

**Domkapitel zu Osnabrück  
Hasestraße 40 a  
49078 Osnabrück**

# **Minderung des Energiebedarfs kirchlicher Liegenschaften durch integrierte Planung**

## **Modellhafte Studie am Beispiel Domforum Osnabrück**

Abschlussbericht  
Studie, gefördert unter dem Az. 24138  
von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt

**Dipl. Ing. Architekt Andreas Reinartz, Bischöfliches Generalvikariat Osnabrück**

**Dipl. Ing. Klaus Steinkamp, Planungsbüro Rohling AG**

**Dr. Ing. Peter Kaiping, Planungsbüro Rohling AG**

**November 2006**

**Projektkennblatt**  
der  
**Deutschen Bundesstiftung Umwelt**



Az	<b>24138</b>	Referat	<b>24</b>	Fördersumme	<b>50.000,- €</b>
----	--------------	---------	-----------	-------------	-------------------

**Antragstitel** **Minderung des Energiebedarfs kirchlicher Liegenschaften durch integrierte Planung, modellhafte Studie am Beispiel Domforum Osnabrück**

**Stichworte** Bestandsanalyse, Gebäudesanierung, Energiekonzept

Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)
<b>12 Monate</b>	<b>01.11.2005</b>	<b>01.11.2006</b>	<b>1</b>

Zwischenberichte

<b>Bewilligungsempfänger</b>	Domkapitel zu Osnabrück	Tel	0541 318-0
	Domdechant Dr. Heinrich Plock	Fax	0541 318-178
	Hasestraße 40 a	Projektleitung	
	49074 Osnabrück	Herr Reinartz	
		Bearbeiter	

**Kooperationspartner**

### ***Zielsetzung und Anlass des Vorhabens***

Anhand dieser modellhaften Studie soll die systematische Herangehensweise bei der Planung energiesparender Bauweisen in kirchlichen Liegenschaften ausgearbeitet und dokumentiert werden. Diese Vorgehensweise soll erlauben, auch bei späteren, ähnlich gelagerten Bauaufgaben sehr schnell und zielgerichtet zu sachgerechten, sinnvollen Lösungen zu kommen.

Für das vorliegende Projekt wird grundlegend und modellhaft nach besseren, integrierten Lösungen gesucht. Diese können auf weitere und ähnliche Gebäudekomplexe des Bistums Osnabrück oder anderer Bistümer / Trägerschaften übertragen werden. Die Lösungen führen zu einer Verringerung des Energieverbrauchs sowie zur Verwendung umweltfreundlicher Versorgungskonzepte und zu kulturschonenden Bauverfahren.

Die Ziele können unter dem Aspekt „Bewahrung der Schöpfung“ zusammengefasst werden, und sind geprägt durch Ressourcenschonung, Energieeinsparung, Energieeffizienzsteigerung, Verwendung nachhaltiger und langlebiger Baustoffe und Bauweisen sowie Erhaltung historischer Bausubstanz.

### ***Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden***

Ermittlung grundsätzlicher Sanierungsbedarf, Erarbeitung Anforderungen an baulichen Wärmeschutz, Bestandsanalyse Bausubstanz und Technik, Thermografie, CO<sub>2</sub>- Messung, Simulation Temperaturverhalten Kirchengebäude, Blower Door Test Kirchengebäude, Messung von Brennerlaufzeiten und Heizölverbrauch, Auswertung der Messergebnisse, Ermittlung und Bewertung von Dämmmaßnahmen, Erarbeitung von Konzepten zur Wärme- und Kälteversorgung, Wirtschaftlichkeitsuntersuchung anhand Annuitätenmethode, Ökologische Bewertung der Energiekonzepte

## **Ergebnisse und Diskussion**

Die vorliegende Studie zeigt eine grundlegende und modellhafte Vorgehensweise zur energetischen Sanierung kirchlicher Liegenschaften. Erster Schwerpunkt der Untersuchungen sind die bauphysikalischen Eigenschaften des Domgebäudes. Wesentliche Erkenntnisse der Untersuchungen sind, dass Lüftungsverluste eine untergeordnete Rolle spielen und Fensterflächen nur eine geringe Bedeutung bei den Transmissionsverlusten zukommt. Weiterhin ergab sowohl die Simulation wie auch die durchgeführten Messungen, dass bei Unterbrechung des Heizbetriebs im Dom die Raumtemperatur in kürzester Zeit stark abfiel auf das Temperaturniveau der kalten Wandoberflächen. Konsequenz daraus ist ein nahezu durchgehender Anlagenbetrieb mit reduzierter Heiz- und Luftleistung. Absenkungen während der Nacht müssen sonst wegen der großen Speichermassen des historischen Gebäudes mit höheren Heizleistungen tagsüber wieder ausgeglichen werden. Ein energetischer Vorteil ist gegeben. Eine vergrößerte Anlage ist aber erforderlich. (Nur übertragbar auf ungedämmte massive Kirchen) Der zweite Schwerpunkt der Untersuchungen betrifft die bestehende Wärmeversorgung der Liegenschaft. Es wurde festgestellt, dass die Anlagen veraltet und überdimensioniert sind. Um den zukünftigen Energiebedarf für Beheizung und Kühlung der Gebäude zu reduzieren, wurden Maßnahmen zur Gebäudedämmung entwickelt und bauphysikalisch und wirtschaftlich bewertet. Aufbauend auf diese Untersuchungsergebnisse wurden dann Konzepte entwickelt zur Beheizung und Kühlung der Gebäude.

Auf Grund der unterschiedlichen Nutzungszeiten und der Nutzung der Trägheit eines massiven Kirchengebäudes wurde eine Verbundlösung zur Wärmeversorgung favorisiert. Dadurch kann die Spitzenleistung reduziert werden, und Investitionskosten können so gesenkt werden.

Nach einer Vorbewertung, wurden folgende Systemlösungen zur Wärmeversorgung weiterentwickelt: zentrale oder dezentrale konventionelle Kesselanlagen, Gas- Absorptionswärmepumpe mit Spitzenlastkessel, Grundwasser- bzw. Erdwärmenutzung, Holz- Pelletheizung mit und ohne Spitzenlast- Gaskessel, Wärme- Kälte- Verbund mit Wärmepumpe und Spitzenlastkessel.

Es zeigt sich dass der Preis für den hauptsächlich eingesetzten Brennstoff das Wirtschaftlichkeitsergebnis entscheidend beeinflusst. Daher erreicht die Variante Holzpelletkessel mit niedrigeren und seit Jahren fast gleichbleibenden Preisen gegenüber fossilen Energieträgern das wirtschaftlichste Ergebnis. Hinsichtlich Umweltrelevanz, Nachhaltigkeit, Innovation und Integration zeigt die Pelletheizung durch die Nutzung nachwachsender Rohstoffe deutliche Vorteile. Für eine Realisierung erweist sich jedoch die Feinstaubbelastung aus der Verbrennung von Holzpellets als entscheidender Nachteil für den Einsatz in Städten und Ballungsgebieten. Daher kommt die Gas-Absorptionswärmepumpe mit Erdsonden und Spitzenlastkessel als Alternative mit guten Umweltkriterien jedoch hohen Investitionskosten in Frage. Die Sanierung der Technik geht einher mit der Gebäudesanierung und Reduzierung des Wärmebedarfs durch Dämmmaßnahmen. Die Vorgehensweise stellt sicher, dass die Kriterien Ökonomie, Ökologie, Integration und Innovation bei der Entscheidungsfindung für Maßnahmen zur Sanierung der Energieversorgung angemessen berücksichtigt werden können.

## **Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation**

Es wird ein Fachbericht zur Veröffentlichung in Fachzeitschriften erstellt.

## **Fazit**

Zusammengefasst sind folgende Erkenntnisse in Kurzform als Ergebnis dieser Studie hervorzuheben:

- Messungen an den bestehenden Anlagen haben gezeigt, dass die vorhandenen Anlagen viel zu groß ausgelegt waren und dadurch nicht optimal betrieben werden konnten.
- Vor der Entscheidung über Sanierungsmaßnahmen ist daher eine gründliche Analyse der bestehenden Anlagen vorzunehmen.
- Nutzerverhalten und Nutzeranforderungen sind zu hinterfragen.
- Dämmmaßnahmen führen einerseits zu Energieeinsparung, andererseits kann der Sanierungsaufwand bei Wärme- und Kälteanlagen durch den reduzierten Leistungsbedarf gesenkt werden.
- Nur eine Gesamtkonzeption aus Analyse des Bestands, Bewertung von Nutzerverhalten und Auswahl geeigneter Verbundanlagenkonzepte bringt optimale Ergebnisse.
- Die Wirtschaftlichkeit von Anlagenkonzepten hängt im Wesentlichen vom Preis für den hauptsächlich eingesetzten Brennstoff ab. Hier haben Holzpelletheizungen Vorteile. Diese werden jedoch vor allem in innerstädtischen Bereichen durch die höhere Feinstaubbelastung in Frage gestellt.
- Für die vorliegende Liegenschaft wird unter Berücksichtigung sämtlicher Aspekte und einer kritischen Bewertung der Feinstaubbelastung die Installation einer Wärmepumpenlösung mit Wärme-Kälte-Verbund vorgeschlagen.

# Inhaltsverzeichnis

- Verzeichnis von Bildern
- Verzeichnis von Tabellen
- 1 Einleitung
  - 1.1 Grundlagen
  - 1.2 Gegenstand und Ziel dieses Projektes
- 2 Grundsätzliches zum Sanierungsbedarf und zur energetischen Optimierung
  - 2.1 Gebäudesanierung
  - 2.2 Sanierung Brauchwassererwärmungsanlagen
  - 2.3 Sanierung Heizungsanlagen
  - 2.4 Sanierung Lüftungs- und Klimaanlage
  - 2.5 Sanierung elektrotechnische Anlagen
  - 2.6 Gesamtbetrachtung
  - 2.7 Betrieb
- 3 Bestandsanalyse
  - 3.1 Baulicher Zustand der untersuchten Liegenschaft
    - 3.1.1 Vorbemerkungen
    - 3.1.2 Ist- Zustand
  - 3.2 Bestandserfassung Wärmeversorgung Domforum Osnabrück
    - 3.2.1 Anlagenbeschreibung
    - 3.2.2 Messtechnische Erfassung Wärmeerzeugung und Wärmeverteilung
      - Messbericht Kesselanlage Dom
      - Messbericht Kesselanlage Museum
      - Messbericht Kesselanlage Seelsorgeamt
    - 3.2.3 Messbericht Lüftungsanlage
    - 3.2.4 Messung der Gebäudedichtigkeit Dom
    - 3.2.5 Messung CO<sub>2</sub>- Anteil in der Luft
    - 3.2.6 Ergebnisse der bauphysikalischen Messungen
    - 3.2.7 Weitere Erkenntnisse der Bestandserfassung
- 4 Bauliche Maßnahmen zur Reduzierung des Energiebedarfs
  - 4.1 Bauliche Maßnahmen
    - 4.1.1 Dämmmaßnahmen für einen energiesparenden Wärmeschutz
    - 4.1.2 Maßnahmen zum sommerlichen Wärmeschutz
    - 4.1.3 Verbesserung der Luftdichtigkeit
  - 4.2 Auswertung Dämmmaßnahmen
  - 4.3 Auswahl und Einteilung der Dämmmaßnahmen
- 5 Erstellung Konzept zur Kälteversorgung
  - 5.1 Grundlagen
  - 5.2 Ermittlung der Kälteleistung

- 5.3 Ermittlung des Jahresenergiebedarfs
- 5.4 Konzepte Kälteversorgung
  - Konzept 1: Split- Kälteanlagen dezentral
  - Konzept 2: Teil- Kälteverbund mit Kältemittelverrohrung
  - Konzept 3: Zentrale Kältemaschine luftgekühlt mit Kaltwasserverrohrung
  - Konzept 4: Zentrale Kältemaschine mit Kaltwasserverrohrung und Rückkühlung über die Domheizung
  - Konzept 5: Wärme- Kälte- Verbund mit Gas- Wärmepumpe und Erdsonde
  - Konzept 6: Luftentnahme aus dem Dom zur Kühlung des Museums
- 5.5 Auswertung der Konzepte Kälteversorgung
  - 5.5.1 Besonderheit Verbundlösung
  - 5.5.2 Wirtschaftlichkeitsuntersuchung
  - 5.5.3 Weitere Randbedingungen und Sachzwänge
- 6 Erstellung Konzept zur Wärmeversorgung
  - 6.1 Grundlagen
  - 6.2 Ermittlung der Wärmeleistung
  - 6.3 Ermittlung des Jahresenergiebedarfs
  - 6.4 Konzepte Wärmeversorgung
    - Konzept 1: Blockheizkraftwerk
    - Konzept 2: Thermische Solaranlagen
    - Konzept 3: Motorische Wärmepumpen
    - Konzept 4: Wärmepumpe mit natürlichem Kältemittel
    - Konzept 5: Direktbefeuertes Luftheizgerät Dom
    - Konzept 6: Austausch der dezentralen Heizkessel
    - Konzept 7: Verbundheizung mit Gaskessel
    - Konzept 8: Wärmepumpe, Erdsonde und Spitzenlastkessel
    - Konzept 9: Wärmepumpe, Grundwassernutzung und Spitzenlastkessel
    - Konzept 10: Holz- Pelletkessel und Spitzenlastkessel
    - Konzept 11: Holz- Pelletkessel für Grund- und Spitzenlast
    - Konzept 12: Wärme- Kälte- Verbund mit Gas- Wärmepumpe und Erdsonde
  - 6.5 Auswertung der Konzepte Wärmeversorgung
    - 6.5.1 Besonderheit Verbundlösung
    - 6.5.2 Wirtschaftlichkeitsuntersuchung
    - 6.5.3 Ökologische Bewertung
    - 6.5.4 Weitere Randbedingungen und Sachzwänge
    - 6.5.5 Vergleich Energieverbrauch bislang und in Zukunft
- 7 Gesamtbewertung und Vorschläge zur Umsetzung im konkreten Fall
- 8 Übertragbare Lösungsansätze
- 9 Projektablaufdiagramm
- 10 Zusammenfassung
- 11 Anlagenverzeichnis
- 12 Literatur- und Normenverzeichnis

**Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1 - Domforum Osnabrück .....4  
 Abbildung 2 - Entwicklung der Raumtemperaturen in den letzten Jahrhunderten [] .....7  
 Abbildung 3 - Aufgaben des Wärmeschutzes .....8  
 Abbildung 4 - Wechselwirkung des Wärmeschutzes zu anderen Fachgebieten nach [] .....8  
 Abbildung 5 - Anforderungen an den Wärmeschutz von Außenwänden nach [] .....9  
 Abbildung 6 - Entwicklung der Wärmeschutzverordnung nach [] .....10  
 Abbildung 7 - Längsschnitt durch den Dom .....15  
 Abbildung 8 – Grundriss Dom .....16  
 Abbildung 9 - Blick durch das Kirchenschiff auf die Orgel.....16  
 Abbildung 10 - Erwärmung der Vierung durch die Luftheizung .....17  
 Abbildung 11 - Simulation des Auskühlverhaltens des Domes .....17  
 Abbildung 12 - Übersichtsschema Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) .....18  
 Abbildung 13 - Veraltete Kesselanlage Museum.....19  
 Abbildung 14 - Messungen an den Kesselanlagen .....20  
 Abbildung 15 -Korrelation Brennerleistung Anlage Dom .....21  
 Abbildung 16 - Betriebsstufenmessung Lüftungsanlage Dom.....22  
 Abbildung 17 - Druckventilatoren im Kircheneingang    Abbildung 18 - Prinzip Blower Door Test .....23  
 Abbildung 19 – Verlauf CO<sub>2</sub>- Anteil in der Luft.....24  
 Abbildung 20 – Materialgeometrie .....28  
 Abbildung 21- Temperaturverteilung auf der ungedämmten Wand.....29  
 Abbildung 22 – Temperaturverteilung Wandheizsystem ohne Dämmung .....29  
 Abbildung 23 - Wandheizsystem mit Dämmung.....30  
 Abbildung 24 - Wärmeströme bei einem Wandheizsystem mit einer Wärmedämmung.....30  
 Abbildung 25 Mittlerer Wassergehalt von Natursteinen.....31  
 Abbildung 26 - Mittlerer langfristiger Wassergehalt im Natursteinmauerwerk .....31  
 Abbildung 27 - Zusammenstellung der Jahreskosten Kältevarianten.....38  
 Abbildung 28 - Zusammenstellung der Jahreskosten Heizvarianten.....45  
 Abbildung 29- Endenergieverbrauch Wärmeversorgung .....46  
 Abbildung 30 - Primärenergieversorgung Wärmeversorgung .....47  
 Abbildung 31 - CO<sub>2</sub> Emission Wärmeversorgung .....48  
 Abbildung 32 - Feinstaubemission durch Wärmeversorgung .....49  
 Abbildung 33 - Prozessablaufdiagramm.....55

**Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1 - Übersicht Wärmedurchgangswiderstände Museum und Verwaltung im Bestand.....19  
 Tabelle 2 - Wärmedurchgangskoeffizienten Seelsorgeamt .....26  
 Tabelle 3 - Wärmedurchgangskoeffizienten Museum.....27

## 1 Einleitung

### 1.1 Grundlagen

Zahlreiche kirchliche Liegenschaften bestehen aus mehreren einzelnen Gebäuden oder Gebäudeteilen mit unterschiedlicher Nutzung.

- Kirche
- Museum
- Wohnungen
- Büroeinheiten
- Veranstaltungsräume / Pfarrheime
- Kindergärten und sonstige Nutzungen

Häufig finden sich in diesen Gebäudekomplexen historische Gebäude von besonders hohem Wert.

Ein Beispiel hierfür sind die Gebäude im Bereich des Domes von Osnabrück. Im Zuge einer ins Auge gefassten Baumaßnahme soll die Liegenschaften neu geordnet und in der Nutzung verbessert und zu einem „Domforum“ zusammengefasst werden. In dem Gebäudekomplex in unmittelbarer Nähe des Domes sind bzw. sollen untergebracht werden:

- Diözesanmuseum mit Domschatz
- Probenräume für den Domchor
- das bischöfliche Seelsorgeamt / Büros
- ein Begegnungszentrum / Cafe
- das Kirchenmusikseminar



Abbildung 1 - Domforum Osnabrück

In diesem, wie auch in anderen vergleichbaren Gebäuden, findet bisher eine isolierte, nutzungsorientierte Energieversorgung – als klassische Ölheizung in jedem Gebäude – Verwendung. Im vorliegenden Fall fände also eine separate Heizungsanlage für den Dom, und weitere für die sonstigen Räume Verwendung, ohne dass übergeordnete Zusammenhänge berücksichtigt oder

ökologische und innovative Ansätze geprüft werden. Aufgrund der gewachsenen Struktur kirchlicher Liegenschaften existiert nämlich ein übergreifendes Energiekonzept i. Allg. nicht.

In der vorliegenden Studie wird modellhaft für dieses und für vergleichbare Liegenschaften untersucht, die Gebäude im Verbund mit Wärme zu versorgen. Es wird überprüft, ob Leistungsspitzen reduziert werden können, weil die Verbrauchscharakteristik und die Nutzungszeiten der einzelnen Gebäude unterschiedlich sind und ggf. eine zeitweilige Unterversorgung in Gebäuden mit großen Speichermassen (Kirchen) kaum zu spürbaren Temperaturveränderungen führt. Weiterhin werden Systeme untersucht, die höhere Anfangsinvestitionen erfordern, jedoch durch die Anordnung im Verbund und damit verbundenen längere Nutzungszeiten eventuell gesamtwirtschaftlich und energetisch positiv zu bewerten sind.

Bei der Studie wird als wesentliches Merkmal kirchlicher Liegenschaften das Kirchengebäude berücksichtigt, das eine heizungstechnische Besonderheit darstellt. Im Domforum Osnabrück wird als weitere Besonderheit zusätzlich ein Museum mit eigenständiger Klimatisierung benötigt. Dies ist eine typische Konstellation, die auch an anderen historischen Kirchenstandorten oder in Kloster- und Schlossanlagen vorliegen.

### 1.2 Gegenstand und Ziel dieses Projektes

Anhand dieser modellhaften Studie soll die systematische Herangehensweise bei der Planung energiesparender Bauweisen in kirchlichen Liegenschaften ausgearbeitet und dokumentiert werden. Diese Vorgehensweise soll erlauben, auch bei späteren, ähnlich gelagerten Bauaufgaben sehr schnell und zielgerichtet zu sachgerechten, sinnvollen Lösungen zu kommen.

Für das vorliegende Projekt wird grundlegend und modellhaft nach besseren, integrierten Lösungen gesucht. Diese können auf weitere und ähnliche Gebäudekomplexe des Bistums Osnabrück oder anderer Bistümer / Trägerschaften übertragen werden. Die Lösungen führen zu einer Verringerung des Energieverbrauchs sowie zur Verwendung umweltfreundlicher Versorgungskonzepte und zu kulturschonenden Bauverfahren.

Die Ziele können unter dem Aspekt „Bewahrung der Schöpfung“ zusammengefasst werden, und sind geprägt durch:

- Ressourcenschonung
- Energieeinsparung
- Energieeffizienzsteigerung
- Verwendung nachhaltiger und langlebiger Baustoffe und Bauweisen
- Erhaltung historischer Bausubstanz

## 2 Grundsätzliches zum Sanierungsbedarf und zur energetischen Optimierung

### 2.1 Gebäudesanierung

Vor der Sanierung der technischen Ausrüstung und insbesondere der Wärmeversorgung sollte die Überprüfung und notwendige Sanierung der Gebäudesubstanz stehen.

Eine verbesserte Wärmedämmung der Gebäudes führt unmittelbar zu Energieeinsparung, Ressourcenschonung, Senkung der Verbrauchs- und Wartungskosten sowie Senkung der Investitionen im Bereich der Wärmeversorgung.

Weiterhin liegt auf Grund der voraussichtlich langen Nutzungsdauer in einer Sanierung der Gebäudehülle unter Verwendung ressourcenschonender Baustoffe ein großes wirtschaftliches Potential.

#### Kirchegebäude

Die Bauweise historischer Kirchen ist u.a. gekennzeichnet durch große Raumhöhen, große, einfach verglaste Fensterflächen mit farbigen Gläsern mit schlechten U- Werten und geringem Energiedurchlassgrad für Sonnenstrahlung sowie einem sehr massiven Baukörper. Hinzu kommt, dass Fassaden dieser Gebäude in der Regel dem Denkmalschutz unterliegen und nicht in der äußeren Gestaltung verändert werden dürfen. Gerade bei historischen Gebäuden sind daher die Möglichkeiten zur baulichen Sanierung sehr eingeschränkt.

Möglichkeiten bieten sich in der Regel durch Dämmung von eingezogenen Decken, Abdichtung von alten erhaltenswerten Fenstern, Abdichtung weiterer undichter Stellen in Wänden und Decken, Bodendämmung für den Fall, dass eine Bodensanierung vorgesehen ist, Einbau von Windfängen an Zugangstüren.

Sinnvollerweise sind solche baulichen Maßnahmen in Verbindung mit Maßnahmen der technischen Ausrüstung zu betrachten. Als sinnvolle Maßnahmen haben sich vor allem diejenigen erwiesen, die die notwendige Energie in der Nähe der Verwendung (Komfort der Kirchenbesucher) bereitstellen. Dies sind Einbau einer Fußbodenheizung im Falle einer Bodensanierung, Einbau einer Wandheizung im Bereich der Kirchenbesucher, Optimierung der Luftführung bei vorhandener Luftheizung.

#### Museen

Auch für ein Museum gilt, falls es in einem historischen Gebäude untergebracht ist, dass besonders gestaltete Fenster, ein massiver Baukörper und eine denkmalgeschützte Fassade die Möglichkeiten zur Gebäudesanierung erheblich einschränken. Erschwert wird dieses Ziel durch gestalterische Anforderungen für die Innenräume, Einfluss von Tageslicht auf Exponate sowie Temperatur- und Feuchtebedingungen an Wandoberflächen und deren Auswirkungen auf Ausstellungsgüter.

Hier bieten sich Möglichkeiten wie Bodendämmung in Verbindung mit einer Bodensanierung, Einbau von Kastenfenstern unter Erhaltung der äußerlichen Gebäudegestaltung, Innenwanddämmung und Einbau einer Wandheizung, wobei die Erhaltung und der Schutz der massiven Außenwand sowie die Auswirkung einer erhöhten Wandoberfläche auf die Ausstellungsgüter besonders zu berücksichtigen sind.

#### Verwaltungs- und Wohngebäude

Hier sind die äußeren Abhängigkeiten zu berücksichtigen, die die möglichen Maßnahmen gege-

benenfalls einschränken. Auch hier können denkmalpflegerische Aspekte Einfluss nehmen. Anderenfalls ist die Dämmung der Gebäudehülle über Boden, Wand, Fenster und Türen, Decke und Dach anzustreben. Weiterhin ist auf Dichtigkeit des Gebäudes großen Wert zu legen. Dies betrifft insbesondere die Fenster und Türen, aber auch Dachflächen und vor allem Anschlüsse an Sparren innerhalb der Gebäudehülle.

Neben dem Wärmeschutz im Winter trägt eine gute Wärmedämmung auch im Sommer zur Verhinderung allzu schneller Aufheizung bei und erhält dadurch ein erträgliches Innenklima für Arbeit und Wohnen. Ein Kühlbedarf oder Stromverbrauch durch Aufstellen von Ventilatoren im Sommer wird vermieden.

