlungskälte-Problem lösen, nicht aber die Fallwind-Problematik.

Die Außenwände der untersuchten Nachkriegs-Kirchen sind überwiegend schlanker, also masseärmer. Sie haben raumseitig aber mindestens 24 cm starke schwere Mauerschalen oder Betonwände ohne oder mit nur wenig Dämmung. Hier spielen die laufenden Transmissionswärmeverluste eine größere Rolle, so dass eine nachträgliche Dämmung oft in Frage kommt. Der Aspekt der kalten Innenoberflächen bei nur temporärem Hochheizen ist gleich wie bei den Kirchen mit dickeren Wänden, da sich auch 24 cm dicke und abgekühlte Mauern bei nur kurzen Heizphasen innerlich kaum erwärmen. Insofern kommen auch hier eher Innendämmungen oder leichte Innenbekleidung als Außendämmungen in Frage.

4.3 Kirchenfenster

In 18 der 34 Kirchen und Kapellen sind die meisten Fenster nur einfach verglast (vgl. Tabelle 4 auf Seite 11) und verursachen sowohl hohe Wärmeverluste nach außen als auch störende kalte Fallwinde im Inneren während der Nutzung bei erwärmter Innenluft. Mehrere Kirchen haben als Abhilfe innere oder äußere Vorsatzfenster montiert oder frühere einfache Farbverglasungen nachträglich in Mehrscheiben-Isolierglas einbetten lassen. Damit konnte der U-Wert von vorher i.d.R. über 5 W/m²K auf Werte zwischen 3,0 und 1,5 W/m²K verringert werden. Beim heutigen Stand der Technik sind Kirchenverglasungen möglich, die außenseitig durch ESG- oder VGG-Scheiben einen sehr hohen Wetter- und Zerstörungsschutz bieten, mittig historische Gliederungen und Gläser in geschützter Einbaulage enthalten und raumseitig eine dichte und entspiegelte Scheibe mit Infrarot reflektierender Beschichtung haben, so dass die Gliederungselemente der Buntverglasung bestmöglich sichtbar und zugleich Wärmeverluste minimiert bleiben. Zudem sind sie leichter zu reinigen.

Im Folgenden werden aus den untersuchten Objekten Beispiele solcher sicherheits- und wärmetechnisch verbesserter Kirchenfenster beschrieben. In Kapiteln 4.3.10 und 4.3.11 werden zwei Sanierungsvarianten beschreiben, die noch in Planung sind und unkonventionelle Ansätze enthalten.

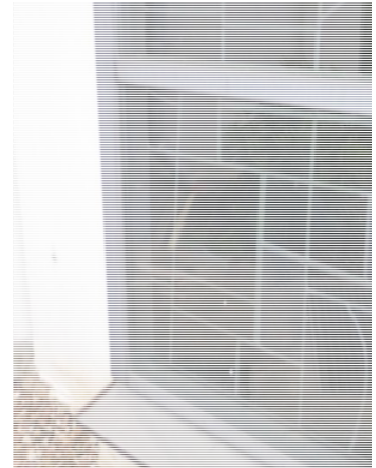
4.3.1. Militärkirche Augustdorf

Die 1962 gebaute Militärkirche hatte ursprünglich nur großformatige Einfach-Bleiglasfenster in Stahlrahmen, die sich als kalt und wenig widerstandsfähig gegen Wind und Vandalismus erwiesen. Nachgerüstet wurden großformatige Außenfenster mit Starkverglasung in Stahlflügeln und separatem vorgestelltem Stahlgestell, die zu Reinigungszwecken nach außen geöffnet werden können. Da sie hinterlüftet und nicht Infrarot reflektierend beschichtet sind, bewirken sie leider nur eine geringe Verbesserung des Wärmeschutzes. Der U-Wert beträgt knapp unter 5 W/m²K. Gestalterisch wirken sie wegen angepasster Proportionen nicht störend, die Sicherheitsfunktion wird voll erfüllt.