#### Anforderungen an den Wärmeschutz

In verschiedenen Untersuchungen ist mehrfach auf den Umstand hingewiesen worden, dass die Anforderungen an die Raumtemperaturen insbesondere in den letzten Jahrzehnten erheblich gestiegen sind.

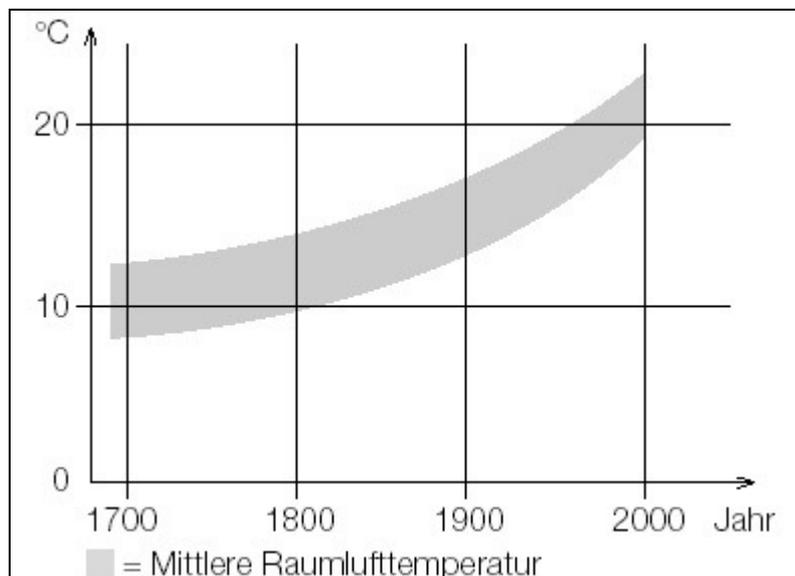


Abbildung 2 - Entwicklung der Raumtemperaturen in den letzten Jahrhunderten [1]

Der Grund hierfür ist, dass erst seit Anfang des 20. Jahrhunderts die Heiztechnik die Möglichkeit eröffnete, alle Räume durch Öfen etc. gleichmäßig und kostengünstig zu beheizen.

So ist für Kirchen, die früher gar nicht beheizt wurden, da die technischen Möglichkeiten fehlten, heute eine Raumlufttemperatur von fast 20° Celsius während des Gottesdienstes der übliche Standard.

Das gleiche gilt im Prinzip für Museen, die heute auch im Winter auf 20° Celsius erwärmt werden. Diese „hohen“ Raumtemperaturen führen ohne Klimatisierung zu erheblichen Schwankungen der Raumluftfeuchte je nach Art der Beheizung innerhalb eines Tages und eines Jahres. Durch den Wechsel der Raumluftfeuchte sind Kunstgegenstände in diesen Räumen erheblich gefährdet.

So gilt, dass Museum mit den heutigen Anforderungen klimatisiert werden müssen. Da durch die Klimatechnik Baukörper und Innenraumklima nicht mehr zwingend in einem Zusammenhang stehen, wurden die baulichen Möglichkeiten zum Energiesparen in früheren Jahrzehnten nicht mehr genutzt. Erst der Zwang zum Energiesparen hat teilweise zu einer Rückbesinnung geführt. So wurden z.B. beim Walraff Richartz Museum in Köln große Teile der transparenten Fassade geschlossen um die Kosten für die Klimatechnik zu reduzieren.

Bei historischen Gebäuden besteht die Möglichkeit derart weitgehender Maßnahmen nicht. Hier ist die Summe aller baulichen Einflüsse auf das Raumklima durch den Baukörper weitestgehend

zu optimieren. Gleichzeitig ist zu verhindern, dass an der historischen Bausubstanz Schäden durch die Schaffung des Museumsklimas entstehen.

Mindestwärmeschutz

Aufgabe des baulichen Wärmeschutzes ist es, die Nutzung von Gebäuden behaglich und gesundheitlich unbedenklich zu gestalten, wärmetechnisch bedingte Bauschäden zu vermeiden und den Energiebedarf zu minimieren.

In der nachfolgenden Abbildung sind in [2] die einzelnen Teilbereiche des Wärmeschutzes aufgeführt:

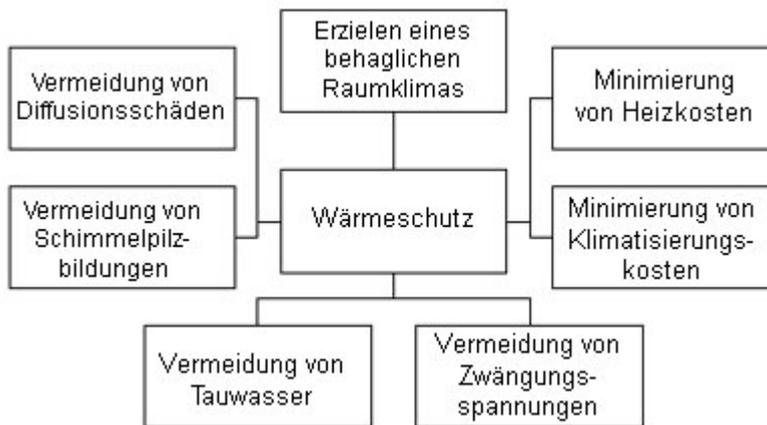


Abbildung 3 - Aufgaben des Wärmeschutzes

Der „hygienische“ oder Mindestwärmeschutz umfasst dabei alle Bereiche mit Ausnahme der Maßnahmen zur Energieeinsparung. Die zu beachtenden Anforderungen finden sich hierbei in Bezug auf die Behaglichkeit und Schadensfreiheit in den Normenwerken und insbesondere in DIN 4108 [3] und bezüglich der Energieeinsparung in der Energieeinsparverordnung [4] wieder. Die Aufgaben des baulichen Wärmeschutzes und der hieraus resultierenden Anforderungen müssen jedoch in der Planung auch dahingehend beurteilt werden, ob Wechselwirkungen mit der sonstigen Bausubstanz mit negativen Auswirkungen bestehen. Der Bereich des Wärmeschutzes tangiert nämlich je nach gewähltem Material und gewählter Konstruktion darüber hinaus beispielsweise die in Abbildung 4 aufgezeigten anderen Fachgebiete des Bauwesens.

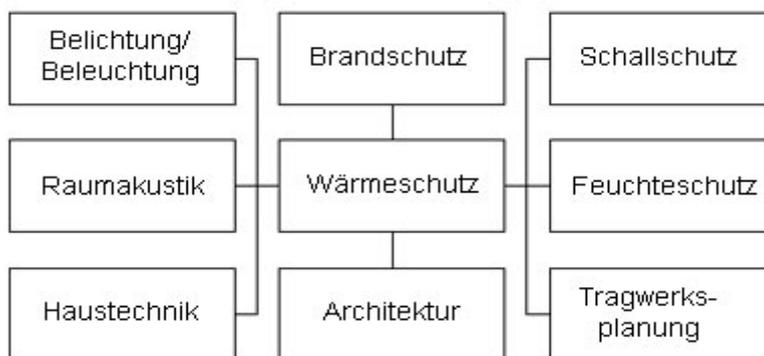


Abbildung 4 - Wechselwirkung des Wärmeschutzes zu anderen Fachgebieten nach [5]

Insbesondere Schimmelpilzbildungen, Luftundichtigkeiten und Tauwasserbildungen, gefolgt von Unbehaglichkeitsempfinden werden heute bemängelt. Schäden infolge von thermisch bedingten Bewegungen bzw. Zwängungsspannungen treten bei den heutzutage sehr gut gedämmten Kon-

struktionen nur noch in Einzelfällen auf, sind aber gerade bei historischen Konstruktionen zu beachten.

Diffusionsschäden können insbesondere bei Innendämmungen oder auch bei nicht fachgerecht verlegten raumseitigen Dampfsperren auftreten. Da zum anderen Dampfsperren in der Regel die Funktion der Luftdichtigkeit übernehmen sind bei fehlerhafter Verlegung Unbehaglichkeitsempfindungen infolge von Zuglufterscheinungen die Folge.

Gerade bei historischen Gebäude und insbesondere bei einer Museumsnutzung sind diese schadensträchtigen Bauweisen aber kaum zu vermeiden. In der thermischen Bauphysik gilt aber die Regel, dass keine Wärmedämmung besser ist als eine falsche Dämmung. Dies erhöhte Schadensrisiko ist nur durch eine sorgfältige und objektspezifische Planung zu minimieren.

### Energiesparender Wärmeschutz

Die Abbildung 5 zeigt die Entwicklung des geforderten Mindestwärmeschutzes (gelber Farbbereich). Zusätzlich sind die Anforderungen der Wärmeschutzverordnung bzw. der Energieeinsparverordnung (roter Farbbereich) an Bestandsgebäude nach dem Bauteil-Verfahren aufgezeigt. Die Anforderungen sind hier zur Vergleichbarkeit als U-Werte (k-Werte) dargestellt.

Deutlich zu erkennen ist das über Jahrzehnte gleich bleibende Anforderungsniveau der DIN 4108 und die Diskrepanz zwischen den Anforderungen der Wärmeschutzverordnung und der DIN. Ein erforderlicher Wärmeschutz zur Reduzierung energetischer Verluste wurde erst unter dem Eindruck der allgemeinen Energiekrise („Ölkrise“) in den 1970er Jahren als erforderlich angesehen. Die deutlich steigenden Energiepreise und das Erkennen, dass fossile Energien nur begrenzt zur Verfügung stehen, ließ das Energieeinspargesetz EnEG [6], das am 22.07.1976 vom deutschen Bundestag verabschiedet wurde, folgen.

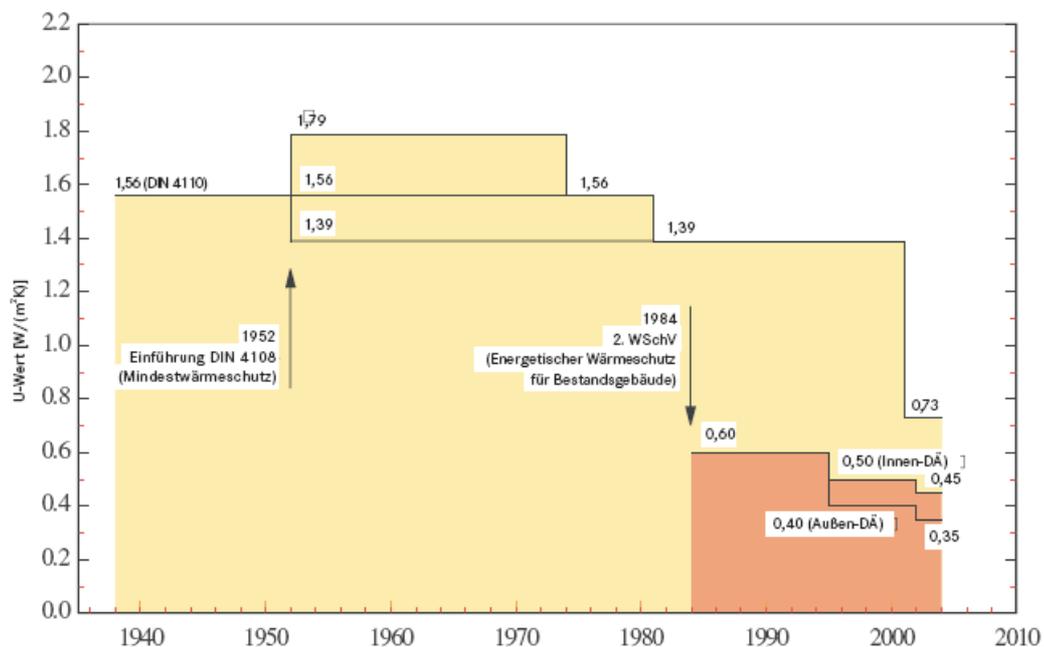


Abbildung 5 - Anforderungen an den Wärmeschutz von Außenwänden nach [7]

Ziel des EnEG, das auch heute mit zwischenzeitlichen Ergänzungen gesetzliche Grundlage ist, ist die Verhinderung vermeidbarer Energieverluste beim Heizen und Kühlen während der Gebäudenutzung. Mit dem EnEG wird die Bundesregierung ermächtigt, zur Umsetzung des Gesetzes Verordnungen zu erlassen. Unter diesem Oberbau wurden im Laufe der Jahrzehnte verschiedene Stufen der Wärmeschutzverordnung und der Heizungsanlagenverordnung verabschiedet, die jeweils eine Verschärfung der Anforderungen mit sich brachten. Mit dem zurzeit letzten Schritt

der Umsetzungsverordnung (Energieeinsparverordnung EnEV) soll zudem die gemäß des so genannten Kyoto- Protokolls zu erfüllende CO<sub>2</sub>-Minderung (Minderung der Emissionen bis zum Jahr 2005 um 25 % gegenüber 1990) erreicht werden.

Nach EnEG § 5 (1) gilt jedoch einschränkend für die Anforderungen zur Energievermeidung, dass die infolge dieser Anforderungen erforderlichen Maßnahmen „nach dem Stand der Technik erfüllbar und für Gebäude gleicher Art und Nutzung wirtschaftlich vertretbar sein“ müssen. Diese Vorgaben bestimmen die Handhabung der Umsetzungsverordnungen gerade beim Bauen im Bestand wesentlich, was im Weiteren noch erläutert wird.

Betrachtet man die verschiedenen Verordnungsschritte, fällt bei der WSchV auf, dass die ersten beiden Stufen weitestgehend reine k-Wert-Anforderungen (heute heißt es U-Wert) enthielten, wobei für Bestandsgebäude erst ab der 2. WSchV Anforderungen formuliert wurden. Ab 1995 wurde über ein Bilanzverfahren die Bestimmung des Jahres-Heizwärmeverbrauchs und ab 2002 mit der Energieeinsparverordnung die Bestimmung des Jahres-Primärenergiebedarfes eingeführt. Mit der HeizAnV waren zumeist Einzelanforderungen an Anlagenkomponenten verbunden, z. B. die Dämmschichtstärken der Heizleitungen oder die Einführung von Einrichtungen zur raumweisen Temperaturregelung (in der Regel: Thermostatventile). Die Abbildung 6 zeigt die Entwicklung des durchschnittlichen Energiebedarfes von Gebäuden im Zuge der WSchV bzw. EnEV.



Abbildung 6 - Entwicklung der Wärmeschutzverordnung nach [6]

## 2.2 Sanierung Brauchwassererwärmungsanlagen

Die Brauchwassererwärmung spielt in kirchlichen Liegenschaften in der Regel eine untergeordnete Rolle. Sie wird daher im Rahmen dieser Studie nicht besonders betrachtet.

Bei der Bestandsanalyse sollte jedoch ggf. auch eine eventuell vorhandene Brauchwassererwärmung in die Betrachtung mit einbezogen werden.

Dabei sollten folgende Grundsätze im Zuge einer Sanierung umgesetzt werden, soweit sie nicht ohnehin berücksichtigt sind. Eine zentrale Brauchwassererwärmung sollte nur dort vorgenommen werden, wo mehrere Zapfstellen mit regelmäßiger Entnahme angeschlossen werden können. Ein Zirkulationssystem für selten genutzte Entnahmestellen ist nicht sinnvoll. Dezentrale e-

lektrisch beheizte Speicher sollten zeitabhängig komplett abgeschaltet werden, damit Stillstandsverluste auf ein Minimum begrenzt werden.

### 2.3 Sanierung Heizungsanlagen

#### Kirchengebäude

Kirchen werden im wesentlichen zu den Gottesdiensten, dann aber zum Teil durch sehr viele Besucher genutzt. Aus energetischer Sicht wäre eine sporadische Beheizung geboten. Weil die großen Baumassen kurzzeitig nicht erwärmt werden können, wären jedoch relativ hohe Lufttemperaturen erforderlich, wenn behagliche Bedingungen ohne kalte Abstrahlung der Gebäudeoberflächen gewährleistet werden sollen. Das Inventar, vor allem historische Orgeln und sakrale Kunstwerke, reagieren jedoch sehr empfindlich auf zu hohe Temperaturänderungsgeschwindigkeiten.

Deshalb, und auch weil von den Kirchenbesuchern im Winter ein beheiztes Gotteshaus erwartet wird, werden Kirchen heute überwiegend kontinuierlich beheizt. Die kontinuierliche Beheizung ist mit einem hohen Energieaufwand verbunden.

Die Beheizung erfolgt in Kirchen in den meisten Fällen mittels Warmluftheizung, seltener durch Fußbodenheizung oder Sitzbankheizung bzw. einer Kombination dieser drei Systeme.

Für die Wärmeerzeugung werden konventionelle Heizkessel eingesetzt. Die Erwärmung der Luft erfolgt indirekt über heizwasserbeaufschlagte Luftherhitzer. Der apparative Aufwand und der Platzbedarf sind erheblich. Die Verwendung von direkt befeuerten Luftherhitzern verbot sich in der Vergangenheit wegen des eingeschränkten Regelbereichs von Feuerungsanlagen sowie aus Gründen des Brandschutzes.

Die Heizlastberechnung für Kirchen erfolgt in der Regel nach stationären Ansätzen ohne Berücksichtigung der Speichermassen zzgl. Großer Sicherheit für die Aufheizung. Es ist deshalb zu erwarten, dass die Heizungen in vielen Kirchen deutlich überdimensioniert sind. Dieses führt zu einem erhöhten Energieverbrauch für Bereitschafts- und Teillastbetrieb sowie zu unnötig hohen Investitionen.

Ein Heizsystem, das in jedem Fall für die Beheizung alter und großer Räume gut geeignet ist, gibt es nicht [9]. Es ist in jedem Einzelfall zu beachten, welche Gegebenheiten für die Beheizung zu Grunde liegen. Keines der drei am meisten verwendeten Heizsysteme kann besonders empfohlen oder grundsätzlich abgelehnt werden.

Die Auswahl und der Betrieb der Heizung werden bestimmt durch die Nutzung, durch die Größe und Bauart des Raumes sowie durch die Ausstattung, wobei der Bewertung des Nutzungsverhaltens eine hohe Aufmerksamkeit zu widmen ist.

Die Sanierung einer Kirchenheizung wird sich abgesehen von der Wärmeerzeugung in der Regel auf eine Wiederherstellung des vorhandenen Heizsystems auf einen betriebsfähigen Zustand beschränken, da eine grundsätzliche Änderung des Heizsystems einen zu großen Eingriff in den Gebäudebestand nach sich ziehen wird. Aus diesem Grund ist die Optimierung der Regelung und die Berücksichtigung der Nutzungsgewohnheiten bei der Einstellung der Regelparameter von herausragender Bedeutung.

#### Museen

Im Museum steht der Schutz des klimaempfindlichen Kulturgutes im Vordergrund. Es ist daher anzustreben, die Schwankungen der Feuchte und der Temperatur so gering wie möglich zu halten [10].

Dabei ist das Niveau der Feuchte und der Temperatur vom ausgestellten Kulturgut abhängig.

Da das Heizsystem im Museum möglichst gleichmäßig betrieben werden sollte, ist ein träges

System, das die Räume nur langsam auf Solltemperatur bringt, vorzuziehen. Die in anders genutzten Gebäuden übliche Nachtabsenkung sollte in Museumsräumen unterbleiben. Ungünstig sind daher Warmluftheizungen und Heizkörperheizungen mit hohen Konvektionsanteilen. Die Heizfläche sollte daher möglichst groß, gleichmäßig beaufschlagt und mit möglichst niedriger Temperatur betrieben werden.

### Verwaltungs- und Wohngebäude

Zur Beurteilung des Sanierungsbedarfs der Heizungsanlage in Verwaltungs- und Wohngebäuden ist zunächst das Alter der Anlage von entscheidender Bedeutung. Eine Totalsanierung ist in den seltensten Fällen erforderlich. Bei fachgerecht betriebenen Warmwasserheizungsanlagen ist kaum mit Durchrosten von innen zu rechnen. Besonderes Augenmerk sollte gerichtet sein auf Regelung von Pumpen und Heizkreisen, Thermostatventilen an Heizkörpern und Betriebsverhalten von Mitarbeitern und Bewohnern.

### Wärmeerzeugung

Neben dem Betriebsverhalten ist die Wärmeerzeugung die zentrale Anlage, die zu einem wirtschaftlichen und energiesparenden Betrieb beiträgt oder eben nicht. Folgende Aspekte spielen bei der Entscheidung über den Sanierungsbedarf eine wichtige Rolle: Alter der Anlage, Zusammenspiel von Kessel und Brenner bei konventionellen Heizungsanlagen, Dimensionierung der Anlage, Regelung der Kesselanlage und Wärmeverteilung, Systemtemperatur, Brennstoffart, Abgastemperatur und Abgassystem, Umfang und Zustand der Wärmedämmung an technischen Anlagen, hydraulische Schaltung. Auf Elektrowärme sollte nur in ganz wenigen Ausnahmefällen zurückgegriffen werden.

## 2.4 Lüftungs- und Klimaanlage

Lüftungs- und Klimaanlage spielen in kirchlichen Liegenschaften eine untergeordnete Rolle. Das Diözesanmuseum in der Liegenschaft Domforum Osnabrück wird bislang nicht gelüftet oder klimatisiert. Die Sanierung dieser Anlagen wird daher nicht besonders betrachtet. Beim Betrieb von Lüftungs- und Klimaanlage ist besonders zu achten auf regelmäßige Wartung (Filterreinigung) und bedarfsgerechten Betrieb.

## 2.5 Elektrotechnische Anlagen

Hauptstromverbraucher in kirchlichen Liegenschaften ist in der Regel die Beleuchtung. Hier ist soweit möglich auf Energiesparbeleuchtung umzustellen. Bei Büroarbeitsplätzen sollten moderne Spiegelrasterleuchten eingesetzt werden. Ältere Leuchtstoffröhren sollten mit elektronischen Vorschaltgeräten ausgestattet und / oder auf moderne Leuchtmittel umgestellt werden. Wenig genutzte Leuchten sollten mit Bewegungsmeldern bedarfsabhängig geschaltet werden. Neuartig ist die Technik der LED- Beleuchtung. Da bei LED- Beleuchtung praktisch keine Energie als Wärme und UV- Strahlung abgegeben wird, sind LEDs weitaus effizienter als Glühlampen. Die Haltbarkeit ist ebenfalls erheblich länger. Diese Technik befindet sich jedoch noch im Stadium der Entwicklung. Das Angebot an Leuchten ist noch sehr gering, die Leuchten sind sehr teuer, die Lichtfarbe ist in der Regel sehr „kalt“. Für die Zukunft ist von dieser Technik allerdings noch viel zu erwarten. Für den Museumsbereich sind diese Leuchten aus energetischer Sicht vorzuziehen, müssen jedoch den konservatorischen und präsentationstechnischen Bedingungen entsprechen.

Elektrische Geräte wie Computer, Kopierer, Faxgeräte, Fernseher etc. sollten über Steckerleisten zentral abschaltbar sein, um den energiezehrenden Stand by - Betrieb zu vermeiden.

### 2.6 Gesamtbetrachtung

Energie sparen, die Umwelt schonen und nachhaltig den Betrieb der Gebäude sicherstellen erfordert eine umfassende Betrachtung, die zum einen das Gebäude mit allen statischen Bauteilen, und zum anderen alle technischen Einrichtungen mit ihren dynamischen Eigenschaften betrifft. Weiterhin ist der Nutzer mit seinen Komfortansprüchen, der Anlagenbetreiber mit seinen Kenntnissen über den optimalen Betrieb der Anlagen sowie Wartung und Instandhaltung von technischen Einrichtungen zu berücksichtigen.

Optimale Lösungen lassen sich nur bei ganzheitlicher Betrachtung erzielen, wobei nicht durch umfangreiche Technik Defizite an anderen Stellen zu kompensieren sind, sondern der Umfang der Technik sich auf das Notwendige beschränken sollte.

### 2.7 Betrieb

Die kritische Diskussion der Anforderungen an Gebäuden, Räumen und technischen Einrichtungen sollte am Beginn des Optimierungsprozesses stehen, da hierdurch ein wesentlicher Einfluss auf den zukünftigen Ressourcenverbrauch festgelegt wird.

Dann ist der Ist-Zustand zu erfassen und zu bewerten. Die Erstellung eines Nutzungssummenprofils erlaubt es, die Vorteile einer Verbundlösung optimal umzusetzen.

Bei der Auswahl der Maßnahmen ist dann auf Zuverlässigkeit, Ausgereiftheit der angestrebten Lösungen, Nachhaltigkeit und nicht zuletzt Einhaltung technischer Regeln und Richtlinien zu achten.

### 3 Bestandsanalyse der zu untersuchenden Liegenschaft

#### 3.1 Baulicher Zustand

##### 3.1.1 Vorbemerkungen

Vom Bistum Osnabrück wird das Domforum, bestehend aus dem Diözesanmuseum, der Diözesanverwaltung und den Probenräumen des Domchores umgebaut und neu gestaltet.

Insbesondere für das Diözesanmuseum, das nur einen Teil seiner Exponate in klimatisierten Vitrinen ausstellt soll zum Schutz der Ausstellungsstücke ein museumsgerechtes Klima geschaffen werden.

Anhand eines ganzheitlichen Energiekonzeptes, welches auch den angrenzenden Dom umfasst, soll eine Sanierung der Beheizung erfolgen. Hierfür ist es erforderlich die baulichen Gegebenheiten, soweit dies möglich ist, zu verbessern. Bestimmt bisher der große Dom den Energieverbrauch der Liegenschaft, so wird durch die Klimatisierung das Museum zu einem weiteren wesentlichen Verbraucher.

In den letzten Jahrzehnten sind die Anforderungen an die Klimabedingungen in Museen immer mehr präzisiert worden, und die Anforderungen in der Broschüre „Raumklima in Museen“ [11] stellt derzeit den Stand der Technik dar. Insbesondere ist die Luftfeuchtigkeit möglichst konstant zu halten und abrupte Schwankungen sollen vermieden werden. Dem gegenüber steht das Bedürfnis der Besucher nach Raumtemperaturen von 20° Celsius und mehr.

Durch die Klimatechnik entstand in der Vergangenheit der Eindruck, dass Baukörper und Innenraumklima nicht mehr zwingend in einem Zusammenhang stehen. Hierdurch entstanden nicht nur erhebliche Kosten für Energieverbrauch und für die Wartung der Anlagen, sondern insbesondere immer wieder Schäden gerade an historischer Bausubstanz. Gleichzeitig zeigte sich, dass fast alle „alten“ Gebäude bei Störungen der Anlagentechnik wesentlich günstiger reagierten als Neubauten.

Gerade bei kirchlichen Museen, die in der Regel in historischen Baukörpern liegen, gilt es, diese positiven Gebäudeeinflüsse weitestgehend zu realisieren und Schäden an der historischen Bausubstanz zu vermeiden. Gleichzeitig liegt hier aufgrund der „langen“ Nutzungsdauer eine zusätzliche Chance, Investitionen langfristig zu amortisieren. Bei einer Sanierung der Gebäudehülle unter Verwendung entsprechender ressourcenschonender Baustoffen besteht dann ein großes wirtschaftliches Potential zur Energieeinsparung.

Ganzheitliche Ansätze als Kombination einer reduzierten Anlagentechnik und einer optimierten Bauhülle sind derzeit noch nicht so vorhanden, dass sie mit geringen Mitteln auf verschiedene Projekte angewendet werden können. Diese Studie soll einen Beitrag hierzu leisten.

In diesem Teil der Studie, der sich im Wesentlichen mit den baulichen Gegebenheiten auseinandersetzt, sollen folgende Punkte eingehend untersucht werden:

- a) Ermittlung der raumklimatischen und bauphysikalischen Parameter
- b) Erarbeitung eines Maßnahmenkataloges unter Berücksichtigung verschiedener Aspekte für die Sanierung und Erneuerung von historischen Räumen insbesondere zu musealen Zwecken
- c) Erarbeitung von Lösungen für kirchliche und historische Gebäudekomplexe unter dem Aspekt einer energiesparenden Bewirtschaftung

Ein wesentlicher Teil des Gebäudekomplexes ist aufgrund der Zerstörungen im zweiten Weltkrieg erst in den fünfziger und sechziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts erneuert worden. Gleichwohl gibt es Forderungen des Denkmalschutzes, da bei diesen Sanierungen der historische Fassadencharakter erhalten wurde. Große Teile der Gebäude bestehen aber aus Lochziegelmauerwerk und Stahlbeton, so dass gerade die typischen Mängel des Wärmeschutzes für die in der Nachkriegszeit errichteten Gebäude zutreffen. Eine Anpassung an heutige Anforderungen ist aber aufgrund des Denkmalschutzes nicht möglich.

Wie im nachfolgenden Kapitel noch eingehender erläutert, sind die heutigen Anforderungen an die Raumtemperaturen gerade bei sakralen Räumen und in den Museen deutlich höher als in früheren Zeiten. Dieser Umstand kann aber nicht mehr dahingehend geändert werden, dass z.B. die Raumtemperaturen wieder abgesenkt würden, auch wenn hierdurch erhebliche Energieeinsparungen möglich wären, ohne dass man kostenintensive Sanierungen vornimmt.

### 3.1.3 Ist-Zustand

#### Dom

Der Dom zu Osnabrück ist in seiner wechselvollen Geschichte mehrfach umgebaut und erweitert worden. Wesentliche Bauteile des heutigen Domes entstanden nach einem Brand ab dem Jahre 1100.

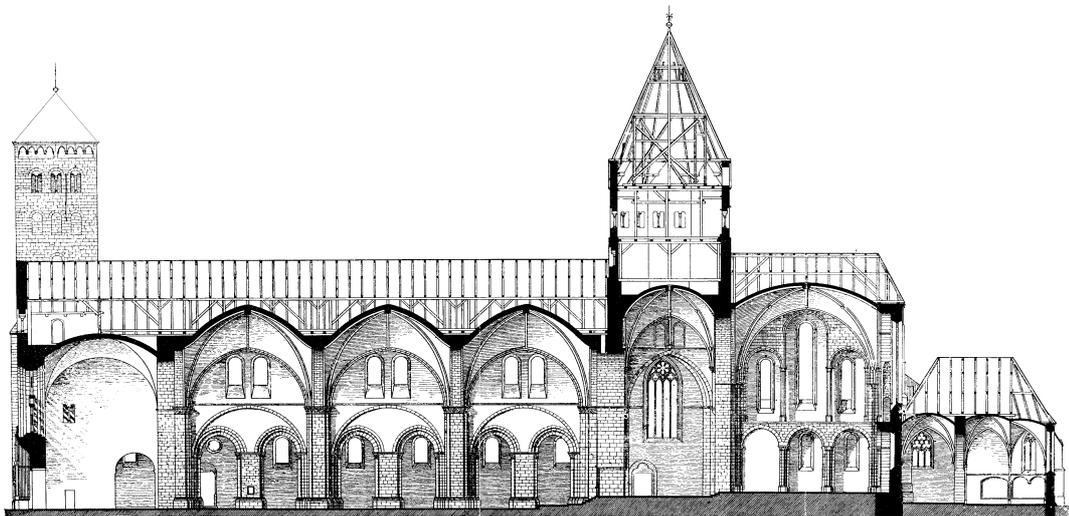


Abbildung 7 - Längsschnitt durch den Dom

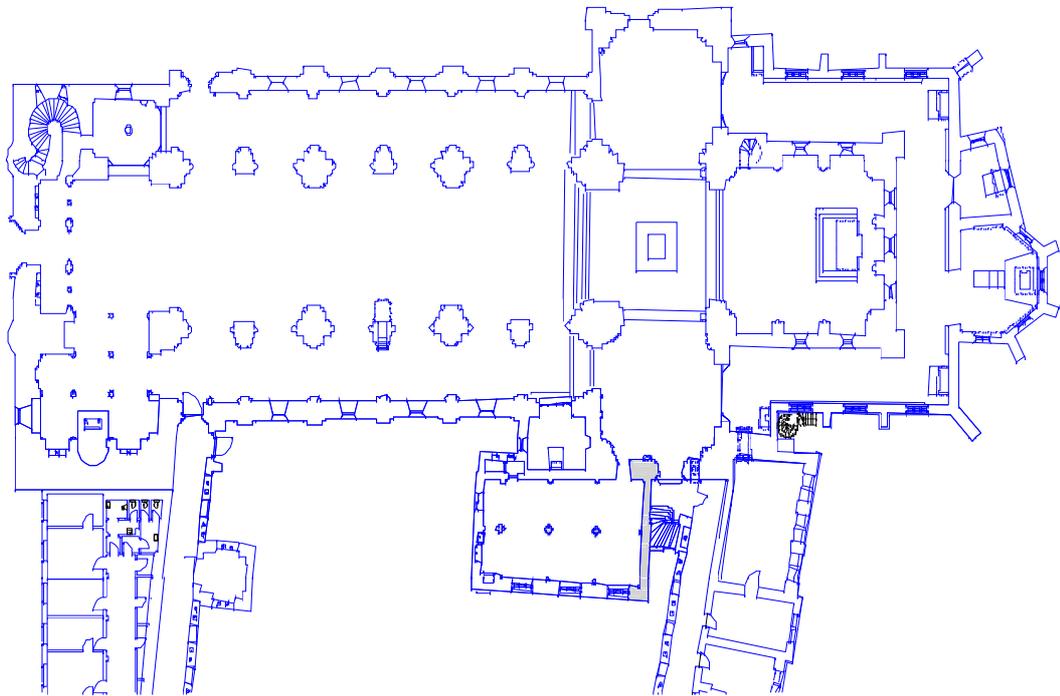


Abbildung 8 – Grundriss Dom

Bei dem romanischen Gebäude bestehen die Außenwände aus einem meterdicken „mehrschichtigen“ Mauerwerk. Die Fenster sind einfach bleiverglast, das Dach besteht aus einem verputzten Sandsteingewölbe mit einer aufbetonierten Schale und der Boden aus in Sand verlegten Steinplatten.

Eine Thermografie durch das Kirchenschiff im Winter (Außentemperatur ca. 5 °C) zeigt, dass die mit Abstand kältesten Flächen die Fenster darstellen.

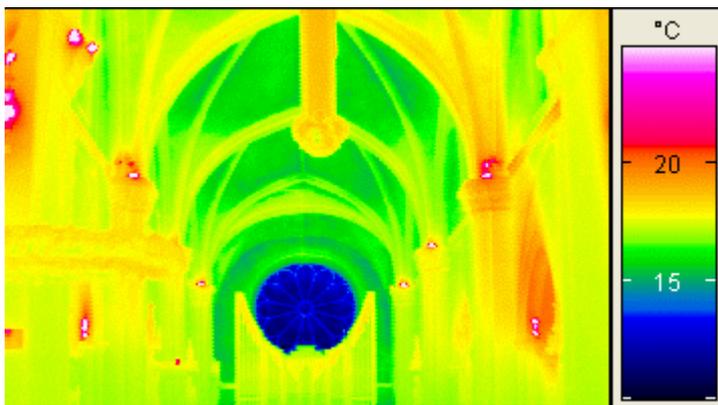


Abbildung 9 - Blick durch das Kirchenschiff auf die Orgel

Aber es wird auch deutlich, wie ungleichmäßig die Wärmeverteilung im Kirchenschiff durch die Luftheizung ist. So zeigt die nächste Thermografie die Erwärmung der Vierung:

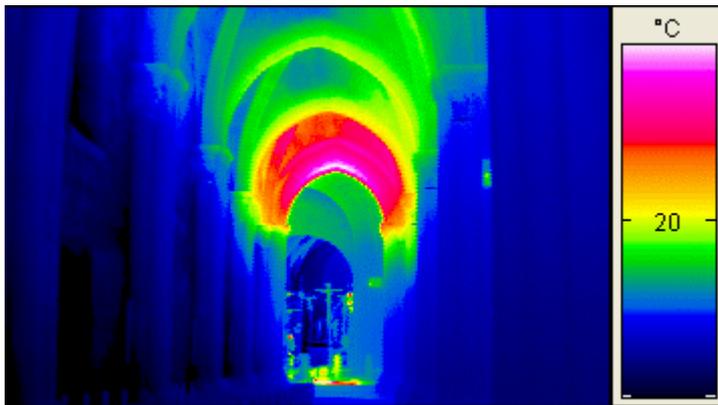


Abbildung 10 - Erwärmung der Vierung durch die Luftheizung

Wie die vorstehenden Bilder zeigen, ist die Temperaturverteilung im Bereich des Domes sehr ungünstig. Die Messungen haben ergeben, dass gerade im Bereich der Gemeinde die Temperaturen deutlich unter 20° Celsius lagen (ca. 17° Celsius), da die Warmluft nur langsam in diesen Bereich gelangte. Gleichzeitig stellen die kalten Wandoberflächen ein Problem der Behaglichkeit dar.

Die massiven und kalten Wände führen auch dazu, dass die Heizung nicht kurzzeitig reduziert werden kann, da dann die Raumtemperatur innerhalb kurzer Zeit um einige Grad abgekühlt wurde. Dies ergab sowohl die Simulation als auch die zur Verifizierung durchgeführten Messungen.

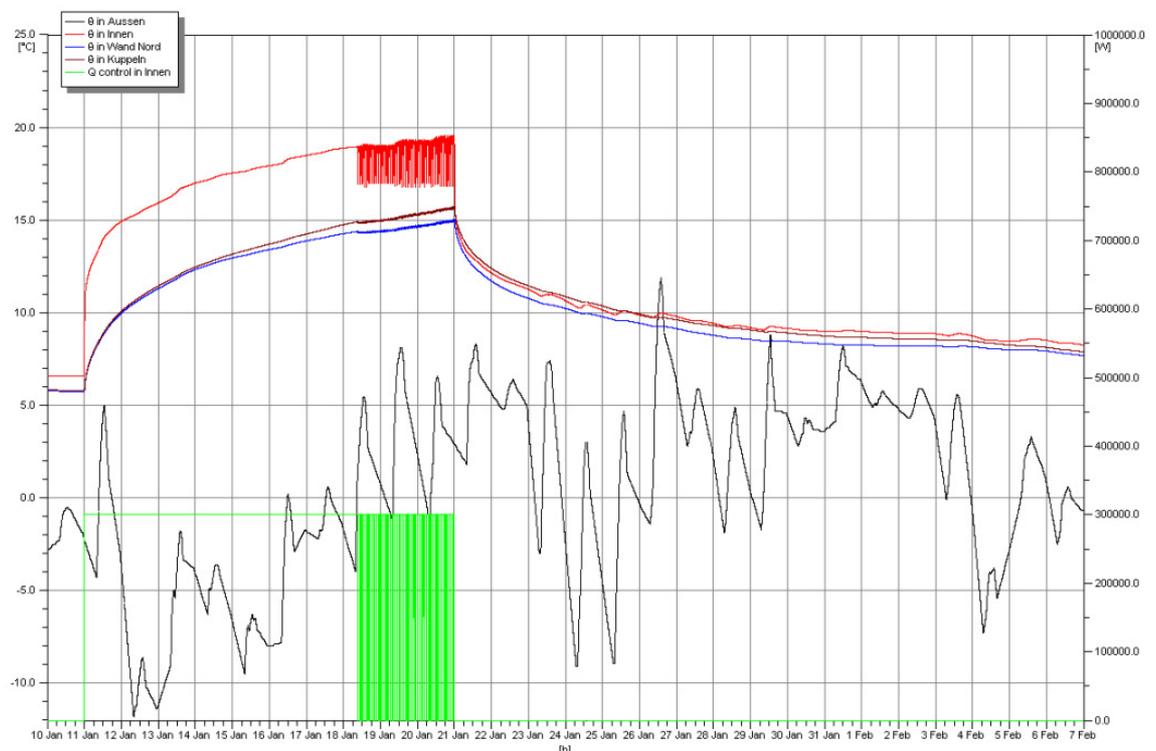


Abbildung 11 - Simulation des Auskühlverhaltens des Domes

Bilanziert man die Wärmeverluste, so zeigt sich genau dieser Effekt ebenfalls, dass nämlich den Lüftungsverlusten nur eine untergeordnete und den Fenstern (relativ geringe Flächenanteile) nur eine geringe Bedeutung bei den Wärmeverlusten zu kommt.

Angesichts der kalten Wandoberflächen und der ungünstigen Luftverteilung durch die Beheizung erscheint es im vorliegenden Fall langfristig sehr viel sinnvoller, eine Bodenbeheizung vorzusehen. In diesem Fall wären dann als baulicher Wärmeschutz eine Wärmedämmung unter den Bo-

denplatten sinnvoll und wirtschaftlich. Dieser ist mit denkmalschützerischen und technischen Gegebenheiten (notwendiger Platzbedarf, Fundamente und Abdichtung, ggf. vorhandene historische Funde im Kirchenschiff) abzustimmen.

Wegen der gerade erst erfolgten Sanierung des Domes in Osnabrück ist aber eine solche Maßnahme mit massiven Eingriffen z.Zt. unopportun und nicht weiter verfolgt worden.

Ein weiterer Vorteil wäre die deutliche geringere Verschmutzung durch die verringerte Luftbewegung bei einer Strahlungsheizung.

[Anlage Bauphysik 2: Raumklimatische Messungen im Dom](#)  
[Anlage Bauphysik 8: Simulation Energiezustände Dom](#)

Museum und Diözesanverwaltung

Der Gebäudekomplex besteht aus dem historischen Kreuzgang (um den Innenhof umlaufend), dem in den fünfziger und sechziger Jahren wiederaufgebauten Museum und der Diözesanverwaltung. Im Wesentlichen handelt es sich um ein Außenmauerwerk mit Hochlochziegeln oder Kalksandsteinen und einer vorgemauerten Natursteinfassade. Die Fenster bestehen im Museumsbereich aus einer Einfachverglasung und im Bereich der Verwaltung aus Holzfenstern mit Isolierverglasung. Die Dächer und Decken sind weitestgehend ungedämmt. Zum Teil sind 4 cm starke Holzwolllleichtbauplatten als Putzträgerplatten eingebaut und die Decken mit einer ein bis zwei Zentimeter starken Dämmung aus mineralischem Faserdämmstoff gedämmt. Zur Übersicht sind die Wärmedurchgangskoeffizienten der Bauteile ermittelt worden:

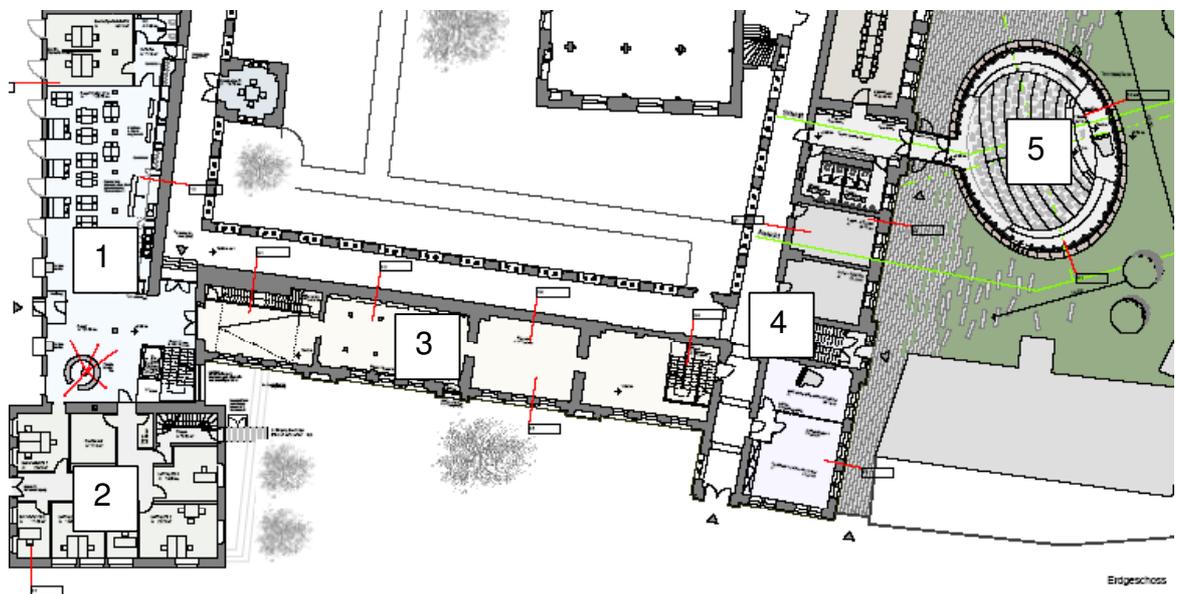


Abbildung 12 - Übersichtsschema Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte)

Diözesanmuseum		
1.1	1,206	W/m <sup>2</sup> K
1.2	0,860	W/m <sup>2</sup> K
2.1	0,957	W/m <sup>2</sup> K
3.1	0,575	W/m <sup>2</sup> K
3.2	0,954	W/m <sup>2</sup> K

3.3	1,222	W/m <sup>2</sup> K
3.4	1,979	W/m <sup>2</sup> K
3.5	1,549	W/m <sup>2</sup> K
4.1	1,422	W/m <sup>2</sup> K
4.2	0,954	W/m <sup>2</sup> K
4,3	1,135	W/m <sup>2</sup> K
<b>Fenster alle Bauteile</b>		
3 Kastenfenster	2,0	W/m <sup>2</sup> K
2 Holzfenster	2,6	W/m <sup>2</sup> K
4 Einfachfenster	5,2	W/m <sup>2</sup> K
1 Neue Fenster	1,6	W/m <sup>2</sup> K

Tabelle 1 - Übersicht Wärmedurchgangswiderstände Museum und Verwaltung im Bestand

Aus dieser Tabelle ist ersichtlich, dass die U- Werte heutigem Standard nicht mehr entsprechen.

[Anlage Bauphysik 1: Raumklimatische Messungen im Diözesanmuseum](#)

[Anlage Bauphysik 4: Raumklimatische Messungen im Seelsorgeamt](#)

### 3.2 Bestandserfassung Wärmeversorgung Domforum Osnabrück

#### 3.2.1 Anlagenbeschreibung Wärmeversorgung

Die Wärmeerzeugung Domforum besteht zur Zeit aus 3 Kesselanlagen, die in drei verschiedenen Heizzentralen untergebracht sind. Einzelheiten zu den verschiedenen Kesselanlagen sowie zur Lüftungsanlage Dom sind den Datenblättern zu entnehmen, die im Anhang beigelegt sind.

- Kesselanlage Dom , BJ 1982, Feuerungsleistung 388 kW, Ölbrenner
- Kesselanlage Museum, BJ 1973, Feuerungsleistung 129 kW, Ölbrenner
- Kesselanlage Seelsorgeamt, BJ 1989, Feuerungsleistung 233 kW, Ölbrenner
- Lüftungsanlage zur Domheizung, Wärmeversorgung durch 1



Abbildung 13 - Veraltete Kesselanlage Museum

### Wärmeverteilung

Die Wärmeverteilung erfolgt in den verschiedenen Gebäudeteilen jeweils über verschiedene Heizkreise. Die Heizkreise verfügen über separate Pumpen und sind zeitabhängig geregelt.

### Wärmeabgabe an die Räume

Die Wärmeabgabe an die Räume erfolgt in Museum und Seelsorgeamt über statische Heizflächen. Der Dom wird über eine Luftheizung beheizt.

### Museum

Das Museum wird zur Zeit über statische Heizflächen nur wenig beheizt, das heißt auf niedrigem Temperaturniveau im Winter um 12 °C. Es gibt keine Klimatisierung. Die Öffnung des Museums für regelmäßige Besucherströme ist zur Zeit nicht gegeben, soll aber in Zukunft erfolgen. Daher ist der Bedarf an Beheizung und auch an Klimatisierung in Zukunft gegeben.

### 3.2.2 Messtechnische Erfassung Wärmeerzeugung und Wärmeverteilung

An folgenden Bereichen wurden im Rahmen der Studie Messungen zur Überprüfung des Wärmebedarfs und des Nutzerverhaltens durchgeführt:

- Kesselanlage Dom
- Kesselanlage Seelsorgeamt
- Kesselanlage Museum

An den Kesselanlagen wurden in der Regel folgende Messungen durchgeführt:

- Messung der Brennerlaufzeiten
- Ermittlung der Brennervorbelüftungszeit
- Ermittlung des spezifischen Heizölverbrauchs
- Ermittlung des periodischen Heizölverbrauchs
- Messung der Abgastemperaturen
- Messung der Außentemperaturen

Weitere Einzelheiten zu den Messungen sind den Erläuterungen im Anhang zu entnehmen.



Abbildung 14 - Messungen an den Kesselanlagen

Zusammenfassung der Messergebnisse:

1. Die installierte Leistung entspricht bei allen Kesselanlagen nicht dem Bedarf. Die Korrelation der erforderlichen Heizleistung gegenüber der Außentemperatur ergab eine deutliche Überdimensionierung der Kesselanlagen.
2. Häufiges Takten des veralteten Brenners und die relativ geringen Gesamtbrennerlaufzeiten führen zu hohen Wärmeverlusten über den Abgasweg.
3. Eine veraltete Regeltechnik lässt keine optimale Betriebseinstellung zu.
4. Bei der Anlagen Dom wirkt die Veränderung der Außentemperatur durch die hohen Speichermassen stark abgeschwächt auf die benötigte Kesselleistung.
5. Hohe Kirchenbesucherzahlen führen bei der Kesselanlage Dom unmittelbar zu einem verringerten Kesselleistungsbedarf.

In der unten dargestellten Abbildung sind die Messpunktedargestellt, die im Betrieb ermittelt wurden. Die Linien stellen die Korrelation Außentemperatur/Brennerleistung dar. Bei einer Normaußentemperatur von  $-12\text{ °C}$  gemäß DIN EN 12831 [12] wird demnach nur eine Brennerleistung von ca. 235 kW benötigt. Installiert sind zur Zeit 350 kW. Der blaue Punkt, der sehr deutlich nach unten aus der Richtung schlägt, stellt die gemessene Brennerleistung während einer nahezu vollbesetzten Kirche dar.