4.3.2. Ev.-luth. Sankt-Michael-Kirche in Detmold-Hiddesen

Die 1966 gebaute St. Michael-Kirche in Detmold-Hiddesen hat mehrere große Glasfensterfronten. Diese bestehen aus einer tragenden Stahlrahmenkonstruktion mit etwa 10 cm Tiefe, an der innenseitig die farbige Bleiverglasung und außenseitig eine Vorsatzscheibe aus 2-Scheiben-Isolierglas befestigt sind. Die Flügel sind nicht zu öffnen. Die Wärmedämmwirkung ist relativ gut. Der U-Wert dürfte um $2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ betragen. Leider bilden die durchgehenden Stahlprofile starke Wärmebrücken.



4.3.3. Ev.-ref. Kirche in Detmold-Hiddesen

Die ev.-ref. Kirche in Detmold Hiddesen, Bj. 1951 hat hinter dem Altar ein von Kunststeinstreben unterteiltes Fensterband sowie einzelne kleinere Fenster. Ursprünglich war überall nur eine einfache Bleiverglasung eingebaut. Die Fenster hatten einen U-Wert um $5 \text{ W/m}^2\text{K}$ und waren kalt. Sie wurden im Jahr 2014 durch 2-Scheiben-Isolierverglasungen in filigranen Stahlrahmen ersetzt, deren innere Scheibe die alten Buntgasfenster sind. Der U-Wert dieser Fenster beträgt jetzt um $3 \text{ W/m}^2\text{K}$, sie sind zugleich robuster und pflegeleichter und bieten besseren Schallschutz. Hätte man außenseitig eine Scheibe mit Infrarot reflektierender Beschichtung eingesetzt, wären U-Werte unter $1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ möglich gewesen.



4.3.4. Ev.-ref. Kirche in Istrup

Die ev.-ref. Kirche in Istrup, Bj. 1952 mit weißer Putzfassade hatte ursprünglich weiße Holzfenster mit einfacher Bleiverglasung und U-Wert um $5 \text{ W/m}^2\text{K}$. Zur Reduzierung der Wärmeverluste wurden außenseitig weiße Kunststoffenster mit 2-Scheiben-isolierglas vorgebaut, die mit Sprossen in vier Felder geteilt wurden. Der U-Wert konnte damit auf etwa $2 \text{ W/m}^2\text{K}$ gesenkt werden. Mit 2-Scheiben-Wärmeschutzglas hätte er auf unter $1 \text{ W/m}^2\text{K}$ gesenkt werden können.



4.3.5. Ev.-ref. Kapelle Horn-Holzhausen

Die Kapelle in Horn-Holzhausen, Bj. 1958 hat mehrere je ca. 4 m² große Fenster mit Beton-Zwischenstreben und einfacher farbiger Bleiverglasung. Der U-Wert betrug um 5 W/m²K. Hier wurden innenseitig einflügelige großflächige Vorsatzfenster mit Isolierverglasung davor gebaut, die oben angeschlagen sind und zu Wartungszwecken unten vorgeklappt werden können. Der Wärmedurchgang wurde dadurch um etwa 60 % reduziert. Der neue U-Wert beträgt ca. 2 W/m²K. mit beschichtetem 2-Scheiben-Wärmeschutzglas betrüge er nur 0,9 W/m²K.



4.3.6. Ev.-ref. Kirche in Sylbach

Die Kirche in Sylbach hat hinter dem Altar ein großes Fensterband mit vertikaler Unterteilung durch Betonstreben und ursprünglich nur einfacher Buntverglasung. Zur Verringerung des Wärmedurchgangs wurde ein in 10 Flügel gegliedertes Außenfenster aus Kunststoff mit Isolierverglasung vorgesetzt, dessen Flügel zu Wartungszwecken nach außen geöffnet werden können. Diese Konstruktion war recht preiswert und ist wirkungsvoll. Der U-Wert wurde von 5 W/m²K auf etwa 2 W/m²K verringert, bei beschichtetem Glas betrüge er unter 1 W/m²K.