- [Anlage Technik 11: Bericht zur Messung an der Kesselanlage Dom](#)
- [Anlage Technik 12: Messergebnisse Kesselanlage Dom](#)
- [Anlage Technik 13: Bericht zur Messung an der Kesselanlage Museum](#)
- [Anlage Technik 14: Messergebnisse Kesselanlage Museum](#)
- [Anlage Technik 15: Bericht zur Messung an der Kesselanlage Seelsorgeamt](#)
- [Anlage Technik 16: Messergebnisse Kesselanlage Seelsorgeamt](#)

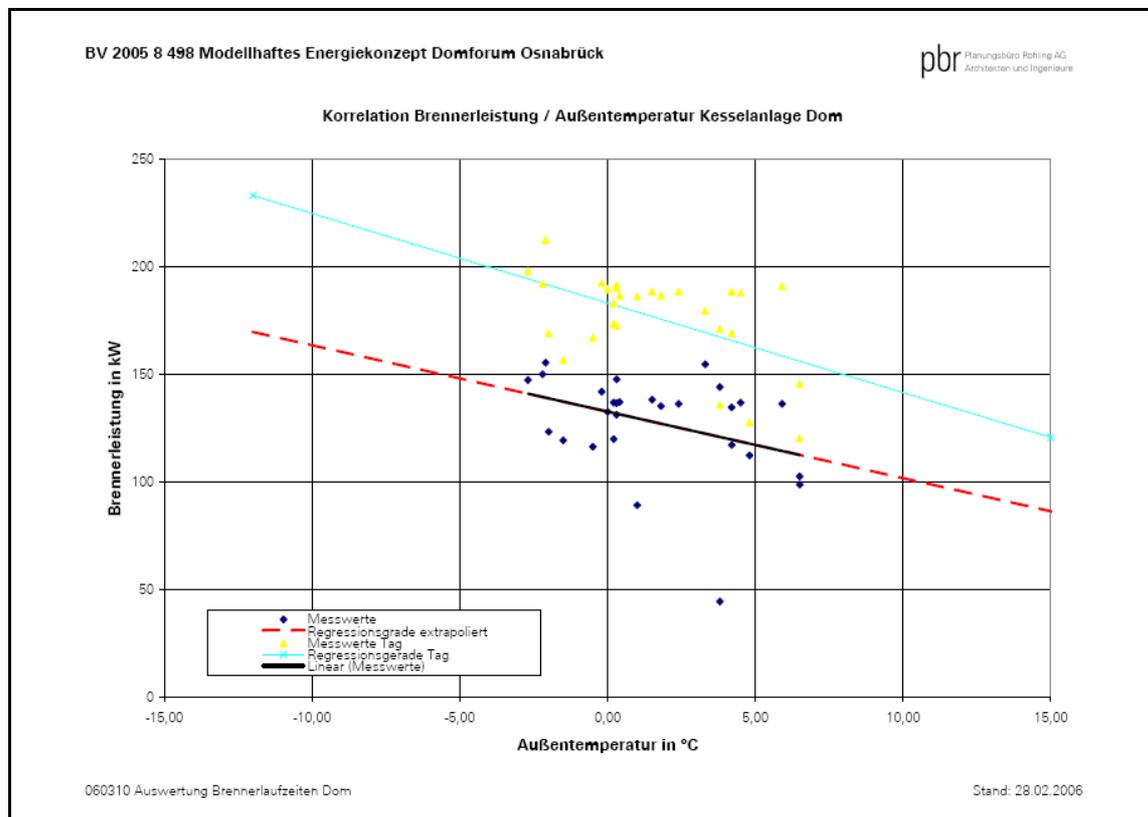


Abbildung 15 -Korrelation Brennerleistung Anlage Dom

### 3.2.3 Messung Lüftungsanlage Dom

An der Lüftungsanlage zur Beheizung des Doms wurde eine Messung der Anlagenlaufzeiten bzw. Messung der Laufzeiten je Lüfterstufe durchgeführt. Weitere Einzelheiten zu den Messungen sind den Erläuterungen im Anhang zu entnehmen.

Auswertung der Messergebnisse:

In der nächsten Abbildung ist das Takten der Lüftungsanlage dargestellt. Gut zu erkennen ist die längere Betriebsunterbrechung in der Nachtzeit sowie eine kurze Aufheizphase jeweils in den frühen Morgenstunden. Bei mittleren Tagestemperaturen von 6 °C und einer maximalen Temperatur von 16 °C ist etwa eine Volllastbetriebszeit von 35 % zu erwarten.

Die installierte Luft- und Wärmeleistung ist nicht dem Bedarf angepasst. Der Betrieb in der 3. Stufe wird nur selten erreicht. In der Regel schaltet die Anlage zwischen Stufe 1 oder 2. In den Nachtstunden wird die Anlage ganz abgeschaltet.

Es kann davon ausgegangen werden, dass die Anlage erheblich überdimensioniert ist. Eine abgestimmte Regelung unter Einbeziehung von Betriebszeit und Zulufttemperatur findet nicht statt.

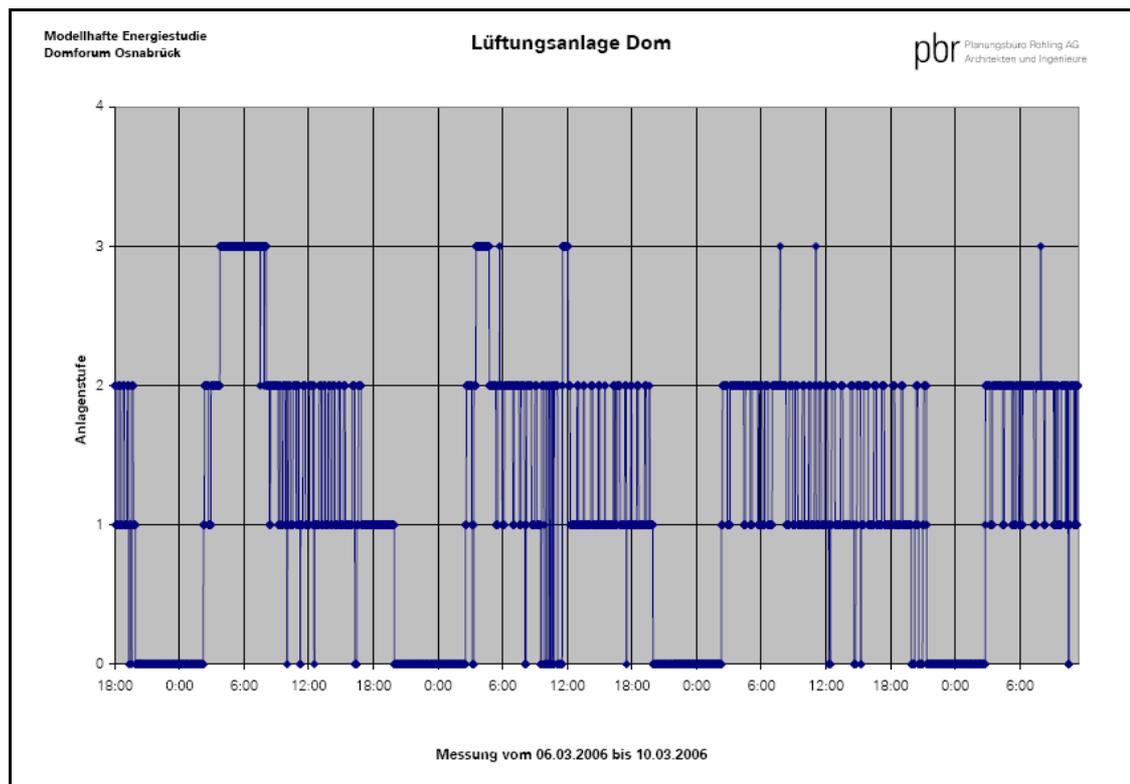


Abbildung 16 - Betriebsstufenmessung Lüftungsanlage Dom

[Anlage Technik 17: Bericht zur Messung an der Lüftungsanlage Dom](#)  
[Anlage Technik 18: Messergebnisse Lüftungsanlage Dom](#)

### 3.2.4 Messung der Gebäudedichtigkeit

Die Dichtheit des Kirchengebäudes ist von besonderem Interesse zur Beurteilung folgender Aspekte:

- Energieverluste durch Undichtigkeiten am Gebäude und dadurch einströmende Kaltluft
- Austrocknung im Winter durch einströmende trockene Außenluft
- Ansteigen der Luftfeuchtigkeit im Sommer durch einströmende feuchte Außenluft
- Austausch feuchter Innenluft in Folge menschlicher Feuchtigkeitsabgabe durch die Kirchenbesucher
- Austausch CO<sub>2</sub> belasteter Innenluft in Folge menschlicher Atmung durch die Kirchenbesucher

Demnach ist ein Mindestluftaustausch erforderlich, ein zu großer Außenluftaustausch ist jedoch eher schädlich.

Um die Dichtheit des Kirchengebäudes beurteilen zu können, wurde ein Blower-Door Test durchgeführt.



Abbildung 17 - Druckventilatoren im Kircheneingang

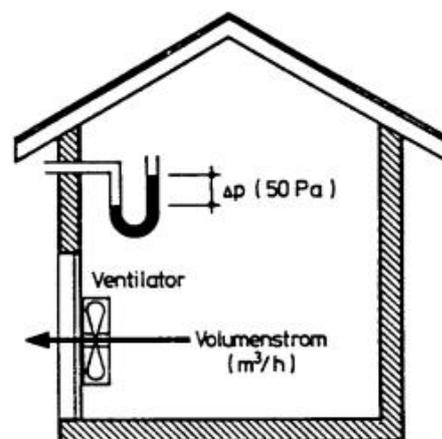


Abbildung 18 - Prinzip Blower Door Test

Die Messung ergab einen stündlichen Außenluftwechsel über Undichtigkeiten des Gebäudes von 0,5. Dieser relativ niedrige Wert war nicht erwartet worden, da die einfachen Fenster und eine nicht besonders dichte Deckenkonstruktion auf einen eher höheren Wert hindeuteten. Das sehr große Luftvolumen bzw. das geringe A/V- Verhältnis bewirkt, dass die relative Wirkung der Undichtigkeit, erkennbar an der Luftwechselzahl, gering bleibt. Unabhängig davon bedeutet auch dieser niedrige Wert bei der Größe des Gebäudes noch ein hohes Luftvolumen, das regelmäßig ausgetauscht wird.

Zur Bestätigung dieses Dichtheitswertes wurde ebenfalls ein Blower Door Test durchgeführt in der Johanniskirche in Osnabrück. Diese Gebäude ist vom Alter, von der Bauform und von der Größe sehr gut vergleichbar. Auch in dieser Kirche wurde ein Außenluftwechsel von 0,5 je Stunde gemessen.

[Anlage Bauphysik B5: Untersuchung Luftdichtigkeit romanischer Kirchen](#)

### 3.2.5 Messung CO<sub>2</sub>- Anteil in der Luft

Da nicht abzuschätzen war, auf welche Raumbereiche sich die CO<sub>2</sub> Belastung durch die Kirchenbesucher auswirkt, wurde die Konzentration über einen längeren Zeitraum gemessen. Die Messung ergab, dass sich die Konzentration im gesamten Kirchenraum auswirkt und nicht nur im Bereich der Besucher in Bodennähe. Die Messung bestätigte ebenfalls, dass nachdem die Besucher den Kirchenraum verlassen, die CO<sub>2</sub> Konzentration kontinuierlich zurückgeht, also über den natürlichen Luftaustausch abgebaut wird. Details zur Messung sind im Anhang dokumentiert.

Anlage Bauphysik B3: Messung der Luftqualitäten während eines Gottesdienstes  
 Anlage Technik T19: Datenblatt CO<sub>2</sub>- Messung im Dom

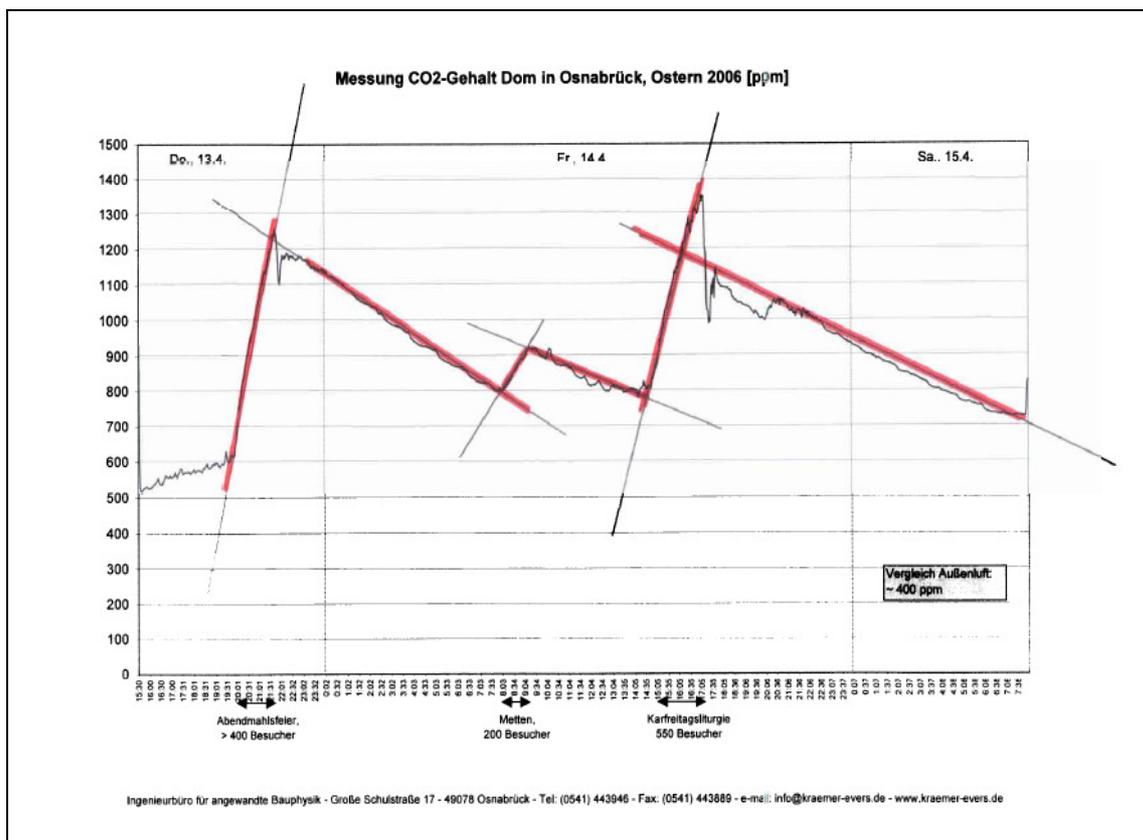


Abbildung 19 – Verlauf CO<sub>2</sub>- Anteil in der Luft

### 3.2.6 Ergebnisse der bauphysikalischen Messungen

In Bezug auf die oben genannten Aspekte ergibt sich folgende Beurteilung:

- **Energieverluste:** Die aus der Undichtigkeit resultierenden Energieverluste sind zu kompensieren. Um diese zu reduzieren, sollten unnötig offene Stellen im Gebäude abgedichtet werden. Weitere Maßnahmen wie Austausch der Fenster oder anderer nicht dichter Konstruktionen sind nur bedingt sinnvoll, da es sich hier in der Regel um historischer Bausubstanz handelt, die entweder gar nicht oder nur mit großem Aufwand zu ersetzen oder anzupassen ist.
- **Austrocknung im Winter:** Die aus der Undichtigkeit resultierende Austrocknung ist durch die oben genannten Maßnahmen ebenfalls auf ein Minimum zu reduzieren. Eine bedenklich schnelle Austrocknung, die Schäden an Kunstschätzen, Mobiliar, Orgel oder anderen wertvollen Gegenständen hervorrufen könnte, ist jedoch nicht zu erwarten.

- Feuchtigkeitsanstieg im Sommer: Der aus der Undichtigkeit resultierende Anstieg der Feuchtigkeit ist durch die oben genannten Maßnahmen ebenfalls auf ein Minimum zu reduzieren. Ein bedenklich schneller Anstieg, der Schäden an Kunstschätzen, Mobiliar, Orgel oder anderen wertvollen Gegenständen hervorrufen könnte, ist jedoch wegen der großen Luftmengen nicht zu erwarten.
- Feuchtigkeitsanstieg durch Kirchenbesucher: Zum Austausch dieser Feuchtigkeit wäre ein hoher Luftaustausch vorteilhaft. Der gemessene natürliche Luftaustausch reicht jedoch in der Regel aus, die durch Kirchenbesucher eingebrachte Feuchtigkeit abzuführen.
- CO<sub>2</sub>- Anstieg durch Kirchenbesucher: Zum Austausch des CO<sub>2</sub> Gases wäre ebenfalls ein hoher Luftaustausch vorteilhaft. Der gemessene natürliche Luftaustausch reicht jedoch aus, die durch Kirchenbesucher erzeugte Erhöhung der CO<sub>2</sub> Konzentration abzuführen.

### 3.2.7 Weitere Erkenntnisse durch die Bestandsaufnahme

Bei der Bestandserfassung wurde festgestellt, dass zwischen Lüftungs- bzw. Heizzentrale Dom und dem Domgebäude keine Rauch- bzw. Brandschutzeinrichtungen im Luftkanal vorhanden sind. Hier besteht dringend Handlungsbedarf.

Die Luftführung der Dombeheizung führt zu einer ungünstigen Wärmeverteilung im Domgebäude. Bei einer Sanierung der Luftheizung ist eine Änderung der Luftführung, z. B. Tauschen von Zuluft- und Abluftkanälen, in Erwägung zu ziehen.

Der Umluftkanal der Domluftheizung ist mit einem Außenluftkanal verbunden. Über diesen Kanal soll ein Frischluftanteil der Umluft beigemischt werden. Entsprechende Abluftmengen entweichen dann über Undichtigkeiten. Der Außenluftanteil ist jedoch nicht einstellbar. Bei einer Sanierung sollte der Außenluftanschluss komplett verschlossen werden, da kein Bedarf an Frischluftzuführung über die Luftheizungsanlage besteht. Die Frischluftzufuhr über Undichtigkeiten im Gebäude reicht aus, dies wurde durch die CO<sub>2</sub>- Messung sowie durch den Blower-Door-Test belegt.

Neben der Überdimensionierung der Wärmeerzeuger sind auch alle Pumpen überdimensioniert. In der Regel erfolgt keine zeitabhängige Ein- und Ausschaltung. Auch ist eine Anpassung an den Betriebspunkt der Anlage durch Drehzahlregelung nicht vorhanden.

4 Bauliche Maßnahmen zur Reduzierung des Energiebedarfs

4.1 Bauliche Maßnahmen

4.1.1 Dämmmaßnahmen für einen energiesparenden Wärmeschutz

Dom

Wie bereits im Abschnitt 2.1 erläutert, sind Maßnahmen zur Wärmedämmung im Bereich der Wände und der Fenster des Domes aus Gründen des Denkmalschutzes nicht möglich.

Die Dämmung der Dachgewölbe ist aufgrund der zahlreichen Wärmebrücken nur mit einem losen Material möglich. Eine sinnvolle Maßnahme wäre langfristig die Anordnung einer Fußbodenheizung einschließlich einer Dämmung der Bodenplatte. Wegen der gerade erst erfolgten Sanierung des Domes in Osnabrück ist aber eine solche Maßnahme mit massiven Eingriffen z.Zt. unopportun und nicht weiter verfolgt worden.

Diözesanmuseum und -verwaltung

Zunächst wurden alle denkbaren, technisch realisierbaren Dämmvarianten zusammengetragen. In der Auswertung wurden dann die durch die Maßnahmen eingesparte Energiemenge ermittelt. Die aus der Energieeinsparung resultierende Kostenersparnis wurde den Kosten für die Dämmmaßnahmen gegenübergestellt und eine einfache Amortisation ermittelt.

Folgende Dämmmaßnahmen wurden untersucht:

1.	Schrägdachdämmung Dachgeschoss	$U = 0,3 \text{ W/m}^2 \times \text{K}$
2.	Dachdämmung Dachgeschoss	$U = 0,3 \text{ W/m}^2 \times \text{K}$
3.	Fenster Dachgeschoss	$U_{f,BW} = 1,7 \text{ W/m}^2 \times \text{K}$
4.	Äußerer Sonnenschutz	$g = 0,25$
5.1.	Verglasung Dachgeschoss	$g = 0,35$
5.2.	Innenliegender Sonnenschutz	$g = 0,4$
7.	Abseitenwände	$U = 0,4 \text{ W/m}^2 \times \text{K}$
8.	Verbesserte Fenster Erd und Obergeschoss	$U_{f,BW} = 1,4 \text{ W/m}^2 \times \text{K}$
9.	Bodendämmung nicht unterkellertes Bereich	$U = 0,4 \text{ W/m}^2 \times \text{K}$
10.	Dämmung Kellerdecke	$U = 0,4 \text{ W/m}^2 \times \text{K}$
11.	Dämmung Kellerfußboden	$U = 0,4 \text{ W/m}^2 \times \text{K}$
12/13	Fußboden (Perimeterdämmung)	$U = 0,5 \text{ W/m}^2 \times \text{K}$

Tabelle 2 - Wärmedurchgangskoeffizienten Seelsorgeamt

1.	Kastenfenster	$U_{f,BW} = 2,1 \text{ W/m}^2 \times \text{K}$
2.	Sonnenschutz im Zwischenraum einschl. Glas	$g = 0,1$
3.	Innenwanddämmung	$U = 0,8 \text{ W/m}^2 \times \text{K}$
5.	Kellerdeckendämmung	$U = 0,4 \text{ W/m}^2 \times \text{K}$
6.	Fußboden (Perimeterdämmung)	$U = 0,5 \text{ W/m}^2 \times \text{K}$
7.	Dachbodendämmung Technikbereich	$U = 0,3 \text{ W/m}^2 \times \text{K}$
8.	Dachbodendämmung Bodenräume	$U = 0,3 \text{ W/m}^2 \times \text{K}$

Tabelle 3 - Wärmedurchgangskoeffizienten Museum

Die Maßnahmen wurden dann eingeteilt in 4 Kriterien:

- Nur notwendigste Maßnahmen im Zuge der geplanten Umbaumaßnahme
- Maßnahmen mit guter Wirtschaftlichkeit
- Maßnahmen mit langfristiger Wirtschaftlichkeit
- Optimale Dämmung gemäß den Möglichkeiten des Gebäudes

Feuchteschutz bei zusätzlichen Dämmmaßnahmen

[Anlage Bauphysik B6: Untersuchung des Feuchteschutzes bei Innendämmungen und Wandheizsystemen unter Berücksichtigung des Museumsklimas](#)

Innendämmungen werden heute meistens polemisch und vielfach ohne praktische Erfahrungswerte bewertet. Wird von Innendämmungen gesprochen, dann sollen es meist Wandkonstruktionen sein, die entweder aus denkmalpflegerischer Sicht außen nur schwer durchführbar oder als Maßnahme in einzelnen Wohnungen sinnvoll einzusetzen sind. Die Innendämmung ist in bauphysikalischer Hinsicht jedoch nicht als völlig harmlos anzusehen. Nachfolgend finden sich nun einige Vor- und Nachteile der handwerklichen Ausführung:

- (+) Die Bauausführung ist in kurzer Zeit durchführbar.
- (+) Der gedämmte Raum ist schnell aufheizbar.
- (+) Die Arbeit ist bezogen auf die Problematik kostengünstig herstellbar.
- (-) Die einzusetzenden Dämmmaterialien lassen sich nur schwer passgenau verarbeiten.
- (-) Die Nutzfläche wird unter Umständen reduziert.

Probleme treten jedoch nicht nur bei der Planung, sondern auch beim Verarbeiten selbst auf. Hierzu sind einige wichtige Gedanken anzuführen. Wichtig ist es, dass auch Fensterleibungen bei der Einbindung von innen angebrachter Dämmschichten berücksichtigt werden. Das Gleiche gilt auch für in Außenwände einbindende Bauteile (Innenwände, Betondecken). Hier kommt es zu einer Temperaturabsenkung im Übergang vom gedämmten zum ungedämmten Bereich im Sinne der vorher beschriebenen Wärmebrücken. Dies führt vor allem bei Taupunktunterschreitungen zu Feuchteanfall und schließlich zu Schimmelpilzbildungen.

Ähnliche Merkmale sind im Prinzip auch bei Ausführungsmängeln anzutreffen, die dann ganz besonders stark ins Auge fallen. Vor allem Lücken in der Innendämmung sind hier besonders anzusprechen. Auch Befestigungen können sich nachteilig auswirken.

Als Innendämmkonstruktion haben sich folgende Lösungen bewährt:

- Verbundplatten mit z.B. Gipsfaserplatten und Dämmstoff
- Extrudierte Polysteroldämmplatten 4 mm (nur einsetzbar als punktuelle Lösung)
- Kalziumsilikatplatten.

Bei allen Innendämmmaßnahmen ist somit nicht nur besonders sorgfältig zu planen, sondern vor allem auch sorgfältig auszuführen. Es heißt also nicht nur einfach Außenwände von innen zu verkleiden, sondern auch Leibungsbereiche, Decken und Innenwände sinnvoll in diese Maßnahme einzubeziehen. Einige Ausführungsdetails sind nachfolgend untersucht und skizziert.

Die häufig bei Innendämmungen auftretenden Probleme bezüglich Tauwasser im Inneren der Konstruktion, Austrocknung von Schlagregenbeanspruchungen und Bildung von Wärmebrücken im Bereich einbindender Decken und Trennwände lassen sich mit kapillarleitfähigen Dämmstoffen, wie z.B. Kalziumsilikatplatten, überwinden. Kapillarleitfähige Baustoffe sind in der Lage, Kondenswasser über kapillare Saugprozesse an die innere Oberfläche zu transportieren, wo es leicht und schnell verdunsten kann. Eine Innendämmung aus Kalziumsilikatplatten ist ohne Dampfsperren möglich und eine geeignete Maßnahme für die Innendämmung erhaltenswerter Fassaden. Für einen rechnerischen Nachweis der bei dieser Konstruktion anfallenden Tauwassermenge ist das heutzutage verbreitete Glaser-Verfahren ungeeignet. Hierfür muss z.B. auf das vom Fraunhofer Institut für Bauphysik entwickelte komplexere WUFI-Programm zurückgegriffen werden.

Insbesondere im Museum sind durch eine eventuelle Innendämmung langfristig Tauwasserschäden möglich. Im Bestand ist die Temperaturverteilung an der Wand wie folgt:

Im Folgenden werden die Oberflächentemperaturen der derzeit vorhandenen Konstruktion ermittelt.

Vorhandene Materialgeometrie:

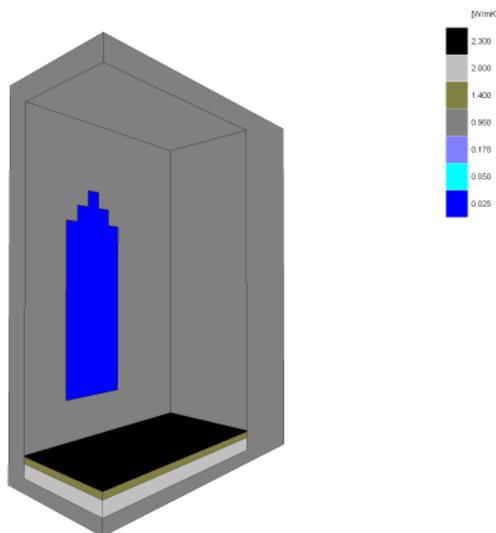


Abbildung 20 – Materialgeometrie

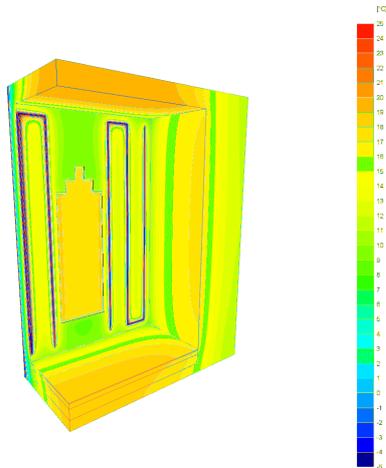


Abbildung 21- Temperaturverteilung auf der ungedämmten Wand

Die minimale Oberflächentemperatur innen beträgt 7,03 °C.

Wird ein reines Wandheizsystem ohne zusätzliche Dämmung angeordnet, so ändern sich die Oberflächentemperaturen und je nach Anordnung der Leitung können Taupunktunterschreitungen vermieden werden.

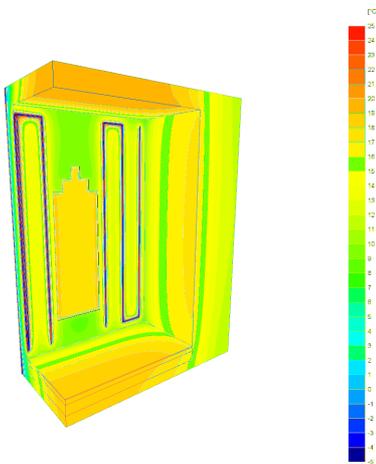


Abbildung 22 – Temperaturverteilung Wandheizsystem ohne Dämmung

Bei Anordnung einer Dämmung zwischen Heizung und Wand sinkt die Temperatur im Anschlussbereich von 7,95 ohne Dämmung auf 6,85° Celsius

Anlage Bauphysik B7: Messung der Oberflächentemperaturen von Wänden

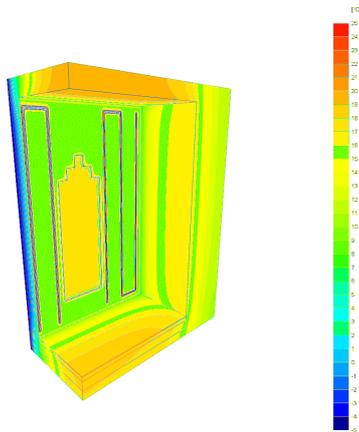


Abbildung 23 - Wandheizsystem mit Dämmung

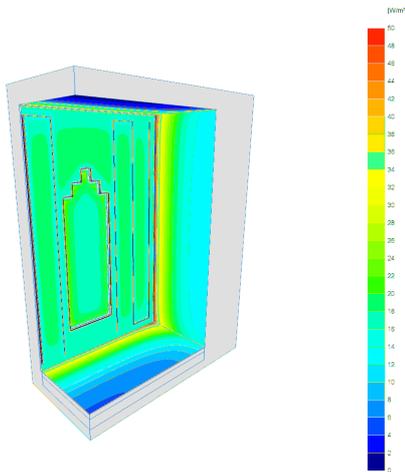


Abbildung 24 - Wärmeströme bei einem Wandheizsystem mit einer Wärmedämmung

Die Ergebnisse zeigen deutlich, dass auch bei einem Wandheizsystem die Probleme der Wärmebrücken bestehen bleiben. In jedem Fall sind einbindende Wände und Decken mit einer in Streifen aufgetragenen Wärmedämmung zu versehen.

Schäden aufgrund einer Erhöhung der Feuchtegehalte (eindiffundierende Raumfeuchte) sind bei dem vorhandenen Natursteinmauerwerk nicht zu erwarten. Der Feuchtegehalt der massiven Wand erhöht sich nur um einige Prozent und übersteigt nicht die Frostbeständigkeit der Natursteine.

Hier sei insbesondere auf die verschiedenen Untersuchungen des Fraunhofer Institutes verwiesen und aus einem Untersuchungsergebnis zitiert:

Der mittlere Wassergehalt, der sich aufgrund der Klimawirkungen im ungedämmten Mauerwerk langfristig einstellt, ist in Abhängigkeit von der jährlichen Schlagregenbelastung im folgenden Bild dargestellt.

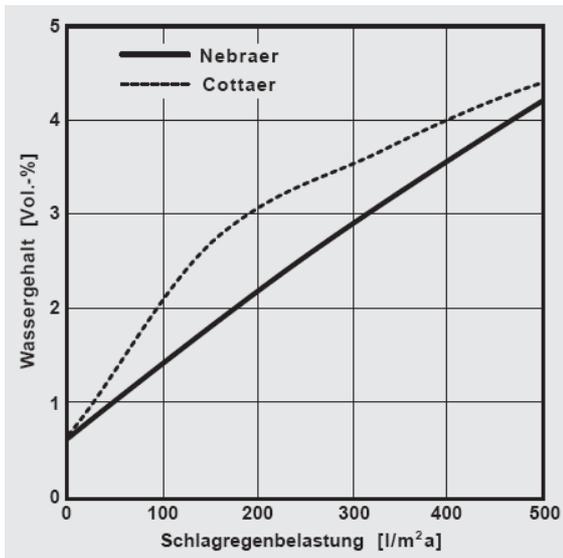


Abbildung 25 Mittlerer Wassergehalt von Natursteinen

Ohne Schlagregen stellt sich in beiden Sandsteinarten langfristig ein Wassergehalt ein, der noch unter der Ausgleichsfeuchte bei 80 % r.F. liegt. Der mittlere Wassergehalt nimmt beim Nebraer Sandstein fast linear mit der Schlagregenbelastung zu, während er beim Cottaer Sandstein zunächst überproportional ansteigt. Bei 500 l/m<sup>2</sup>a Schlagregen liegen die Wassergehalte beider Sandsteinarten mit etwas über 4 Vol.-% wieder nah beisammen. Am größten ist der Unterschied bei ca. 140 l/m<sup>2</sup>a. Diese Schlagregenbelastung entspricht etwa dem Übergangsbereich der Beanspruchungsgruppen I und II nach 4108 und ist gleichzeitig die maximal zulässige Beanspruchung von Fachwerkfassaden nach. Die Schlagregenbelastung von 140 l/m<sup>2</sup>a wird deshalb für die Untersuchung des Einflusses von Innendämmungen zugrunde gelegt. Im folgenden Bild ist der mittlere Wassergehalt des Natursteinmauerwerks in Abhängigkeit von der Dämmschichtdicke und dem Dämmmaterial für die zwei Sandsteinarten dargestellt.

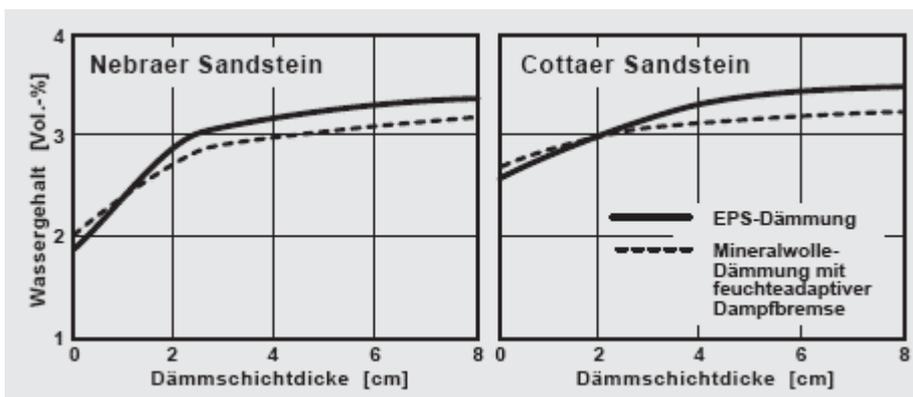


Abbildung 26 - Mittlerer langfristiger Wassergehalt im Natursteinmauerwerk bei einer jährlichen Schlagregenbelastung von 140 l/m<sup>2</sup>a in Abhängigkeit von Dämmmaterial und Dämmschichtdicke

Während eine 2 cm dicke Dämmung beim Nebraer Sandstein eine Feuchtezunahme im Mauerwerk von ca. 1 Vol.-% gegenüber dem ungedämmten Zustand verursacht, sind die Auswirkungen beim Cottaer Sandstein geringer, der auch ohne Dämmung bereits auf einem höheren Feuchteniveau liegt. Eine weitere Erhöhung der Dämmschichtdicke bis auf 8 cm hat jedoch in

beiden Fällen nur einen geringen Anstieg des mittleren Wassergehalts auf maximal 3,5 Vol.-% zur Folge. Dies entspricht 20 % der freien Sättigung beider Sandsteine. Auch der Einfluß des Dämmmaterials ist nur wenig ausgeprägt und im vorliegenden Beispiel von untergeordneter Bedeutung. [13]

### 4.1.2 Maßnahmen zum sommerlichen Wärmeschutz

Insbesondere im Kopfbau und im Dachgeschoss des Seelsorgeamtes bestanden bisher Problem mit einer Überhitzung im Sommer. Hier ist im Erdgeschoss wegen des Denkmalschutzes ein außenliegender Sonnenschutz nicht möglich. Zur Verbesserung sollten die Fenster mit einem Sonnenschutzglas und einem innenliegenden Sonnenschutz versehen werden. Im Dachgeschoss kann ein außenliegender Sonnenschutz vorgesehen werden.

Im Museumsbereich sind Kastenfenster vorgesehen. Im Fensterzwischenraum wird hier ein Sonnenschutz angeordnet.

### 4.1.3 Luftdichtigkeit

Insgesamt stellt die Luftdichtigkeit bei dem Gebäudekomplex kein größeres Problem dar. Der gemessene  $n_{50}$ -Wert des Domes liegt im Bereich zwischen 0,66 und 0,74. Der daraus resultierende Luftvolumenstrom beträgt gemäß Gl. 47 DIN EN 12831 ca. 3.500 m<sup>3</sup>/h. Bei einer Außentemperatur von -10 °C wird dadurch eine Heizlast von ca. 28 kW erzeugt.

Sowohl im Seelsorgeamt als auch im Museum sind aufgrund der massiven Bauweise keine erhöhten Lüftungswärmeverluste vorhanden.

## 4.2 Auswertung Dämmmaßnahmen

Im ersten Schritt wurden alle Möglichkeiten der Dämmmaßnahmen aufgezeigt. Die Umsetzung aller aufgezeigten Maßnahmen würden zu einem optimal möglichen Dämmstandard führen.

Im Anschluss wurde für jede Einzelmaßnahme eine grobe Massenermittlung, eine Kostenschätzung und eine Bewertung der einzusparenden Energie und daraus resultierenden Kosteneinsparung vorgenommen.

Die Kosten für die Maßnahme wurden den Erlösen aus Energieersparnis gegenübergestellt, es wurde eine einfache Amortisation zur schnellen Einschätzung der Wirtschaftlichkeit der Maßnahme ermittelt.

Die Ergebnisse sind den Tabellen im Anhang zu entnehmen. Insgesamt wurden Maßnahmen im Umfang von ca. 320.000,- € brutto mit einer Einsparung von ca. 260.000,- kWh/a bewertet.

Abschließend wurden Maßnahmen mit einer einfachen Amortisationszeit unter 15 Jahren herausgefiltert. Diese Maßnahmen im Wert von ca. 55.000,- € werden als wirtschaftlich bewertet, die Umsetzung der Maßnahmen wird dem Bauherrn bzw. Nutzer empfohlen.

Weitere Maßnahmen sind aus wirtschaftlicher Sicht nicht geboten, sie dienen jedoch auch der Energieeinsparung, dem Umweltschutz und der Bewahrung der Schöpfung.

Zusätzliche Dämmmaßnahmen verbessern außerdem die Betriebsbedingungen der Wärmeversorgung, da mit Verbesserung der Dämmung die Vorlauftemperatur des bestehenden Heizsystems gesenkt werden kann. Diese hat Vorteile bei den Wirkungsgraden insbesondere bei der Brennwertnutzung und beim Betrieb einer Wärmepumpe.

### 4.3 Auswahl und Einteilung der Dämmmaßnahmen

### 5 Erstellung Konzept zur Kälteversorgung

#### 5.1 Grundlagen

Für die Entwicklung von Konzepten der Kälteversorgung ist vorrangig die Ermittlung der Kühllast vorzunehmen. Vor der Ermittlung der Kühllast sind jedoch alle Möglichkeiten zur Reduzierung der Kühllast zu prüfen und ggf. umzusetzen. Dazu gehören neben Dämmmaßnahmen auch Maßnahmen des Sonnenschutzes und der Reduzierung der inneren Lasten. An Hand der Kühllast ist eine Vorauswahl der möglichen Komponenten zu treffen, die für das Projekt zum Einsatz gelangen können.

Weiterhin ist die Abschätzung des Jahresenergiebedarfs vorzunehmen, der zum Zwecke der Kühlung der Gebäude erforderlich ist.

Dieser Jahresenergiebedarf wiederum wird durch die verschiedenen Verfahren der Kälteerzeugung bzw. Energiewandlung mit unterschiedlich hohem Bedarf an Endenergieträgern gedeckt. So kann also nach Ermittlung der Kühlleistung und Festlegung der Anlagenkonzeption ermittelt werden, mit welchem Bedarf an Energieträgern wie Gas oder Strom oder anderen Energiearten der Jahresenergiebedarf zur Kühlung der Räume gedeckt werden kann.

Dieser Verbrauch kann umgerechnet werden in Jahreskosten für Energie sowie in Verbrauch an Primärenergie, Belastung durch CO<sub>2</sub> oder Umfang anderer Umweltbelastungen.

Damit ist eine wirtschaftliche und ökologische Bewertung der Anlagenkonzeption möglich.

#### 5.2 Ermittlung der Kälteleistung

Im Rahmen dieser Studie wird eine überschlägige Ermittlung der Kühllast der unterschiedlichen zu kühlenden Bereiche durchgeführt. Dies ist bei den folgenden Planungsphasen detailliert vorzunehmen. In der folgenden Betrachtung geht es um einen realistischen Vergleich unterschiedlicher Konzepte zur Kälteversorgung. Dabei sind ggf. noch nicht alle möglichen Maßnahmen der Reduzierung des Kältebedarfs berücksichtigt.

Der Sollluftzustand wird mit 20 °C und 50 % relativer Feuchte angenommen. Berücksichtigt man noch die zu kühlende Ventilatorenergie, die ebenfalls über die Kühlung abtransportiert werden muss, erhält man einen Ausgangszustand hinter dem Kühler von 18 °C, 55 % relativer Feuchte, 7,25 g/kg absoluter Feuchte und 38 kJ/kg Enthalpie.

Sollte eine Entfeuchtung erforderlich sein, wie es im Museum je nach Witterung zeitweise erforderlich ist, muss die Luft unterkühlt werden auf 15 °C, 7,25 g/kg und 31,7 kJ/kg

Der Außenluftzustand wird mit 32 °C, 40 % und 63 kJ/kg angenommen. Die Enthalpiedifferenz beträgt somit 25 kJ/kg bzw. 8,3 Wh/m<sup>3</sup> bei Kühlung ohne Entfeuchtung und 31,3 kJ/kg bzw. 10,4 Wh/m<sup>3</sup>.

Museum:

6000 m<sup>3</sup>/h, bei extremen Winterwetterbedingungen auf 50 % = 3000 m<sup>3</sup>/h reduziert, Betrieb mit Entfeuchtung, dh = 10,4 Wh/m<sup>3</sup>, Kälteleistung = 31kW

Dom Cafe:

3000 m<sup>3</sup>/h, bei extremen Wetterbedingungen auf 50 % = 1500 m<sup>3</sup>/h reduziert, Betrieb ohne Entfeuchtung, dh = 8,3 Wh/m<sup>3</sup>, Kälteleistung = 13 kW

Chorsaal:

3000 m<sup>3</sup>/h, bei extremen Wetterbedingungen auf 50 % = 1500 m<sup>3</sup>/h reduziert, Betrieb ohne Entfeuchtung, dh = 8,3 Wh/m<sup>3</sup>, Kälteleistung = 13 kW

Druckerei:

1000 m<sup>3</sup>/h, bei extremen Wetterbedingungen auf 50 % = 500 m<sup>3</sup>/h reduziert, Betrieb ohne Entfeuchtung, dh = 8,3 Wh/m<sup>3</sup>, Kälteleistung = 5 kW

Büro OG Kopfbau:

2000 m<sup>3</sup>/h, bei extremen Wetterbedingungen auf 50 % = 1000 m<sup>3</sup>/h reduziert, Betrieb ohne Entfeuchtung, dh = 8,3 Wh/m<sup>3</sup>, Kälteleistung = 9 kW

Max. Gesamtleistung: 71 kW

Bei einer Verbundlösung unter Einbindung aller Kälteverbraucher kann die Gesamtleistung in Abstimmung mit dem Bauherrn auf 50 kW reduziert werden, da davon ausgegangen wird, dass nicht bei allen Verbrauchern gleichzeitig die maximale Kälteleistung zwingend erforderlich ist.

### 5.3 Ermittlung des Jahresenergiebedarfs für die Kühlung der Gebäude

Zur Ermittlung des Jahresenergiebedarfs werden Annahmen über die Betriebszeit der Anlagen getroffen. Diese Betriebszeit wird mit der Anlagenluftleistung und einer mittleren Enthalpiedifferenz, in diesem Fall 5 Wh/m<sup>3</sup>, multipliziert.

Museum:

Betriebszeit 9h/d, 6d/wo, 12 wo/a = 648 h/a  
6000 m<sup>3</sup>/h \* 648 h/a \* 5 Wh/m<sup>3</sup>= 19500 kWh/a

Dom Cafe:

Betriebszeit 5h/wo, 10 wo/a = 50 h/a  
3000 m<sup>3</sup>/h \* 50 h/a \* 5 Wh/m<sup>3</sup>= 750 kWh/a

Chorsaal:

Betriebszeit 10h/wo, 10 wo/a = 100 h/a  
3000 m<sup>3</sup>/h \* 100 h/a \* 5 Wh/m<sup>3</sup>= 1500 kWh/a

Druckerei:

Betriebszeit 5h/d, 5d/wo, 10 wo/a = 250 h/a  
1000 m<sup>3</sup>/h \* 250 h/a \* 5 Wh/m<sup>3</sup>= 1250 kWh/a

Büro OG Kopfbau:

Betriebszeit 5h/d, 5d/wo, 10 wo/a = 250 h/a  
2000 m<sup>3</sup>/h \* 250 h/a \* 5 Wh/m<sup>3</sup>= 2500 kWh/a

Gesamtkälteenergie 25500 kWh/a

### 5.4 Konzepte Kälteversorgung

Konzept Kälte 1: Split- Kälteanlagen dezentral

Beschreibung:

Bei dieser Variante werden alle Bereiche, die gekühlt werden mit luftgekühlten Verflüssigern für Außenaufstellung sowie entweder Verdampfer für Umluftkühlung oder Direktverdampfer zum Einbau in die Lüftungsgeräte ausgestattet.

Vorteile dieser Variante sind minimale Investitionskosten. Nachteile sind nicht optimale Betriebsbedingungen für den Kälteprozess, große Mengen Kältemittel in den Systemen, keine Vorteile einer Verbundlösung, keine Möglichkeit der Kombination mit Wärmepumpe, optische Beein-

trächtigung durch Aufstellung von luftgekühlten Verflüssigern im Freien. Dieses realistische Anlagenkonzept wird im folgenden Kapitel der Bewertung der Anlagenkonzepte weiter behandelt.

[Anlage Technik T36: Schema dezentrale Splitkälteanlage](#)

### Konzept Kälte 2: Teil- Kälteverbund mit Kältemittelverrohrung

#### Beschreibung:

Bei dieser Variante werden Teilbereiche, die gekühlt werden mit luftgekühlten Verflüssigern für Außenaufstellung sowie entweder Verdampfer für Umluftkühlung oder Direktverdampfer zum Einbau in die Lüftungsgeräte ausgestattet. Einige Anlagen werden zu einer Verbundanlage mit Kältemittelverteilung, also zentralem Verflüssiger und Verdampfer in den Räumen

Vorteile dieser Variante sind geringe Investitionskosten. Nachteile sind nicht optimale Betriebsbedingungen für den Kälteprozess, große Mengen Kältemittel in den Systemen, nicht optimale Nutzung der Vorteile einer Verbundlösung, keine Möglichkeit der Kombination mit Wärmepumpe, optische Beeinträchtigung durch Aufstellung von luftgekühlten Verflüssigern im Freien.

Dieses realistische Anlagenkonzept wird im folgenden Kapitel der Bewertung der Anlagenkonzepte weiter behandelt.

[Anlage Technik T37: Schema zentrale Splitkälteanlage](#)

### Konzept Kälte 3: Zentrale Kältemaschine luftgekühlt mit Kaltwasserverrohrung

#### Beschreibung:

Bei dieser Variante wird ein luftgekühlter Kaltwassersatz zentral in der Technikzentrale im Dachgeschoss aufgestellt. Von dort aus werden über ein Kaltwassernetz die Umluftkühler in den Räumen oder die Luftkühler in den zentralen Lüftungsgeräten versorgt.

Vorteile dieser Variante sind sehr geringer Bedarf an Kältemitteln, keine optische Beeinträchtigung durch außen aufgestellte Geräte, einfachere Wartung bei Zentralanlage, Auslegung auf reduzierte Gesamtleistung bei Verbundlösung. Nachteile sind hohe Investitionskosten für Kaltwassersatz und Kaltwasserrohrnetz.

Dieses realistische Anlagenkonzept wird im folgenden Kapitel der Bewertung der Anlagenkonzepte weiter behandelt.

[Anlage Technik T38: Schema Kaltwassersatz luftgekühlt](#)

### Konzept Kälte 4: Zentrale Kältemaschine mit Kaltwasserverrohrung und Rückkühlung über die Domheizung

#### Beschreibung:

Aufbau wie bei Konzept 3 beschrieben, jedoch Aufstellung der Kältemaschine in der Zentrale Dom und Rückkühlung nicht mittels Außenluft sondern über den vorhandenen Lufterhitzer der Domheizung. Die niedrigen Innentemperaturen im Dom auch im Sommer bei hohen Außentemperaturen führen zu optimalen Rückkühlbedingungen. Das Einbringen trockener Wärme in den Dom hat keine schädigende Wirkung auf das Innenklima. Gerade bei hohen Außentemperaturen verbunden mit hoher Luftfeuchtigkeit besteht die Gefahr der Kondensation an den kalten Flächen im Innenraum des Doms. Eine Erwärmung kann in dem Fall zu einer Verringerung der relativen Luftfeuchtigkeit führen.

Dieses realistische Anlagenkonzept wird im folgenden Kapitel der Bewertung der Anlagenkonzepte weiter behandelt.

[Anlage Technik T39: Schema Kaltwassersatz Rückkühlung Dom](#)

### Konzept Kälte 5: Wärme- Kälte- Verbund mit Gas- Wärmepumpe und Erdsonde

#### Beschreibung:

Bei dieser Variante kann auf eine Kältemaschine ganz verzichtet werden. Die Wärmepumpe wird im Sommer als Kältemaschine betrieben. Die Kühlleistung sowie die Antriebsenergie der Verdichter werden über Erdsonden der Umwelt zugeführt [14]. Das Erdreich im Bereich der Sonde erfährt dadurch eine zusätzliche Regeneration. Ggf. ist zur Rückkühlung bei Spitzenleistungen noch die Lüftung Dom wie im Konzept 4 zu nutzen.