In mehrere kleinere Kirchenfenster, die früher auch aus Einfachglas hergestellt waren, wurden neue Holzfenster mit 2-Scheiben-Isolierglas eingebaut, die außen aus großformatigen Klarglas- und innen aus den alten Buntglasscheiben bestehen. Der U-Wert wurde damit von vorher 5 W/m²K auf etwa 3 W/m²K verringert. Mit einer beschichteten Außenscheibe wäre ein U-Wert unter 2 möglich gewesen.



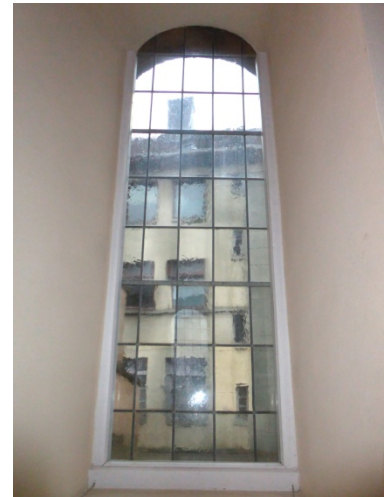
4.3.7. Ev.-ref. Schlosskirche Varenholz

Die 1682 gebaute Schlosskirche in Varenholz hatte ursprünglich nur Holz-Einfachfenster, die außenbündig in die über 1 m starken Bruchsteinwände montiert sind. Nachträglich wurden Innenflügel montiert, so dass Kastenfenster entstanden. Der U-Wert wurde damit von 5 auf etwa 3 W/m²K reduziert; wären die inneren Vorsatzfenster statt mit Einfachglas mit Wärmeschutzglas ausgeführt worden, wäre der U-Wert auf 0,9 W/m²K verringert worden. Durch den geringen Schlagregenschutz der Außenfenster und die Undichtheit der Innenflügel sowie fehlende Wasserabläufe kommt es im Zwischenraum teils zu Feuchteproblemen.



4.3.8 Ev.-ref. Kirche in Bösingfeld

In der Bösingfelder Kirche wurde im Chorraum, wo die Kaltluftströme als besonders unangenehm empfunden worden waren, innen vor das bunte Bleiglasfenster eine fest eingebaute Vorsatzscheibe mit Holzrahmen montiert., die deren U-Wert von vorher um 5 W/m^2 auf jetzt unter $3 \text{ W/m}^2\text{K}$ verringert. Durch das große Glasformat fällt dies optisch kaum auf. Diese Nachrüstung wäre auch an den anderen Fenstern möglich. Bei Ausrüstung mit einer infrarot reflektierendem Einfachglas könnte ein U-Wert von 1,8, bei Ausrüstung mit 2-Scheiben-Wärmeschutzglas ein U-Wert von unter $1 \text{ W/m}^2\text{K}$ erreicht werden.

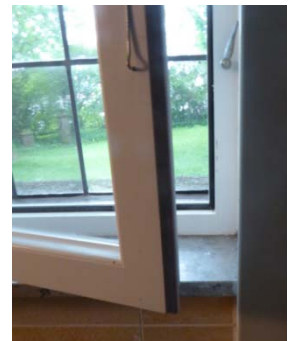


4.3.9. Ev.-ref. Kirche in Bad Meinberg

In der aus dem 12.Jh. stammenden Kirche in Bad Meinberg wurden mehrere Arten der energetischen Verbesserung von Fenstern realisiert.



An kleineren Fenstern mit Buntverglasung in den Nebenräumen und im Treppenhaus wurden innenseitig komplette Vorsatzfenster mit Wärmeschutzglas montiert (Bild rechts). Ihr U-Wert beträgt etwa $0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$.



An größeren und unterteilten Holzfenstern mit einfacher Buntverglasung wurden innenseitig auf die Holzrahmen lose Vorsatzscheiben mit Dichtungen montiert, die nur von

kleinen Drehknäufen gehalten werden und abnehmbar sind. Die aus ESG gefertigten, entgrateten und mit infrarot reflektierender Beschichtung lieferbaren Vorsatzscheiben sind so filigran, dass sie kaum wahrgenommen werden. Sie reduzieren den U-Wert von vorher $5 \text{ W/m}^2\text{K}$ auf 3 (ohne Beschichtung) oder auf $1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ (mit Beschichtung). Zur luftdichten Montage benötigen sie an allen vier Seiten einen glatten Untergrund, auf den die dünne Dichtlippe aufgeklebt werden kann. Als Glashalter gibt es alternativ zu Drehknäufen auch Klappbeschläge, was die Reinigung im Zwischenraum erleichtert.