Für die Kälteverteilung wird ein Kaltwassersystem wie bei den Kältekonzepten 3 und 4 installiert. Vorteile dieses Systems sind Einsparung einer Kältemaschine, Nutzung der Umweltwärme, günstige Betriebsbedingungen für die Wärmepumpe im Kälteprozess.

Nachteil ist das Risiko bei der Leistungsfähigkeit des Erdreiches sowie eine regelungstechnisch und hydraulisch anspruchsvolle Einbindung des Kaltwassersystems in den Wärmepumpenprozess.

Dieses realistische Anlagenkonzept wird im folgenden Kapitel der Bewertung der Anlagenkonzepte weiter behandelt.

[Anlage Technik T40: Schema Wärme-Kälte-Verbund](#)

#### Konzept Kälte 6: Luftentnahme aus dem Dom zur Kühlung des Museums

Die direkte Luftentnahme aus dem Dom zur Versorgung des Museumsbereiches wurde ebenfalls untersucht. Die kühle Luft im Dom sollte die erforderliche Kälteleistung reduzieren. Diese Lösung wurde allerdings verworfen. Die Luftansaugung und Rückführung im Dom würden zu einem unverträglichen Eingriff in dem denkmalgeschützten Domgebäude führen. Die Luftwege vom Dom zum Museum würden zu unverhältnismäßig hohem Anlagenaufwand und Druckverlusten luftseitig führen. Eine ausschließliche Ansaugung aus dem Dom mit Luftnachströmung von außen würde das Museumsklima negativ beeinflussen.

### 5.5 Auswertung der Konzepte Kälteversorgung

Von den 6 vorgeschlagenen Konzepten wurde das Konzept Nr. 6 aus den vorgenannten Gründen verworfen. Die Varianten 1 – 5 wurden detaillierter untersucht und insbesondere einer wirtschaftlichen Beurteilung unterzogen. Aber auch die Integration ins Gebäude und in die energie-technische Gesamtkonzeption sind von entscheidender Bedeutung.

#### 5.5.1 Besonderheit Verbundlösung

Bei Liegenschaften mit mehreren unterschiedlich genutzten Gebäuden ist eine Verbundlösung mittels zentraler Kälteerzeugung und Berücksichtigung von Gleichzeitigkeiten in der Regel einer dezentralen Lösung mittels Einzelkälteerzeugern vorzuziehen.

Durch die unterschiedlichen Nutzungszeiten der Gebäude treten die Teil- Leistungsspitzen jeweils zu unterschiedlichen Zeiten auf. Die Leistungsspitze der Verbundlösung ist daher niedriger als die Summe der einzelnen Teil- Leistungsspitzen. Dadurch kann die installierte Kälteleistung reduziert werden, Investitionskosten werden eingespart. Weiterhin ermöglicht die Verbundlösung unterschiedlichste Varianten mit vertretbarem Aufwand. Eine zentrale Lösung reduziert Wartungs- und Betreuungskosten und entlastet das Personal des Betreibers.

Die Kälteerzeugung als Verbundlösung ermöglicht die Verbindung zur Domheizung und damit Verbesserung des Kälteprozesses wegen der günstigen Rückkühlbedingungen ohne schädliche Auswirkungen auf das Klima im Dom. Weiterhin ermöglicht die Kälte- Verbundlösung einen Wärme- Kälte- Verbund mit Wärmepumpennutzung.

#### 5.5.2 Wirtschaftlichkeitsuntersuchung

Zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit unterschiedlicher Anlagenkonzepte wurden zunächst die Kosten ermittelt. Eine detaillierte Aufstellung ist im Anhang beigefügt.

[Anlage Technik T22: Tabelle Kostenermittlung](#)

Weiterhin wurden die Energiekosten ermittelt, ausgehend von dem im Vorfeld ermittelten Jahresenergiebedarf, differenziert nach Energieart.

Für die weitere Berechnung wurden folgende Faktoren als Resultat intensiver Recherche bzw. aus der Abstimmung mit dem Nutzer zu Grunde gelegt:

- Mehrwertsteuersatz: 19 %
- Gaspreis: 5,15 ct/kWh incl. MwSt.
- Leistungspauschale Gas: 1.044,- €/a
- Preissteigerung Gas: 4 %/a
- Strompreis: 15,4 ct/kWh incl. MwSt.
- Preissteigerung Strom: 2 %/a
- Zinssatz 4,5 %
- Betrachtungszeitraum: 15 Jahre
- Anfängliche Instandhaltung 1% der Investition
- Preissteigerung für Instandsetzung 1,5 %
- Preissteigerung für betriebsgebundene Zahlungen 1,5 %
- Berechnungsverfahren:
  - Annuitätenmethode bei preisdynamischen Zahlungsfolgen nach VDI 6025 [<sup>15</sup>]
- Förderung für Holzpellettheizungsanlagen: 45,- €/kW (Förderung läuft aus) [<sup>16</sup>]

Auf Grund der relativ geringen Betriebszeiten der benötigten Kälteverbraucher teilen sich die Jahreskosten der Kälteversorgung etwa zur Hälfte auf in verbrauchsgebundene und investitionsgebundene Kosten. Dieses ist in der Darstellung der Annuitäten der Kältekonzepte in Bild 26 zu erkennen.

Die Wärme-Kälte-Verbundlösung profitiert sowohl auf der Investitionsseite durch Nutzung der Heizungs-Wärmepumpe durch Entfall der Kälteerzeugung sowie auf der Verbrauchsseite durch Nutzung der Umweltwärme.

Zum Bild unten: In der Zusammenstellung der Annuitäten sind die oben beschriebenen Abhängigkeiten deutlich erkennbar.

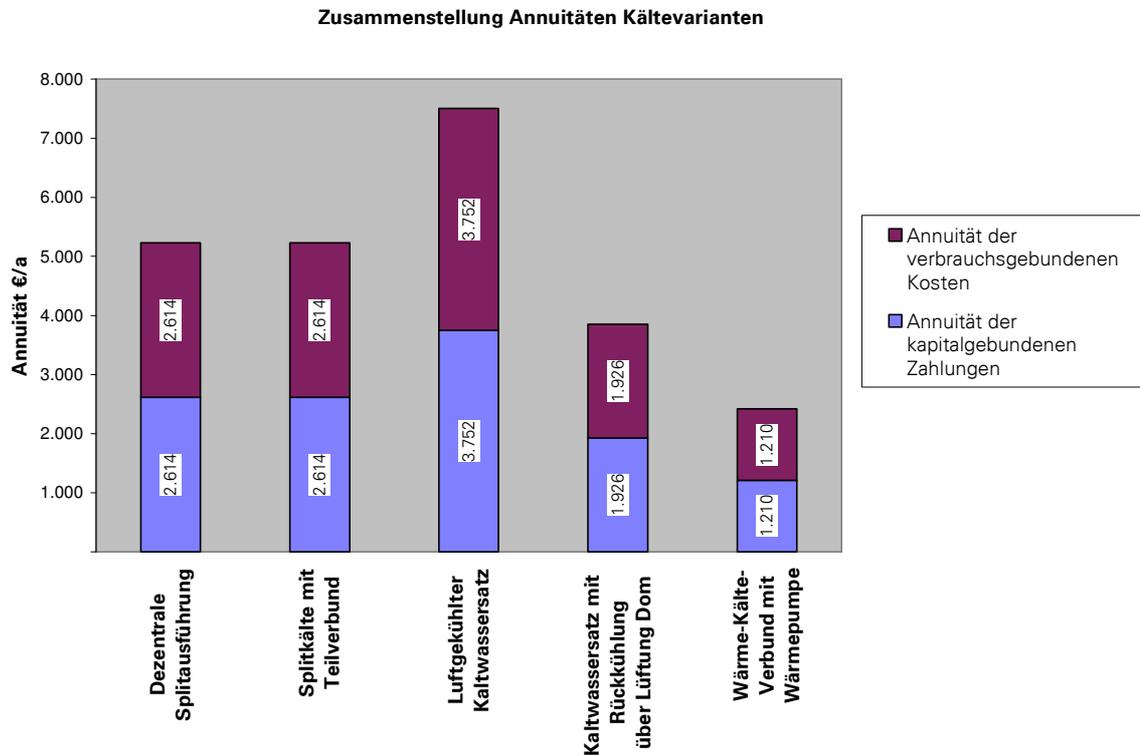


Abbildung 27 - Zusammenstellung der Jahreskosten Kältevarianten

Anlage Technik T24: Tabelle Zusammenstellung Annuität Kälteversorgung

### 5.5.3 Weitere Randbedingungen und Sachzwänge

#### Technische Bewertung

Die untersuchten Anlagensysteme sind übliche Systeme, die als Kälteanlagen für Gebäude eingesetzt werden. Bezüglich Nutzungsdauer, Zuverlässigkeit und Versorgungssicherheit bestehen keine besonderen Einschränkungen [17]. Nur bei den Systemen mit Umweltwärmenutzung bestehen Unwägbarkeiten hinsichtlich Verfügbarkeit der jeweiligen Umweltwärme. Bei der Grundwassernutzung besteht wie bereits beschrieben, die Gefahr der Verockerung des Schluckbrunnens. Hierfür ist allerdings in der Wirtschaftlichkeitsberechnung ein Ansatz für betriebsbedingte Kosten berücksichtigt.

#### Genehmigungsvorbehalte

Besondere Genehmigungsvorbehalte für die Erstellung und den Betrieb der Anlagen bestehen in eingeschränktem Maße. Es sind bundesweit unterschiedliche zulassungsrechtliche Beurteilungen für den Betrieb von Wärmepumpen mit Erdsonden oder Grundwasserbrunnen zu beachten.

#### Innovation und Marktreife

Bei der Auswahl der Konzepte wurden bewusst keine Systeme ausgewählt, für die keine marktreifen Komponenten verfügbar sind. Es wird davon ausgegangen, dass bei Betreibern kirchlicher Liegenschaften weder Kompetenz noch Kapazitäten vorhanden sind, um hier Pionierarbeit bei der Entwicklung von Energiesystemen betreiben zu können.

Der Einsatz von Gas- Absorptionswärmepumpenanlagen in Kaskadenschaltung kann durchaus als innovativ betrachtet werden. Es gibt vergleichsweise wenige Anlagen im Betrieb.

#### Integration

Bei der Erdwärmernutzung mittels Erdsonden muss der Bedarf an Freifläche für die Einbringung der Sonden zur Verfügung stehen und auch zugänglich sein.

Bei der Grundwassernutzung müssen die geologische Gegebenheiten vorhanden sein, dass eine Grundwasserentnahme und Rückführung möglich ist. Für die Brunnen ist eine entsprechende Fläche im Außenbereich in der Nähe der Technikzentrale verfügbar sein.

## 6 Erstellung Konzept zur Wärmeversorgung

### 6.1 Grundlagen

Für die Entwicklung von Konzepten der Wärmeversorgung ist vorrangig die Ermittlung der Heizlast vorzunehmen. An Hand der Heizlast ist eine Vorauswahl der möglichen Komponenten zu treffen, die für das Projekt zum Einsatz gelangen können.

Weiterhin ist die Abschätzung des Jahresenergiebedarfs vorzunehmen, der zum Zwecke der Beheizung der Gebäude erforderlich ist.

Dieser Jahresenergiebedarf wiederum wird durch die verschiedenen Verfahren der Wärmeerzeugung bzw. Energiewandlung mit unterschiedlich hohem Bedarf an Endenergieträgern gedeckt.

So kann nach Ermittlung der Wärmeleistung und Festlegung der Anlagenkonzeption ermittelt werden, mit welchem Bedarf an Energieträgern wie Öl, Gas, Festbrennstoffen, Strom oder anderen regenerativen Energiearten der Jahresenergiebedarf zur Beheizung der Räume gedeckt werden kann.

Dieser Verbrauch kann umgerechnet werden in Jahreskosten für Energie sowie in Verbrauch an Primärenergie, Belastung durch CO<sub>2</sub> oder Umfang anderer Umweltbelastungen.

Damit ist eine wirtschaftliche und ökologische Bewertung der Anlagenkonzeption möglich.

### 6.2 Ermittlung der Wärmeleistung

Zur Ermittlung der Wärmeleistung wird je Gebäude eine überschlägige Heizlastermittlung durchgeführt. Hierbei ist der Qualitätsstandard der vorhandenen Wärmedämmung und der zusätzlich vorgesehenen Dämmmaßnahmen zu berücksichtigen.

Im Zuge einer weiterführenden Planung ist eine genaue Ermittlung der Heizlast durchzuführen, wie sie üblicherweise nach DIN EN 12831 durchgeführt wird. Dadurch erst wird die genaue Grundlage für die Auslegung der Komponenten möglich.

Zusammenfassend werden folgende Leistungswerte bezogen auf eine Normaußentemperatur von -12 °C übernommen:

Max. Leistung Seelsorgeamt: 160 kW

Max. Leistung Museum: 75 kW

Max. Leistung Dom: 170 kW

---

Max. Gesamtleistung: 405 kW

Im Falle einer dezentralen Lösung zur Wärmeversorgung, das heißt einzelne Kesselanlagen für die verschiedenen Gebäude, sind die o.a. Wärmeleistungen jeweils als Kesselleistung zu Grunde zu legen.

Für eine Verbundlösung, d.h. eine zentrale Kesselanlage für die gesamte Liegenschaft kann die Kesselanlage in Abstimmung mit dem Bauherrn bzw. Nutzer der Liegenschaft kleiner ausgelegt werden. Begründet wird dies mit der in der Regel nicht gleichzeitig stattfindenden Nutzung der

verschiedenen Gebäude:

Der Dom z. B. wird überwiegend an Wochenenden genutzt. An Wochenenden findet in der Regel jedoch keine Büronutzung statt. Weiterhin wird der Dom noch in den frühen Morgenstunden genutzt. Dann findet jedoch in der Regel keine Museums- und Chorsaalnutzung statt.

In Absprache mit Bauherrn und Nutzer wurde daher für die folgenden Betrachtung eine maximal zu installierende Wärmeleistung von **350 kW** angenommen.

### 6.3 Ermittlung des Jahresenergiebedarfs für die Beheizung der Gebäude als Basis für die Konzeptauswahl

Hier wird wiederum die ermittelte Heizlast zu Grunde gelegt. Aus den Messreihen kann die Abhängigkeit der Leistung zur jeweiligen Außentemperatur abgeleitet werden. Diese werden über alle drei Gebäudeteile zusammengeführt und zu einer Leistungskurve für das Gesamtobjekt vereint.

Zur Ermittlung des Jahresenergiebedarfs wurde diese Leistungskurve mit der Temperaturhäufigkeit nach DIN 4710 [18] zusammengeführt. Bei sehr niedrigen Außentemperaturen, bei denen die Leistung die maximale Gesamtleistung von in diesem Fall 350 kW überschreitet, wurde mit 350 kW gerechnet. Das daraus entstehende Leistungsdefizit führt zu einer Unterversorgung des Doms, was bewusst in Kauf genommen wird (s.o.).

Aus den so erhaltenen Daten wird der Energieverbrauch in Abhängigkeit der Außentemperatur differenziert dargestellt und als Basis für eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung genutzt.

Die Differenzierung über die Außentemperaturen ist erforderlich, da bei den verschiedenen Konzepten zur Beheizung die Energiemengen je nach Außentemperatur von dem einen oder einem anderen Heizsystem bereitgestellt werden.

[Anlage Technik T20: Zusammenfassung Heizleistung und Brennstoffverbrauch Domforum](#)  
[Anlage Technik T21: Tabelle Jahresenergiebedarf und Heizkosten](#)

### 6.4 Konzepte Wärmeversorgung

Im Folgenden sind die grundsätzlich möglichen Konzepte für eine Wärmeversorgung dargestellt und in einer Vorbewertung zugeführt. In einer Entscheidungsmatrix Wärmeversorgung wurde für die einzelnen Konzepte eine Bewertung nach verschiedenen Kriterien vorgenommen. Die Entscheidungsmatrix ist im Anhang beigefügt.

[Anlage Technik T41: Entscheidungsmatrix Wärmeversorgung](#)

#### Konzept Heizung 1: Blockheizkraftwerk zur kombinierten Strom- und Wärmeerzeugung

Nachteile: Sehr hoher Anlagenaufwand, Geräuscherzeugung in empfindlichem Umfeld, keine Wärmeabnahme bei BHKW- Betrieb im Sommer, die gesamte Heizung der Liegenschaft wird von April bis September komplett abgeschaltet, daher nur geringe Laufzeit möglich auch bei Auslegung auf Grundlast, nur mit Spitzenlastkessel zu betreiben, Abhängigkeit von fossilen Energieträgern bleibt.

Die Nachteile können den durch den Vorteil einer BHKW- Anlage, die optimale Energieausnutzung, nicht kompensiert werden, daher wird dieses Konzept der Beheizung nicht weiter verfolgt.

#### Konzept Heizung 2: Thermische Solaranlagen

Nachteil: Wärmebedarf und Wärmeertrag liegen zeitlich nicht zusammen. Weiterhin ist die Unterbringung der Kollektoren in denkmalgeschützten Gebäuden problematisch. Aus diesen Gründen ist dieses Konzept der Beheizung für das betrachtete Objekt nicht sinnvoll und wird nicht weiter verfolgt.

### Konzept Heizung 3: Motorische Wärmepumpen

Nachteile: Das Angebot an marktreifen Geräten für den Betrieb in dem geforderten Leistungsbereich ist nicht vorhanden, so dass hier kein erfolgversprechendes Anlagenkonzept entwickelt werden konnte. Dieses Konzept der Beheizung wird daher nicht weiter verfolgt. In kleineren Liegenschaften und günstigen Rahmenbedingungen ist dieses jedoch ggf. eine sinnvolle Alternative.

### Konzept Heizung 4: Wärmepumpe mit natürlichem Kältemittel

Nachteile: Anlagenkomponenten, die mit natürlichen Kältemitteln wie Wasser, Ammoniak, Kohlendioxid oder Propan betrieben werden, sind in dem Leistungsbereich, der hier benötigt wird, nicht verfügbar. Die Entwicklung derartiger Komponenten vor allem im unteren Leistungsbereich steckt noch im Stadium der Entwicklung. Dieses Konzept der Beheizung wird daher nicht weiter verfolgt.

### Konzept Heizung 5: Direktbefeuertes Lüftungsgerät zur Dombeheizung sowie anderweitige (ggf. konventionelle) Beheizung der anderen Gebäude

Nachteil: Die Einbindung des Doms in ein Verbundsystem für die Liegenschaft mit dem Vorteil der Kappung der Gesamtleistung würde bei diesem Konzept entfallen. Daher wird dieses Konzept nicht weiter verfolgt.

### Konzept Heizung 6: Konventioneller Einzelkesselaustausch mit Umstellung auf Gas

#### Beschreibung:

Bei diesem Konzept ist vorgesehen, für die Kesselanlage für das Seelsorgeamt den Brenner zu erneuern. Die Kesselanlagen für Museum und Dom werden zu einer Anlage zusammengefasst und komplett erneuert. Die Öltankanlagen werden komplett demontiert. Für beide Kesselanlagen werden separate Gasanschlüsse hergestellt, da die Kessel sich in unterschiedlichen Gebäuden und Heizräumen befinden. Die Abgasanlagen werden jeweils erneuert. Die Kesselgrößen werden jeweils dem Bedarf angepasst.

Vorteile sind minimaler anlagentechnischer Aufwand und Möglichkeit der zeitlichen Entkopplung der Sanierung der einzelnen Anlagen. Nachteile sind die fehlenden Vorteile der Verbundlösung sowie weitere Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen.

Dieses realistische Anlagenkonzept wird im folgenden Kapitel der Bewertung der Anlagenkonzepte weiter behandelt.

[Anlage Technik T31: Schema zwei dezentrale Kesselanlagen](#)

### Konzept Heizung 7: Heizverbund mit Gaskessel in der Technikzentrale Dom

#### Beschreibung:

Bei diesem Konzept ist vorgesehen, die Kesselanlagen für Museum und Dom und auch für das Seelsorgeamt zu einer Anlage zusammen zu fassen und komplett zu erneuern. Die Heizungsanlagen der Gebäudeteile werden miteinander verbunden. Die Öltankanlagen werden komplett demontiert. Es wird ein neuer Gasanschluss für die zentrale Wärmeversorgung hergestellt. Eine

Abgasanlage wird neu erstellt. Die Kesselgröße wird dem Bedarf angepasst unter Berücksichtigung einer Gleichzeitigkeit. Es wird unterstellt, dass der Spitzenbedarf bei Verwaltung und Dom nicht gleichzeitig auftreten, so dass durch diese Verbundlösung eine insgesamt kleinere Kesselleistung installiert werden kann.

Vorteile sind minimaler anlagentechnischer Aufwand und Nutzung der Vorteile einer Verbundlösung. Nachteile sind die weitere Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen.

Dieses realistische Anlagenkonzept wird im folgenden Kapitel der Bewertung der Anlagenkonzepte weiter behandelt.

[Anlage Technik T32: Schema zentrale Kesselanlage](#)

### Konzept Heizung 8: Gas- Absorptions- Wärmepumpe mit Erdsonde und Gas- Spitzenlastkessel

Beschreibung:

Verbundwärmelösung bestehend aus Gas- Absorptionswärmepumpenanlage in Kaskadenschaltung, 5 Geräte je 36 kW Heizleistung, Umweltwärmenutzung mittels Erdsonden, 10 Doppelsonden je 100 m Länge, gasbetriebener Spitzenlastkessel mit ca. 170 kW Heizleistung.

Vorteile sind Nutzung der Umweltwärme und Möglichkeit zum kombinierten Betrieb als Wärmepumpe und Kältemaschine. Nachteile sind hoher anlagentechnischer Aufwand, Risiko bei der Leistungsfähigkeit des Erdreiches zur Nachlieferung der Umweltwärme und weitere Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen für die Abdeckung der Spitzenlast.

Bei einem Konzept mit Wärmepumpe und Spitzenlastkessel wird bis zu einer bestimmten Außentemperatur die Heizlast zu 100 % von der Wärmepumpe bereitgestellt. Bei tieferen Außentemperatur deckt der Spitzenlastkessel den Rest ab, der mit fallender Außentemperatur steigt, in der Häufigkeit der Außentemperatur jedoch variiert.

Dieses realistische Anlagenkonzept wird im folgenden Kapitel der Bewertung der Anlagenkonzepte weiter behandelt.

[Anlage Technik T33: Schema Wärmepumpe Erdsonde](#)

### Konzept Heizung 9: Gas- Wärmepumpe mit Grundwassernutzung und Gas- Spitzenlastkessel

Beschreibung:

Verbundwärmelösung bestehend aus Gas- Absorptionswärmepumpenanlage in Kaskadenschaltung, 3 Geräte je 36 kW Heizleistung, Umweltwärmenutzung mittels Grundwasser- Entnahme – und Schluckbrunnen, gasbetriebener Spitzenlastkessel mit ca. 240 kW Heizleistung.

Vorteile sind Nutzung der Umweltwärme und Möglichkeit zum kombinierten Betrieb als Wärmepumpe und Kältemaschine. Nachteile sind hoher anlagentechnischer Aufwand bei geringer Leistungsdichte des Grundwassersystems, Risiko bei der Leistungsfähigkeit des Grundwassersystems, mögliche Probleme und Folgekosten durch Verockerung des Schluckbrunnens und weitere Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen für die Abdeckung der recht hohen Spitzenlast.

Dieses realistische Anlagenkonzept wird im folgenden Kapitel der Bewertung der Anlagenkonzepte weiter behandelt.

[Anlage Technik T34: Schema Wärmepumpe Grundwasser](#)

### Konzept Heizung 10: Holz- Pelletkessel mit Gas- Spitzenlastkessel

Beschreibung:

Verbundwärmelösung bestehend aus Holz- Pellet- Heizungsanlage als Grundlastkessel mit 200 kW Heizleistung, Pelletbunker 28 m<sup>3</sup>, Pufferspeicher 6 m<sup>3</sup>, gasbetriebener Spitzenlastkessel mit ca. 150 kW Heizleistung.

Vorteile sind Nutzung nachwachsender Rohstoffe als Brennstoff und weitestgehend CO<sub>2</sub>-neutraler Brennstoffkreislauf. Nachteile sind hoher anlagentechnischer Aufwand durch Grund- und Spitzenlastanlagen, Komfortverlust durch Betrieb und Beobachtung der Feststoffverbrennung und weitere Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen für die Abdeckung der Spitzenlast.

Dieses realistische Anlagenkonzept wird im folgenden Kapitel der Bewertung der Anlagenkonzepte weiter behandelt.

[Anlage Technik T35: Schema Holzpelletkessel mit Spitzenlastkessel](#)

### Konzept Heizung 11: Holz- Pelletkessel für Grund- und Spitzenlast

Beschreibung:

Verbundwärmelösung bestehend aus Holz- Pellet- Heizungsanlage, ein Kessel für Grund- und Spitzenlast mit 350 kW Heizleistung, Pelletbunker 60 m<sup>3</sup>, Pufferspeicher 10 m<sup>3</sup>.

Vorteile sind Nutzung nachwachsender Rohstoffe als Brennstoff und weitestgehend CO<sub>2</sub>-neutraler Brennstoffkreislauf. Nachteile sind hoher Aufwand durch Pelletlagerraum, Komfortverlust durch Betrieb und Beobachtung der Feststoffverbrennung und weitere Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen für die Abdeckung der Spitzenlast.

Dieses realistische Anlagenkonzept wird im folgenden Kapitel der Bewertung der Anlagenkonzepte weiter behandelt.

### Konzept Heizung 12: Wärme- Kälte- Verbund mit Gas- Wärmepumpe und Erdsonde

Beschreibung:

Verbundlösung mit Wärmeversorgung im Winter und Kälteversorgung im Sommer bestehend aus Gas- Absorptionswärmepumpenanlage in Kaskadenschaltung, 5 Geräte je 36 kW Heizleistung, 35 kW Kälteleistung, Umweltwärme- bzw. Kältenutzung mittels Erdsonden, 10 Doppelsonden je 100 m Länge, gasbetriebener Spitzenlastkessel mit ca. 170 kW Heizleistung.

Vorteile sind Nutzung der Umweltwärme und Umweltkälte durch kombinierten Betrieb als Wärmepumpe und Kältemaschine. Nachteile sind hoher anlagentechnischer Aufwand, Risiko bei der Leistungsfähigkeit des Erdreiches und weitere Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen für die Abdeckung der Spitzenlast.

Dieses realistische Anlagenkonzept wird im folgenden Kapitel der Bewertung der Anlagenkonzepte weiter behandelt.

[Anlage Technik T40: Schema Wärme-Kälte-Verbund](#)

## 6.5 Auswertung der Konzepte Wärmeversorgung

### 6.5.1 Besonderheit Verbundlösung

Bei Liegenschaften mit mehreren unterschiedlich genutzten Gebäuden ist eine Verbundlösung mittels zentraler Wärmeerzeugung und Berücksichtigung von Gleichzeitigkeiten in der Regel einer dezentralen Lösung mittels Einzelkesselanlagen vorzuziehen.

Durch die unterschiedlichen Nutzungszeiten der Gebäude treten die Teil- Leistungsspitzen jeweils zu unterschiedlichen Zeiten auf. Die Leistungsspitze der Verbundlösung ist daher niedriger als die Summe der einzelnen Teil- Leistungsspitzen. Dadurch kann die installierte Kesselleistung reduziert werden, Investitionskosten werden eingespart. Weiterhin ermöglicht die Verbundlösung unterschiedlichste Varianten mit vertretbarem Aufwand. Eine zentrale Lösung reduziert Wartungs- und Betreuungskosten und entlastet das Personal des Betreibers.

### 6.5.2 Wirtschaftlichkeitsuntersuchung

Zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit unterschiedlicher Anlagenkonzepte wurden zunächst die Kosten ermittelt. Eine detaillierte Aufstellung ist im Anhang beigefügt.

[Anlage Technik T22: Tabelle Kostenermittlung](#)

Weiterhin wurden die Energiekosten ermittelt, ausgehend von dem im Vorfeld ermittelten Jahresenergiebedarf, differenziert nach Energieart.

Für die weitere Berechnung wurden folgende Faktoren als Resultat intensiver Recherche bzw. aus der Abstimmung mit dem Nutzer zu Grunde gelegt:

- Mehrwertsteuersatz: 19 %
- Gaspreis: 5,15 ct/kWh incl. MwSt.
- Leistungspauschale Gas: 1.044,- €/a
- Preissteigerung Gas: 4 %/a
- Strompreis: 15,4 ct/kWh incl. MwSt.
- Preissteigerung Strom: 2 %/a
- Preis für Holzpellets: 3,4 ct/kWh (7 % MwSt.)
- Preissteigerung Holzpellets: 1,5 %
- Zinssatz 4,5 %
- Betrachtungszeitraum: 15 Jahre
- Anfängliche Instandhaltung 1 % der Investition
- Preissteigerung für Instandsetzung 1,5 %
- Preissteigerung für betriebsgebundene Zahlungen 1,5 %
- Berechnungsverfahren:
  - Annuitätenmethode bei preisdynamischen Zahlungsfolgen nach VDI 6025 [<sup>19</sup>]
  - Förderung für Holzpellettheizungsanlagen: 45,- €/kW (Förderung läuft aus) [<sup>20</sup>]

Die Wirtschaftlichkeit der Konzepte wird im wesentlichen durch die Verbrauchskosten bestimmt. Daher führt der geringe Brennstoffpreis mit nur moderaten, erwarteten Steigerungen bei der Pellettheizung dazu, dass dieses Konzept in der Wirtschaftlichkeit mit Abstand am günstigsten abschneidet.

Auch eine Sensitivitätsanalyse mit abgeänderten Berechnungsgrundlagen verändert dieses Ergebnis nicht. Eine Tabelle mit Berechnungsergebnissen der Sensitivitätsanalyse liegt im Anhang bei.

[Anlage Technik T25: Tabelle Sensitivitätsbetrachtung](#)

Bei Rahmendbedingungen, die den Betrieb einer Pellettheizung nicht zulassen, ist aus unserer Sicht der Betrieb einer Kombination aus Wärmepumpe und Spitzenlastkessel zu empfehlen. Als Umweltwärme sollte in dem Fall die Erdsondenlösung gewählt werden. Diese Lösung liegt im Wirtschaftlichkeitsvergleich an gleicher Stelle mit der Grundwasserlösung, im ökologischen Vergleich liegt die Erdsondenlösung jedoch deutlich vorn.

Bestimmte Maßnahmen werden durch die Kreditanstalt für Wiederaufbau oder auch landeseigene oder kommunale Einrichtungen gefördert. Da diese Fördermaßnahmen hinsichtlich Ziele und Bedingungen ständigen Veränderungen unterliegen, werden im Rahmen dieser Studie hierzu mit Ausnahme der Investitionsförderung für Pellettheizungen keine weiteren konkreten Annahmen getroffen.

Mit steigendem anlagentechnischen Aufwand steigen jedoch die Anforderungen an Inbetriebnahme, Einregulierung, Betreuung und Wartung der Anlagen. Ein entsprechender Aufwand ist daher erforderlich zur Sicherstellung eines effizienten Betriebes.

In der Wirtschaftlichkeit ist dies berücksichtigt mit einem Ansatz von zusätzlich 1,5 % der Herstellkosten für Wartungsarbeiten pro Jahr.

Da die Anlageneffizienz nicht unerheblich von der Betreiberkompetenz abhängt, ist es erforderlich, fachkundiges Personal zur Betreuung der Anlagen bereitzustellen oder sich externer Fachleute zu bedienen. Der o.g. Kostenansatz für Instandhaltung in unterschiedlicher Höhe je nach Versorgungskonzept sollte dafür ausreichen.

In Bild 25 sind die Annuitäten für die verschiedenen Wärmekonzepte dargestellt. Wegen der Vergleichbarkeit mit der Wärme-Kälte-Verbundlösung sind bei allen Heizungskonzepten die Annuitäten für die ausgewählte Kälteversorgung eingeflossen. In der Zusammenstellung der Annuitäten ist deutlich erkennbar, dass die Varianten der Pellettheizung auf Grund der geringen

verbrauchsgebundenen Kosten in der Gesamtwertung am günstigsten abschneiden. Die Wärme-Kälte- Verbundlösung profitiert von der Einsparung aus der Kälteversorgung. Die Varianten, denen ausschließlich die Beheizung mittels Gaskessel zu Grunde liegen, schneiden wegen der hohen verbrauchsgebundenen Kosten am ungünstigsten ab.

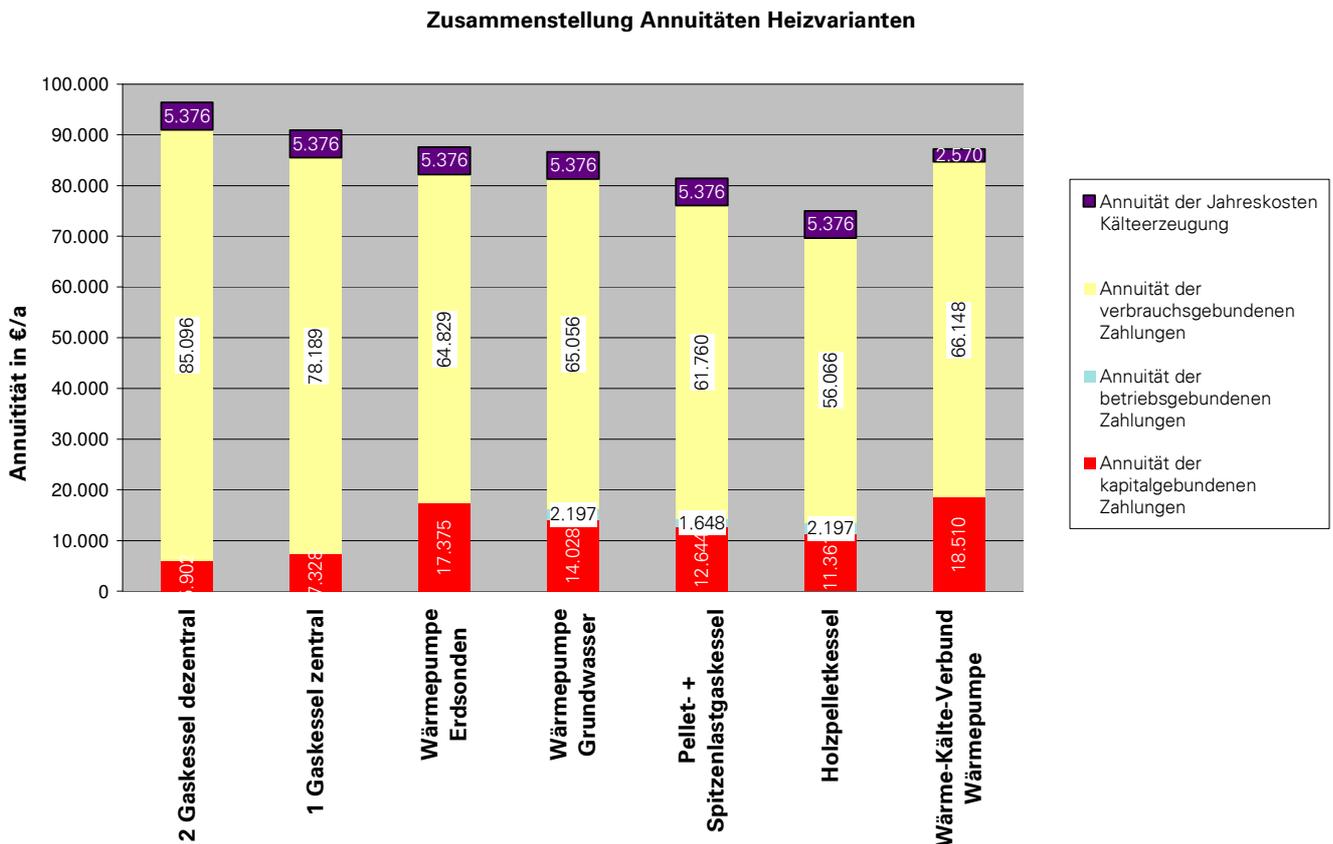


Abbildung 28 - Zusammenstellung der Jahreskosten Heizvarianten

Anlage Technik T23: Tabelle Zusammenstellung Annuitäten Wärmeversorgung

### 6.5.3 Ökologische Bewertung

Die Umweltwirkungen der unterschiedlichen Heizsysteme neutral zu analysieren und wertfrei zu quantifizieren, ist nicht möglich. Es ist immer eine Frage der Gewichtung der Umweltauswirkungen durch den Betrieb der verschiedenen Systeme in einer Ökobilanz [21]. Auch ist die Beurteilung der Prozesskette der Energieträger von der Förderung oder Ernte bis zur Umwandlung zur Nutzenergie stark abhängig von der Bewertung der Folgeerscheinungen oder Umweltauswirkungen.

Die vorliegende Untersuchung ist keine Ökobilanz, da die Herstellungs- und Entsorgungsaufwendungen der eingebauten Materialien nicht berücksichtigt wurden. Weiterhin wurde die Hilfsenergie zum Betrieb der Systeme hier vernachlässigt, da der Anteil deutlich weniger als 1 % der Endenergie beträgt.

Um die Umweltauswirkungen der hier betrachteten Heizsysteme nicht unbewertet zu lassen, beschränken wir uns in dieser Studie auf die Betrachtung von 3 verschiedenen Kriterien. Hierbei

handelt es sich jedoch nicht um detaillierte wissenschaftliche Untersuchungen sondern um Abschätzungen unter Anwendung von Parametern aus Untersuchungsberichten oder Literaturangaben. Folgende Kriterien werden betrachtet:

- Primärenergieverbrauch
- CO<sub>2</sub>- Ausstoß / Treibhauseffekt
- Feinstaubbelastung

Primärenergieverbrauch

Der Primärenergiefaktor gibt das Verhältnis von eingesetzter Primärenergie zu abgegebener Endenergie wieder [22]. Er beträgt für:

- Gas: 1,10 kWh/kWh
- Holzpellets: 0,22 kWh/kWh
- Strom: 3,0 kWh/kWh

In Abbildung 27 ist der Endenergieverbrauch für die einzelnen Primärenergieträger dargestellt, wie er sich aus den Bilanzen und Berechnungen ergibt. Auf dieser Basis wird der in Abbildung 28 dargestellte Primärenergiebedarf ermittelt.

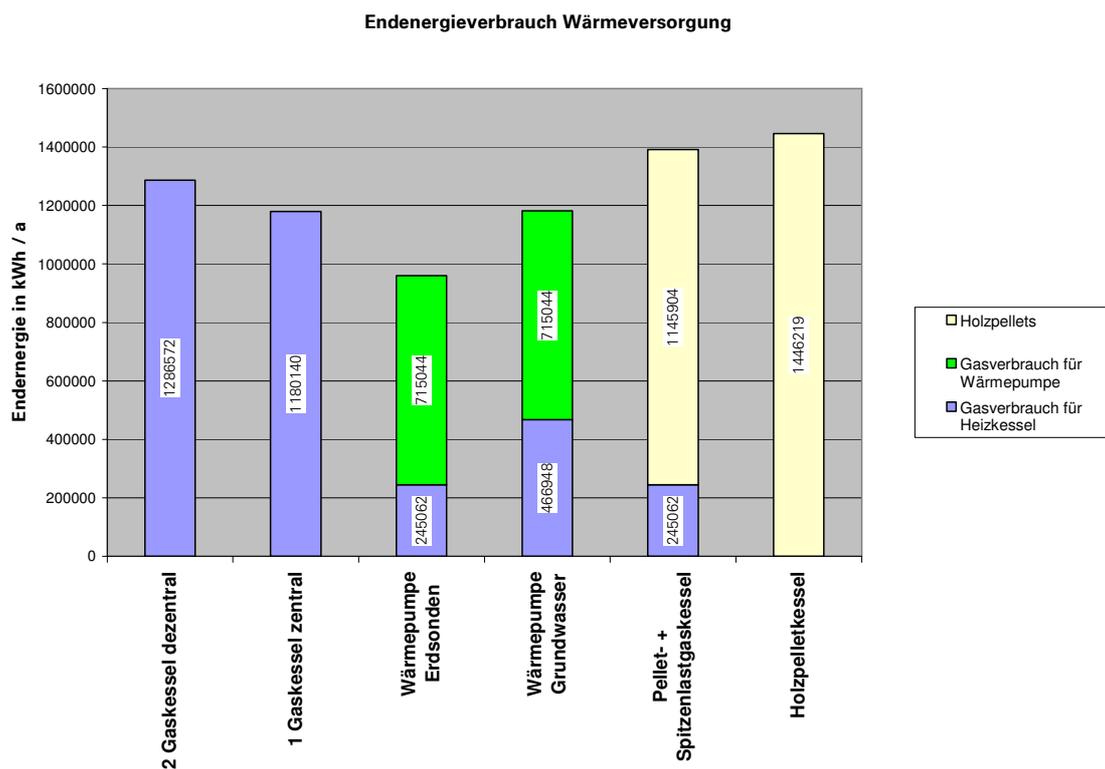


Abbildung 29 - Endenergieverbrauch Wärmeversorgung

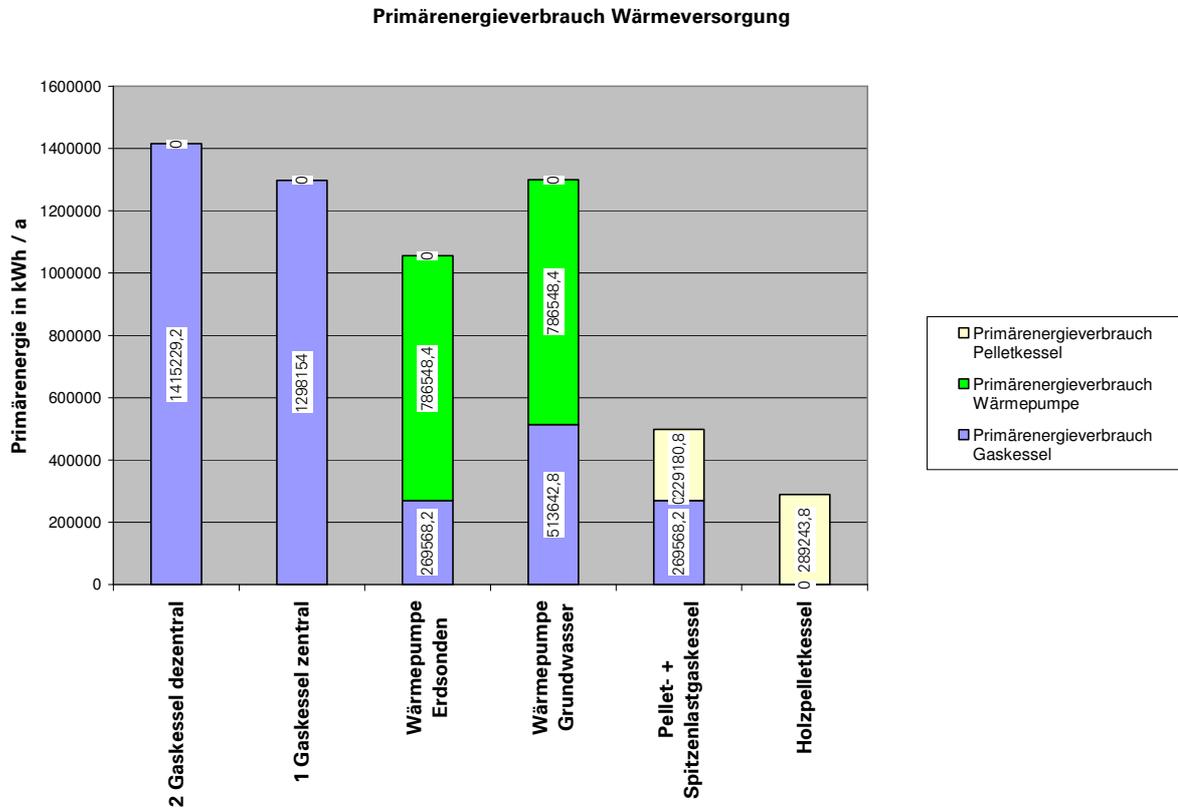


Abbildung 30 - Primärenergieversorgung Wärmeversorgung

Es ist deutlich zu erkennen, dass die Lösungen mit einem Pelletkessel auf Grund des günstigen Primärenergiefaktors den geringsten Primärenergieverbrauch aufweisen. Unter den anderen Lösungen stellt sich die Wärmepumpe mit Erdsonden und Spitzenlastkessel als die günstigste dar.

#### Anteil CO<sub>2</sub>- Ausstoß / Treibhauseffekt

Der in der oben dargestellten Abbildung ausgewiesene Anteil an nicht erneuerbarer Energieträger ist wesentlich verantwortlich für die Emission von CO<sub>2</sub>. In Bezug auf CO<sub>2</sub> erweisen sich die Konzepte mit Holzpelletkesseln als vorteilhafter als die fossil befeuerten Anlagen, da die generationennahe Verwendung nachwachsender Rohstoffe (Holz) in der CO<sub>2</sub>- Bilanz nicht bewertet wird. Auch die Wärmepumpensysteme tragen noch zum CO<sub>2</sub>- Ausstoß bei, da sowohl für den Wärmepumpenprozess wie auch für die Spitzenlastkesselanlage ein nicht unerheblicher Teil an fossiler Energie in Form von Gas zugesetzt werden muss. Die CO<sub>2</sub>- Emission je Energieträger wird wie folgt bewertet [<sup>23</sup>]:

- Gas: 0,25 kg/kWh
- Holzpellets: 0,05 kg/kWh

Damit ergibt sich der in Abbildung 29 dargestellte, bewertete CO<sub>2</sub>- Ausstoß der einzelnen Konzepte.

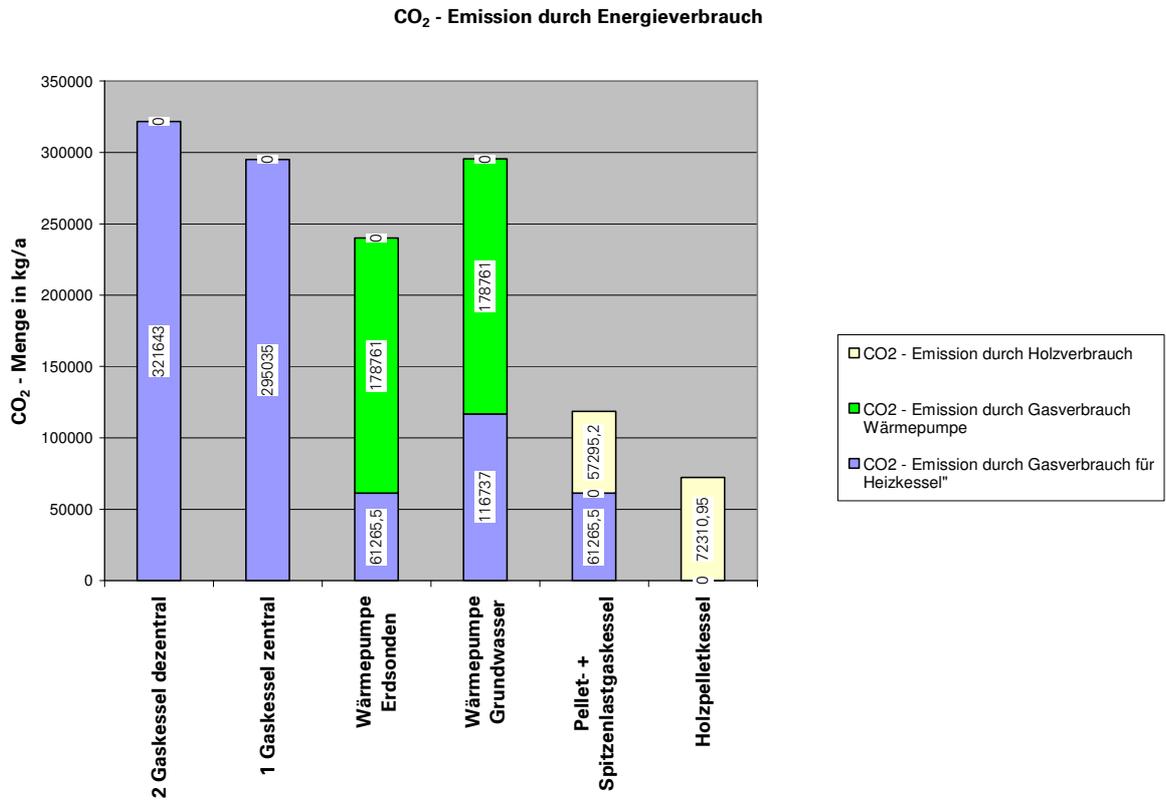


Abbildung 31 - CO<sub>2</sub> Emission Wärmeversorgung

Auch hier liegt die Pelletheizung in der Bewertung vorn, bei den sonstigen Lösungen ist wieder die Wärmepumpe mit Erdsonden und Spitzenlastkessel vorteilhaft.

### Feinstaubbelastung

Die Staubemission ist abhängig von der Zusammensetzung des eingesetzten Brennstoffs sowie von der Qualität der Feuerung. Bei der Verwendung von Erdgas ist daher die Feinstaubbelastung nahezu vernachlässigbar, sie wird hier mit 0,108 mg/kWh angenommen [24]. Bei der Verbrennung von Holzpellets sind Kriterien wie Alter und Qualität des Kessels, Vorhandensein und Qualität von Staubabscheidern, Qualität der Kesselwartung, Teil- oder Vollastbetrieb und Pelletqualität von entscheidender Bedeutung. Auf der Basis einer Auswertung von Herstellerangaben wird hier eine Belastung von 80 mg/kWh angenommen.

Da gerade der Feinstaubproblematik in innerstädtischen Bereichen immer größere Bedeutung zukommt, ist dieses Parameter von zunehmender Wichtigkeit. In Abbildung 30 ist erkennbar, dass die Holzpelletfeuerungsanlagen ungünstige Werte erzeugen, während die anderen Lösungen bzgl. der Feinstaubbelastung annähernd gleich und vernachlässigbar sind.

Zum Vergleich darf ein Dieselauto mit Euro 4 Norm 25 mg/km Feinstaub (PM10) emittieren. D.h. erst bei einer jährlichen Fahrleistung von 51.960 km erreicht dieses Auto die gleiche Feinstaubemission wie die betrachtete Pelletheizung.