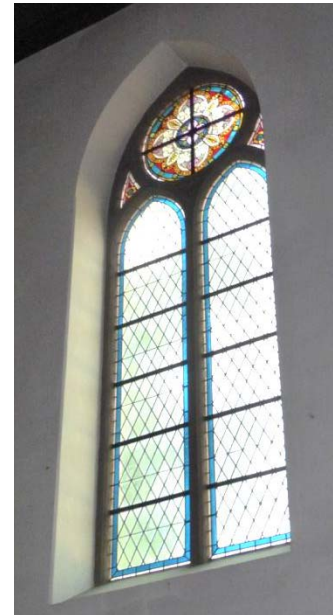


4.3.10. Ev.-ref. Erlöserkirche in Detmold (Marktplatz)

Die im 16.Jh. entstandene Detmolder Erlöserkirche hat groß- und kleinformartige Fenster mit farbiger Bleiverglasung in Steineinfassungen. Da sie am Marktplatz liegt, kommt es gelegentlich zu Beschädigungen durch Vandalismus. Erwogen wird, vor die bodennahen Fenster vor allem im wenig einsehbaren hinteren Bereich eine äußere Schutzverglasung zu montieren. Ob sie fest eingebaut oder hinterlüftet vorgebaut wird, ist noch nicht entschieden. Hinterlüftete äußere Schutzverglasungen bewirken energetisch normalerweise kaum etwas, da sie lediglich die äußere Windgeschwindigkeit am Fenster verringern. Erprobt werden soll hier an zunächst einem Fenster, welchen Effekte eine Ausrüstung der äußeren Vorsatzscheibe mit Infrarot reflektierender Beschichtung bewirkt. Ein erheblicher Anteil der Gesamt-Wärmeverluste einfach verglaster Fenster besteht ja darin, dass vom beheizten Raum ausgehende Infrarot-Wärmestrahlung durch das Glas nach außen gelangt. Eine beschichtete Vorsatzscheibe kann erhebliche Anteile dieser Wärmeabstrahlung durch die alte Kirchenscheibe wieder zurück in die Kirche reflektieren.

4.3.11 Ev.-ref. Kirche in Hillentrup

Die um 1900 gebaute Kirche in Hillentrup hat großformatige Bleiglasfenster in Steineinfassungen mit Rosetten, unter denen bei Beheizung der Kirche früher starke Kaltluft-Fallwinde entstanden, weshalb längs der gesamten Brüstung Warmluftkonvektoren montiert wurden. Da diese aber durch die Staubaufwirbelung die weißen Wände verschmutzen, wird derzeit überlegt, im Rahmen einer auch aus anderem Grund gewünschten Bodenerneuerung unter den Bänken Fußbodenheizungen einzubauen und die kalten Fallwinde anders zu verhindern. Dazu wird erwogen, in der unteren Hälfte oder den unteren 2/3 der Fensternischen eine Klarglasscheibe vorzustellen, die einen Auffang-Hohlraum für die Fallwinde bildet, der von einer kleinen Heizung so erwärmt wird, dass die einströmende Kaltluft nicht nach innen überläuft. Diese Vorrichtung soll nur die störenden Fallwinde während der Gottesdienste oder Konzerte verhindern, für die Gesamt-Energetik wären sie unerheblich. Sofern die Vorsatzscheibe Infrarot reflektierend beschichtet wird, kann sie aber auch außerhalb der Aufheizzeit einen Nutzen stiften, weil sie die Wärmeabstrahlung nach außen reduziert.



Die Beispiele zeigen, dass an eher schlichten und rechteckigen Fenstern relativ leicht wärmetechnische Verbesserungen möglich sind, die sowohl die gesamten Wärmeverluste reduzieren, als auch als Nebennutzen die Sicherheit, den Schallschutz und die Pflegemöglichkeiten verbessern. Für historische Fenster in Holzrahmen gibt es vielfach bewährte Sanierungsmöglichkeiten durch Vorsatzgläser oder -flügel. Diese sind grundsätzlich auch bei den historischen Bleiglasfenstern in Stahl- bzw. Steineinfassungen möglich und außen- wie innenseitig. Bei der Entscheidung, ob außen- oder innenseitig, muss abgewogen werden, ob im Einzelfall Sicherheit und Witterungsschutz oder möglichst geringe optische Veränderung der äußeren oder inneren Ansicht vorrangig sind. Zudem müssen passende Vorkehrungen für den Feuchteschutz im Zwischenraum und für die Reinigungsfähigkeit bedacht werden.

4.4 Dachbauteile

In allen 11 Kirchen mit Holzbalkendecken unter unbeheizten Dachräumen sind bereits Dämmschichten zwischen 10 und 31 cm Dicke eingebaut, da solche Decken die am leichtesten dämmbaren Bauteile sind. Werden Kirchen viel beheizt, sind sogar noch dickere Dämmungen sinnvoll.

Bei Kirchen mit Flachdächern oder thermisch trennenden Schrägdächern direkt über dem beheizten Kirchenraum bietet sich die Möglichkeit zum erstmaligen Einbau oder zur Verstärkung einer Dämmschicht, wenn die Dächer innen- oder außenseitig ohnehin geöffnet werden, also neu eingedeckt oder innen neu bekleidet. Da die Sparren- oder Balkenhöhe meist höher ist als die historische Dämmschicht, sind nachträgliche Vollsparrendämmungen bei Neueindeckungen stets ohne großen Aufwand machbar und empfehlenswert, höhere Aufbauten nur bei häufig beheizten Kirchen. Früher nötig gewesene Luftschichten können bei feuchtetechnisch korrektem Aufbau einer Vollsparrendämmung mit innenseitiger Luftdichtung und Dampfbremse und außenseitig diffusionsoffenem Unterdach entfallen.

Am interessantesten sind die 14 Kirchen mit massiven oder Leichtbaugewölben unter unbeheizten Dachräumen. Nur drei davon mit Holzgewölben, haben darüber mäßig gute Dämmschichten, die Massivgewölbe sind sämtlich ungedämmt. In der Pauluskirche in Hohenhausen waren die massiven Gewölbekuppeln früher mit aluminiumkaschierter Mineralwolle überdämmt worden, wobei die Aluminiumschicht aber irrtümlich nach oben zeigend eingebaut wurde, weshalb es darunter feucht wurde. Wäre eine Dämmung mit nach unten gerichteter oder besser ganz ohne Aluminiumfolie eingebaut worden, wäre dies nicht passiert. Die Dämmung wurde dann leider wieder komplett ausgebaut, obwohl es zur Austrocknung genügt hätte, die Aluminiumfolie zu perforieren oder aufzuschneiden.

Eine nachträgliche Dämmung massiver Gewölbekuppeln scheint besonders bei Kirchen mit Luftheizungen grundsätzlich sinnvoll, wobei mehrere Aspekte zu berücksichtigen sind:

- in vielen Kirchen werden die Kuppeln begangen, wenn Dachreparaturen nötig sind. Wird auf den Kuppeln empfindlicher Dämmstoff verlegt, kann dieser den Wartungszugang behindern oder würde im Lauf der Zeit beschädigt. Ist dies nicht erwünscht, müssen zusätzliche Stege oberhalb der Dämmung gebaut werden.

- sind Kirchendächern z.B. wg. erhaltenswerter historischer Steindeckung des Schrägdachs ohne ein Wasser abführendes Unterdach gebaut und undicht gegen Gischtschnee, muss die Dämmung dagegen unempfindlich sein. Sie darf auch nicht zum Nässe-Schwamm werden, dessen aufgesaugte Nässe nach Beregnung nur erschwert wieder abtrocknet und dadurch verstärkt in die Kuppeln einziehen könnte. Dieses Problem besteht nicht, wenn die Dacheindeckung sicher dicht ist, was auch aus anderen Gründen empfehlenswert ist.
- hausen in den Dachräumen über Kirchenkuppeln viele Fledermäuse oder Vögel, kann es zu erheblichen Verschmutzungen kommen. Ein problematisches Beispiel hierfür ist die Kirche in Hillenbrunn mit sehr großer Fledermaus-Kolonie (siehe Einzelbericht 17).
- die Dämmung muss praktisch einbaubar sein und danach an den steilen Neigungen der Gewölbekuppeln haften und darf nicht abrutschen.
- die Dämmung darf nicht so schwer sein, dass sie statische Probleme verursacht,
- die Dämmung darf das Brandrisiko nicht erhöhen
- die Dämmung soll eine sehr lange Nutzungsdauer haben
- die Dämmung soll später keine Entsorgungsprobleme machen.

In Frage kommen demnach vor allem mineralische oder anderweitig inerte Stoffe, die mit Bindemitteln soweit verbunden werden, dass sie eine zusammenhängende Schicht bilden, nicht zerbröseln und nicht abrutschen. Diese Anforderung an den reinen Dämmstoff erfüllen z.B. natürliche oder technisch hergestellte stark poröse Mineralien wie Perlite, Schaumglas und Blähton oder auch Mineralwollen auf Basis von Basalt (Steinwolle) oder Altglas (Glaswolle). Auch Zellulosedämmung auf Basis von imprägniertem Altpapier ist denkbar, ist aber stärker gegen Feuchte empfindlich, und kommt daher nur unter sicher regendichten Dächern in Frage. Bei rieselfähigen Schütt- oder Aufblasdämmstoffen hängt die Anwendbarkeit auf Kuppeln wesentlich von den Bindemitteln ab. Klassische mineralische Mörtel oder Kleber sind als Bindemittel für feinkörnige Dämmungen sehr dauerhaft, aber schwer und reduzieren den Dämmwert ganz erheblich. Einhausungen ungestörter Dämmschichten durch äußere Abdeckung sind praktisch kaum nachträglich herstellbar. Für Mineralwolle und Zellulose gibt es auf Wasser, Glas, Wasser oder Klebstoffen basierende Bindemittel, die bewährt sind.

Beispiele realisierter Gewölbekuppeldämmungen sind die Kreuzkirche in Dresden, bei der 1993 eine 15 cm starke Mineralwoll-Dämmung mit Bindemittel auf ein Betonrippengewölbe aufgeblasen wurde und die Thomaskirche in Leipzig, bei der eine Zellulosedämmung aufgeblasen wurde. Vgl. hierzu separaten Bericht über deren Langzeiterfahrung.

4.5 Heizanlagen

Bei der Beurteilung der Heizanlagen standen drei Aspekte im Vordergrund:

- die Effizienz des reinen Wärmeerzeugers,
- die Effizienz der Wärmeverteilung und Regelung und
- die spezifischen CO₂-Emissionen

Die Effizienz der vorgefundenen Wärmeerzeuger liegt zwischen 80% (älterer Kessel, einstufig), 85-90% (Niedertemperaturkessel, ein- oder mehrstufig) und 95-105% (Brennwertkessel). Mehrere vorgefundene sehr alte Kessel unterliegen absehbar der Stilllegungspflicht nach § 10 der Energiesparverordnung. Sofern in Reichweite der Fernwärme, wurde solchen Kirchen i.d.R. die Stilllegung der eigenen Kessel und ein Anschluss an Fernwärme vorgeschlagen. Gibt es keine Fernwärme, jedoch in der Nachbarschaft weitere kirchen- oder gemeindeeigene Gebäude, sollten Nahwärmooptionen mit besonders rationeller oder regenerativer Wärmeerzeugung bevorzugt werden, so z.B. an zwei Standorten in Augustdorf., wo gemeinsame Pellets- oder Hackschnitzelfeuerungen auch mit benachbarten Kommunalgebäuden in Frage kommen. Kommen weder Fern- noch Nahwärme in Frage, ist aber Gas vorhanden, sollten Ölheizungen zumindest auf das Gas-Brennwertkessel umgerüstet werden, was in der Summe aus CO₂-ärmeren Brennstoff und höherem Kesselwirkungsgrad ca. 30 % CO₂-Ersparnis bewirkt. In zwei kleinen und direkt elektrisch bzw. mit Gasöfen beheizten Kirchen bzw. Kapellen kommt der Einsatz von Außenluftwärmepumpen in Frage.

Die Frage einer günstigen kircheninternen Wärmeverteilung wurde in allen Fällen recht komplex erörtert. Solange nicht aus anderem Grund Böden erneuert oder Anlagenteile ersetzt werden müssen, scheint der Kostenaufwand einer Systemumstellung oft hoch, wenn man nur ihn nur an der damit erzielbaren Einsparung bemisst. Stehen aber Aspekte unzureichenden thermischen Komforts im Vordergrund oder sind ohnehin Ersatzinvestitionen oder Bauteilerneuerungen fällig, finden sich auch

Mehrheiten für eher aufwändige Systeme wie eine Kombination von Fußbodenheizung für die Grundtemperierung und flinken Ergänzungsheizungen für die Aufheizung vor Veranstaltungen. In jedem Fall müssen bauliche Problempunkte wie große Einfachverglasungen mit kalten Fallwinden berücksichtigt bleiben, sofern ihre Störeffekte nicht beseitigt werden können (=> vgl. Kapitel über Fenster).

Die Regelung der Kirchenheizungen erfolgt meist mit einem zwar großen Erfahrungsschatz, jedoch mit wenig präziser Empirie, so dass die tatsächlich realisierten Temperaturen kaum bekannt sind. Nur wenige Kirchen haben z.B. separate Temperaturfühler auf Orgel- und Publikumshöhe, die für die untere Absenkttemperatur (Orgel) und die obere Aufheiztemperatur (Publikum) heran gezogen werden. Inwieweit die irgendwo in der Kirche gemessene Mischtemperatur sinnvoll ist, kann daher nur abgeschätzt werden. Vielfach sind Sensoren ungeschickt platziert, z.B. im Einzugsbereich von Türen oder Fallluftströmen unter Fenstern oder Emporen. In anderen Kirchen sind zwar aufwändige Digitalsteuerungen vorhanden, wird deren Protokollfunktion aber nicht für die Erfolgskontrolle genutzt.

Durch eine zuverlässige automatische Protokollierung der maßgeblichen Temperaturen nahe der Orgel und im Aufenthaltsbereich sowie des Betriebs der Heizung könnten sicher häufig Fehlsteuerungen erkannt, Sollwert-Überschreitungen vermieden, Aufheizdauern verkürzt und Heizkosten eingespart werden. Auch die Meinungen über sinnvolle bzw. zulässige Mindest- oder Maximaltemperaturen gehen in den Gemeinden um gut 5°C auseinander und sollten immer wieder fachkundig kommuniziert werden.

4.6 Lüftung und Luftdichtheit

Über das tatsächliche Maß der aktiven Belüftung von Kirchen in Relation zu Nutzung und Witterung konnten keine belastbaren Erkenntnisse gewonnen werden. Selbsttätig feuchtegesteuerte Lüftungen mit elektrisch betätigten Fenstern wurden nur in einer Kirche vorgefunden (Nr.28 Sonneborn). Probleme mit Feuchtigkeit und Schimmel wurden insgesamt nicht berichtet oder beobachtet. Vermutet wird, dass bei der ohnehin meist eher geringen Personenbelegung die diffuse Lüftung über bauliche Undichtheiten meist zum Lüftungsbedarf passt. Hinweise auf Überlüftung mit Folge zu hoher Wärmeverluste fanden sich nur in Kirchen mit Sichtholzdecken oder -dächern, die teils viele Fugen oder gar keine durchgehende luftdichte Schicht haben. Die Übergänge zu den meist direkt angebauten Kirchtürmen waren bis auf wenige Ausnahmen recht luftdicht gebaut, auch die Luftwege durch Seil- und Kabeldurchführungen durch die Decken in Richtung Dachstuhl waren eher unbedeutend. Die tatsächliche Raumluftfeuchte wurde in keiner der untersuchten Kirchen permanent gemessen oder protokolliert. Bei fast allen Warmluftheizungen waren die Außenluftbeimischungen geschlossen und blockiert, was als Hinweis für eine hinreichende Lüfterneuerung auch ohne diese zusätzlichen Luftmengen angesehen werden kann. Soweit die Begehungen Anfang 2018 noch während der Heizperiode stattfanden, wurden keine überhöhten Feuchten gemessen. Bei den späteren sommerlichen Begehungen waren witterungsbedingt höhere Feuchten bei zugleich höheren Temperaturen vorhanden. Abgesehen von den evtl. größeren Undichtheiten von Holzdecken scheinen hier keine Probleme zu bestehen.

5 CO₂-Einsparpotenziale

Die größten einzeln identifizierten CO₂-Einsparpotenziale liegen in der Umrüstung alter Ölheizungen (311 g CO₂/kWh / 85 % Kessel) und Gasheizungen (235 g/kWh 85-90% Kessel) auf Fernwärme oder regenerative Nahwärme. Dies betrifft vor allem die Christuskirche in Detmold, die bei Umrüstung auf Fernwärme allein 63 t/a CO₂ einsparen könnte. Weiterhin die Ev.-Militärkirche in Augustdorf, deren Öl-Heizzentrale im Gemeindehaus die Kirche und die Kita mitbedient und insgesamt auf regenerative Nahwärme umrüstbar wäre. Weiterhin sind etwa 11 Kirchen mit älteren Öl- und Gasheizungen betroffen, deren Umrüstung auf Gas-Brennwertkessel jeweils ca. 30 % bis 15 % CO₂-Reduzierung bewirken dürfte und deren Gesamtemission dadurch um ca. 40 t CO₂/a verringert werden könnte.

Weiterhin liegen sie in der Verringerung des Wärmedurchgangs durch einfach verglaste Kirchenfenster und ungedämmte Dachbauteile sowie in der exakteren Überwachung und Einregelung der Absenk- und Aufheiztemperaturen durch eine automatisierte Überwachung der tatsächlichen Temperaturen und des Betriebsverhaltens der Heizanlagen

6 Befunde und Empfehlungen im Einzelnen

Die Beratungsberichte zu den 34 Sakralgebäuden sind als Anlagen beigelegt und alphabetisch nach Gemeindenamen wie folgt sortiert.

Nr	Gemeinde	Gebäude
1	Alverdissen	Kirche
2	Augustdorf (Mil.)	Kirche
3	Augustdorf (ref.)	Alte Dorfkirche
4	Bad Meinberg	Kirche
5	Bad Salzuflen	Stadtkirche
6	Bega	Kirche
7	Bösingfeld	Kirche
8	Cappel	Kirche
9	DT-Ost	Erlöserkirche
10	DT-Ost	Friedenskirche
11	DT-West	Christuskirche
12	Heiden	Kirche
13	Heiligenkirchen	Kirche/Turm
14	Helpup	Kirche
15	Hiddesen (luth)	Kirche
16	Hiddesen (ref)	Kirche
17	Hillentrup	Kirche
18	Hohenhausen	Pauluskirche
19	Horn	Kirche +Turm
20	Horn	Kirche Holzhausen
21	Istrup	Kirche
22	Langenholzhausen	Kirche
23	Lemgo St. Johann	Kirche
24	Lemgo St. Johann	Kapelle
25	Lemgo St. Nicolai	Kirche
26	Leopoldstal	Kirche Leopoldstal
27	Leopoldstal	Kirche Veldrom
28	Sonneborn	Kirche
29	Sylbach	Kirche
30	Varenholz	Kirche
31	Wöbbel	Kirche Wöbbel
32	Wöbbel	Kapelle Billerbeck
33	Wöbbel	Kapelle Belle
34	Wüsten	Kirche