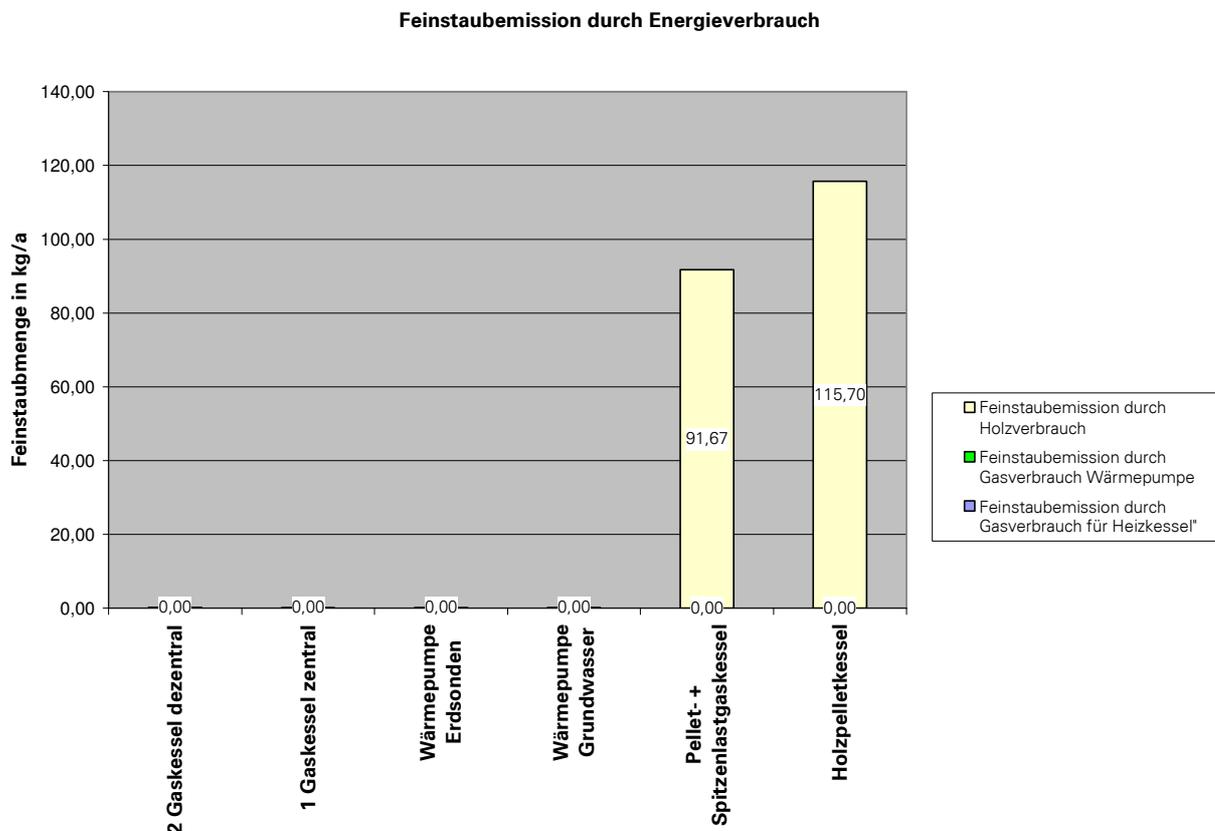


Abbildung 32 - Feinstaubemission durch Wärmeversorgung

Nun können Feinstäube (PM10) gravierende Auswirkungen auf die Gesundheit auslösen. Als PM 10 werden Partikel bezeichnet, deren Durchmesser weniger als 10 Tausendstel-Millimeter beträgt. Deshalb können diese Partikel tief in die feinsten Verästelungen der Lunge eindringen und von dort zum Teil in die Lymph- und Blutbahnen. Ihre zerklüftete Struktur ermöglicht eine Anlagerung von weiteren giftigen Substanzen. Dieses Schadstoffgemisch besteht aus einer Vielzahl von chemischen Verbindungen mit teils Krebs erzeugender Wirkung. Eine Gewichtung zwischen den Vorteilen der geringen CO<sub>2</sub>-Belastung durch Pelletverbrennung einerseits und der Feinstaubbelastung andererseits liegt jedoch nicht in unserem Ermessen.

#### 6.5.4 Weitere Randbedingungen und Sachzwänge

##### Technische Bewertung

Die untersuchten Anlagensysteme sind übliche Systeme, die als Zentralheizungsanlagen für Gebäude eingesetzt werden. Bezüglich Nutzungsdauer, Zuverlässigkeit und Versorgungssicherheit bestehen keine besonderen Einschränkungen [25]. Nur bei den Systemen mit Umweltwärmenutzung bestehen Unwägbarkeiten hinsichtlich Verfügbarkeit der jeweiligen Umweltwärme. Bei der Grundwassernutzung besteht wie bereits beschrieben, die Gefahr der Verockerung des Schluckbrunnens. Hierfür ist allerdings in der Wirtschaftlichkeitsberechnung ein Ansatz für betriebsbedingte Kosten berücksichtigt.

##### Genehmigungsvorbehalte

Besondere Genehmigungsvorbehalte für die Erstellung und den Betrieb der Anlagen bestehen in eingeschränktem Maße. Es sind bundesweit unterschiedliche zulassungsrechtliche Beurteilungen für den Betrieb von Wärmepumpen mit Erdsonden oder Grundwasserbrunnen zu beachten.

**Innovation und Marktreife**

Bei der Auswahl der Konzepte wurden bewusst keine Systeme ausgewählt, für die keine markt-reifen Komponenten verfügbar sind. Es wird davon ausgegangen, dass bei Betreibern kirchlicher Liegenschaften weder Kompetenz noch Kapazitäten vorhanden sind, um hier Pionierarbeit bei der Entwicklung von Heizsystemen betreiben zu können.

Der Einsatz von Gas- Absorptionswärmepumpenanlagen in Kaskadenschaltung kann durchaus als innovativ betrachtet werden. Es gibt vergleichsweise wenige Anlagen im Betrieb.

**Integration**

Die einfachste Form der Integration ist der Austausch vorhandener Anlagen gegen gleichwertige Neuanlagen.

Aufwendiger wird die Integration bei Pelletheizungen durch die Schaffung eines Raumes zur Pelletbevorratung. Der Vorratsraum sollte so bemessen werden, dass die Anlieferung in großen Mengen per Tankzug möglich ist, damit der Brennstoffpreis niedrig gehalten werden kann. Gerade in innerstädtischen Liegenschaften ist die Schaffung eines Behälters zur Brennstoffbevorratung nicht immer einfach im Gebäudebestand zu integrieren.

Bei der Erdwärmennutzung mittels Erdsonden muss der Bedarf an Freifläche für die Einbringung der Sonden zur Verfügung stehen und auch zugänglich sein.

Bei der Grundwassernutzung müssen die geologische Gegebenheiten vorhanden sein, dass eine Grundwasserentnahme und Rückführung möglich ist. Für die Brunnen ist eine entsprechende Fläche im Außenbereich in der Nähe der Technikzentrale verfügbar sein.

**Bewertung der Umweltauswirkungen**

Die Notwendigkeit der Reduzierung des CO<sub>2</sub>- Ausstoßes ist unumstritten. In besonderen Fällen vornehmlich in Innenstädten kommt der Belastung durch Feinstaub aus Holzverbrennungsanlagen eine besondere Bedeutung zu. Durch die erhöhte Feinstaubbelastung vornehmlich durch den Straßenverkehr aber auch durch Hausbrand verursacht, wird die Holzverbrennung in Innenstädten zunehmend Reglementierungen unterworfen und eine Ausweitung eher verhindert.

In einem Entwurf des Niedersächsischen Umweltministeriums zu Maßnahmen zur Reduzierung der Feinstaubbelastung in Städten wird empfohlen, feste Brennstoffe nur noch zum Betrieb von Nahwärmeversorgungsanlagen zuzulassen [26]. Die Stadt Osnabrück empfiehlt, auf den Einsatz von Feststoffbrennern zu verzichten [27].

**6.5.5 Vergleich Energieverbrauch bislang und in Zukunft**

Die Beheizung des Domforums erfolgte bislang über 3 Ölkessel, die aus 2 Öltanks versorgt wurden. Der Ölverbrauch wurde erfasst. Die Verbrauchszahlen sind im Anhang dargestellt.

**Anlage Technik T42: Ölverbrauch über die Jahre 2000 bis 2006**

Demnach wurden jährlich etwa 81.000 Liter Öl verbraucht. Bei einem Brutto- Ölpreis von 55 ct brutto ergeben sich jährliche Kosten von 44.550,- €.

In Zukunft sind gemäß der überschlägigen Ermittlung folgende Zahlen zu erwarten:

Variante	Endenergieverbrauch	Energieart	Energiekosten
Wärmepumpe Mit Erdsonden und Spitzenlastkessel	960.000 kWh/a	Gas (5,15 ct/kWh)	49.440,- €
Holzpelletkessel	1.446.200 kWh/a	Pellets (3,4 ct/kWh)	49.171,- €

Zusätzlich ist mit Kosten für die Kälteerzeugung von max. 2.000,- €/a zu rechnen. In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, dass sich die Nutzung in Zukunft von der bisherigen Nutzung erheblich unterscheiden wird. Vor allem das Museum wurde bislang kaum geheizt. In Zukunft ist eine regelmäßige Nutzung mit Beheizung auf konstanten behaglichen Innentemperaturen vorgesehen.

Weiterhin ist der Neubau des Chorsaals berücksichtigt. Außerdem ist die Versorgung der neuen Lüftungsanlagen Chorsaal, Cafe und Museum berücksichtigt.

Abschließend kann daher festgestellt werden, dass trotz erheblicher Erweiterung der beheizten Flächen und zusätzlichem Komfort die Energiekosten voraussichtlich nur geringfügig steigen werden.

## 7 Gesamtbewertung und Vorschläge zur Umsetzung im konkreten Fall

### Dämmmaßnahmen

Die Untersuchung der Gebäude hat gezeigt, dass die Qualität der Dämmung der untersuchten Gebäude weit vom aktuellen Standard entfernt ist. An vielen Stellen ist nur eine sehr geringe oder keine Dämmung vorhanden. Technisch ist jedoch das Anbringen einer Dämmung in den meisten Fällen möglich.

Daher sollte zunächst der Dämmstandard der Gebäude verbessert werden und die beschriebenen Maßnahmen zur Dämmung umgesetzt werden, zumindest die Maßnahmen mit geringer Amortisationszeit. Wie weit die Amortisationszeit reichen darf, ist vom Bauherrn festzulegen. Dabei ist jedoch zu bedenken, dass Energiepreise weiter steigen und Maßnahmen zur Verbesserung der Wärmedämmung lange nutzbar sind, so dass bei den niedrigen Zinssätzen auch eine Amortisationszeit von mehr als 15 Jahren in Erwägung gezogen werden könnte.

Durch Maßnahmen der Wärmedämmung und zusätzlichen Maßnahmen des sommerlichen Wärmeschutzes kann auch der Umfang der zu kühlenden Räume verringert werden. So kann durch Dämmung und Sonnenschutz im Obergeschoss des Kopfbaus des Seelsorgeamtes eine Aufheizung im Sommer weitestgehend verhindert werden.

Konkret wird vorgeschlagen, das Dämmkonzept mit mindestens wirtschaftlichen Maßnahmen umzusetzen.

### Anlagensystem Wärme / Kälte

Unter den der Untersuchung zu Grunde liegenden Rahmenbedingungen ist die Installation einer Holzpellettheizung die sinnvollste Lösung. Sowohl in Wirtschaftlichkeit wie auch in der ökologischen Bewertung ist diese Lösung den anderen untersuchten Lösungen überlegen. Nachteilig wirkt sich ausschließlich die im Vergleich zu den anderen Lösungen relativ hohe Feinstaubemission aus.

Auf Grund der Empfehlungen des Landes Niedersachsen und der Stadt Osnabrück sowie gewisser möglicher Akzeptanzprobleme wäre die Installation der Wärmepumpe mit Erdsonden und Gas- Spitzenlastkessel zu empfehlen.

In diesem Fall sollte die Wärme- Kälte- Verbundlösung gewählt werden. Auf eine zusätzliche Kältemaschine kann dann verzichtet werden.

Für die Kälteversorgung bei der o.g. Pellettheizung ist ein Kaltwassersystem mit Rückkühlung über den Dom zu empfehlen. Die günstigen Rückkühlbedingungen führen zu guten betriebsbedingungen für die Kältemaschine und damit zu geringem Energiebedarf.

### 8 Übertragbare Lösungsansätze

#### 8.1 Analyse

Sofern nicht gerade eine umfangreiche Analyse durchgeführt wurde, kann davon ausgegangen werden, dass durch eine intensive fachkundige Überprüfung des vorhandenen Gebäudedämmstandards sowie der vorhandenen Anlagentechnik Schwachstellen aufgedeckt werden. Diese Schwachstellen erfordern es, im Interesse einer Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit Sanierungsmaßnahmen unverzüglich einzuleiten objektspezifisch umzusetzen.

#### 8.2 Art der Kirchenheizung abhängig von der Nutzung

Die typische ideale Kirchenheizung gibt es nicht. Die Art der Beheizung ist immer von der Art der Nutzung abhängig. Weiterhin sind auch die Art und Größe des Gebäudes, Umfang schützenswerter Kulturgüter, denkmalpflegerische Belange und Verhältnismäßigkeit von Aufwand und Nutzen zur Einbringung des idealen Systems zu berücksichtigen. Daher ist eine kritische Überprüfung der Ansprüche bezüglich Raumtemperatur in der Kirche vorzunehmen. Durch eine geringe Ansenkung der Raumtemperatur kann in der Regel schon viel Energie gespart werden.

#### 8.3 Energieeinsparung durch Reduzierung der Kirchenraumtemperaturen

Für Bürogebäude bzw. Arbeitsplätze im Allgemeinen sind Raumtemperaturen vorgegeben. Auch z.B. für Museen sind je nach Ausstellungsart Raumtemperaturen und ggf. auch Feuchten vorgegeben. Diese können jedoch ggf. in Abstimmung mit dem Konservatoren auf ein unbedingt notwendiges Maß reduziert werden. Für Kirchengebäude gibt es keine Vorgaben.

#### 8.4 Kesselanlagen zu groß

Sofern nicht gerade eine genaue Ermittlung z.B. durch eine Simulationsberechnung durchgeführt wurde, kann davon ausgegangen werden, dass die vorhandenen Wärmeerzeugungsanlagen i. Allg. viel zu groß ausgelegt sind und dadurch nicht optimal betrieben werden können. Viele Anlagen können daher in der Leistung reduziert werden. Insbesondere nach Durchführung von Dämmmaßnahmen kann die Heizleistung reduziert werden.

#### 8.5 Verbundlösung

Bei ähnlichen Liegenschaften mit mehreren unterschiedlich genutzten Gebäuden ist eine Verbundlösung mittels zentraler Wärmeerzeugung und Berücksichtigung von Gleichzeitigkeiten in der Regel einer dezentralen Lösung mittels Einzelkesselanlagen vorzuziehen.

#### 8.6 Realistische und unrealistische Konzepte

Die vorgenommene Voreinschätzung der Realisierbarkeit der Konzepte im Kapitel Konzepte Wärmeversorgung kann sicherlich für Liegenschaften gleicher Art übernommen werden. Durch die weitere detailliertere Bearbeitung kann sicherlich die Anzahl der in Frage kommenden Lösungen auf drei bis max. vier Varianten reduziert werden.

#### 8.7 Wirtschaftlichkeitsanalysen und ökologische Bewertung

Zusätzlich sollten zumindest qualitativ Aspekte zur Ökologie, Ressourcenschonung und Bewahrung der Schöpfung berücksichtigt werden.

Eine detaillierte Wirtschaftlichkeitsanalyse zur Absicherung der Entscheidungen und richtigen Abwägung zwischen Investitionen und Folgekosten ist in jedem Fall zu empfehlen.

#### 8.8 Pelletanlage

Die Wirtschaftlichkeit von Anlagenkonzepten hängt im Wesentlichen vom Preis für den hauptsächlich eingesetzten Brennstoff ab. Daher gewinnt die Verbrennung von Holzpellets mit niedrigeren und seit Jahren annähernd gleichbleibenden Preisen gegenüber fossilen Energieträgern immer mehr an Bedeutung. Auch bei Heizsystemen mit höheren Vorlauftemperaturen, wie sie im Sanierungsbereich überwiegend vorzufinden sind, ist die Pelletheizung uneingeschränkt einsetzbar.

8.9 Alternative zur Pelletheizung: Wärmepumpe mit Erdsonden

Sollte die Pelletheizung auf Grund von sonstigen Erwägungen nicht zum Einsatz gelangen, ist die Wärmepumpe langfristig eine wirtschaftliche und ökologische Lösung. Es wird jedoch darauf hingewiesen, dass die Rahmenbedingungen für den Betrieb der Wärmepumpenanlage deutlich komplizierter sind. Hier werden insbesondere folgende Aspekte benannt: Unwägbarkeiten bei der Leistungsfähigkeit des Erdreiches, möglichst niedrige Vorlauftemperatur im Heizsystem, aufwändige hydraulische Schaltung bei der Kaskadenanlage, Einbindung der Kälteversorgung in den Wärmepumpenkreislauf, Erfordernis eines kompetenten Betriebs. Hierauf ist im Zuge der Planung besonders zu achten.

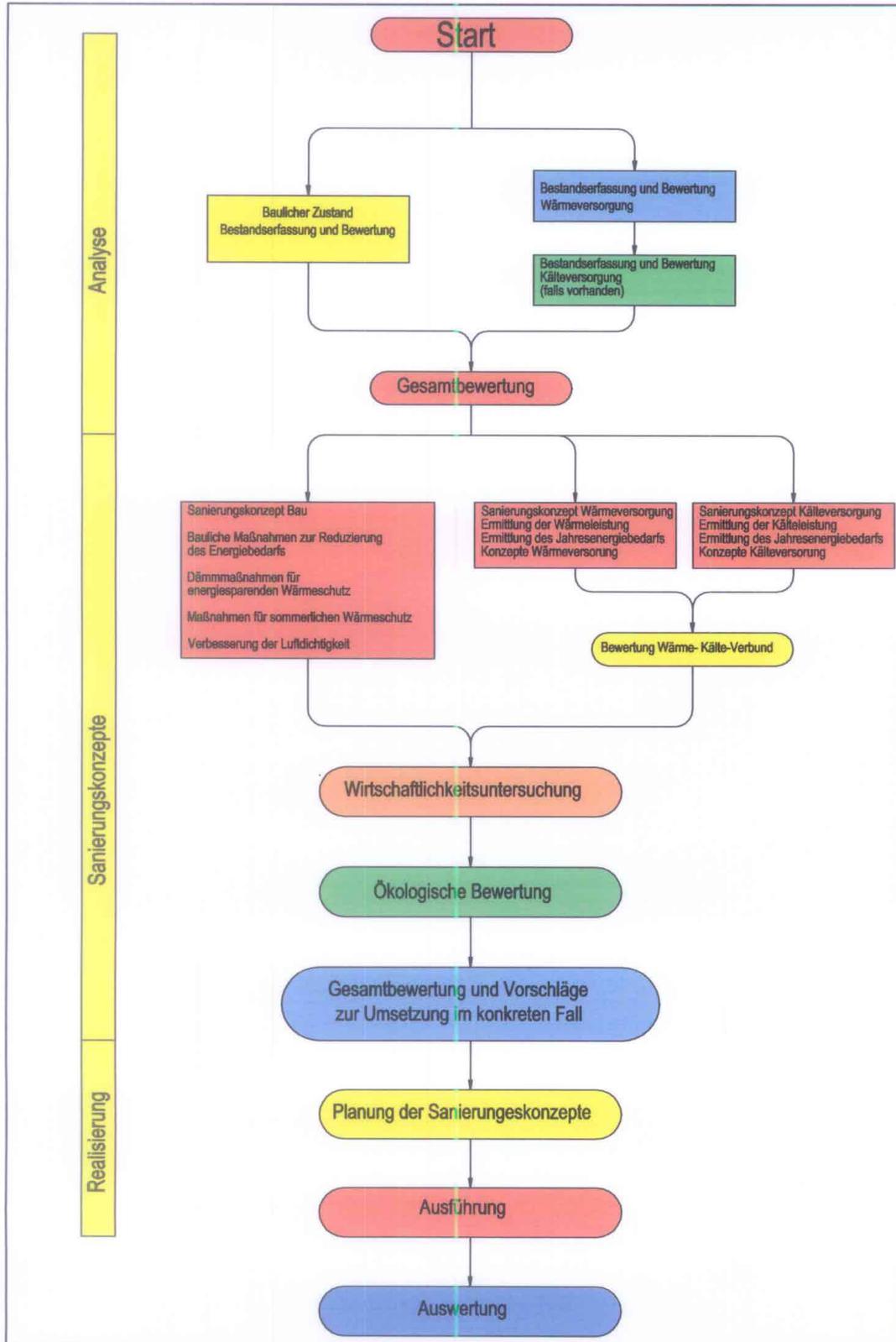


Abbildung 33 - Prozessablaufdiagramm

## 10 Zusammenfassung

Die vorliegende Studie zeigt eine grundlegende und modellhafte Vorgehensweise zur energetischen Sanierung kirchlicher Liegenschaften mit den verschiedenen Gebäudetypen historisches Kirchengebäude, Museum und Verwaltungsgebäude. Zunächst werden die Analyse bestehender Einrichtungen erläutert und Vorschläge zum energetischen Sanierungsbedarf im Allgemeinen dargelegt.

Im nächsten Schritt werden modellhafte Untersuchungen in der Liegenschaft Domforum Osnabrück beschrieben. Die hierzu erforderliche, strukturierte Vorgehensweise wird erläutert.

Der erste Schwerpunkt der Untersuchungen betrifft die bauphysikalischen Eigenschaften des Domgebäudes. Hier wurden Bauteile in Ihrer Qualität erfasst. Folgende Messungen wurden durchgeführt:

- Temperaturmessungen und Thermografieuntersuchungen
- Dichtigkeitsmessungen
- Messungen zum CO<sub>2</sub> Gehalt der Luft

Weiterhin wurde eine Simulation des Temperaturverhaltens bei Dauerheizbetrieb, bei unterbrochenem Heizbetrieb und ohne Heizbetrieb durchgeführt.

Wesentliche Erkenntnisse der Untersuchungen sind, dass Lüftungsverluste eine untergeordnete Rolle spielen und Fensterflächen nur eine geringe Bedeutung bei den Transmissionsverlusten zukommt. Weiterhin ergab sowohl die Simulation wie auch die durchgeführten Messungen, dass bei Unterbrechung des Heizbetriebs im Dom die Raumtemperatur in kürzester Zeit stark abfiel auf das Temperaturniveau der kalten Wandoberflächen. Konsequenz daraus ist ein nahezu durchgehender Anlagenbetrieb mit reduzierter Heiz- und Luftleistung. Absenkungen während der Nacht müssen sonst wegen der großen Speichermassen des historischen Gebäudes mit höheren Heizleistungen tagsüber wieder ausgeglichen werden. Ein energetischer Vorteil ist gegeben. Eine vergrößerte Anlage ist aber erforderlich. (Nur übertragbar auf ungedämmte massive Kirchen)

Der zweite Schwerpunkt der Untersuchungen betrifft die bestehende Wärmeversorgung der Liegenschaft mit 3 Kesselanlagen jeweils in Domgebäude, Seelsorgeamt und Diözesanmuseum. Untersucht wurden Betriebsparameter der Kesselanlagen sowie die Zusammenhänge von Leistung und Außentemperatur sowie Nutzung jeweils für die verschiedenen Gebäude.

Es wurde festgestellt, dass die Anlagen veraltet und überdimensioniert sind.

Das Museum befindet sich in historischer Bausubstanz mit äußerer und innerer Kühllast, weiterhin ist ein Cafe und ein Chorsaal im Sommer zu kühlen.

Um den zukünftigen Energiebedarf für Beheizung und Kühlung der Gebäude zu reduzieren, wurden Maßnahmen zur Gebäudedämmung entwickelt und bauphysikalisch und wirtschaftlich bewertet.

Aufbauend auf diese Untersuchungsergebnisse wurden dann Konzepte entwickelt zur Beheizung und Kühlung der Gebäude.

Auf Grund der unterschiedlichen Nutzungszeiten und der Nutzung der Trägheit eines massiven Kirchengebäudes wurde eine Verbundlösung zur Wärmeversorgung favorisiert. Dadurch kann die Spitzenleistung reduziert werden, und Investitionskosten können so gesenkt werden.

Nach einer Vorbewertung, die zum Ausschluss einiger Konzepte wie BHKW, Solaranlage, moto-

rische Wärmepumpe und Wärmepumpen mit natürlichen Kältemitteln führte, wurden die als realistisch verwertbar eingeschätzten Systemlösungen weiterentwickelt. Dazu zählen:

- zentrale oder dezentrale konventionelle Kesselanlagen
- Gas- Absorptionswärmepumpe mit Spitzenlastkessel
- Grundwasser- bzw. Erdwärmenutzung
- Holz- Pelletheizung mit und ohne Spitzenlast- Gaskessel
- Wärme- Kälte- Verbund mit Wärmepumpe und Spitzenlastkessel

Es wurden im Einzelnen Kosten sowie jeweils der systemabhängige Energiebedarf ermittelt.

Mittels Annuitätenmethode bei preisdynamischen Zahlungsfolgen nach VDI 6025 wurden die Systemlösungen dann bewertet und gegenübergestellt. Diese Gegenüberstellung erlaubt den direkten wirtschaftlichen Vergleich. Es zeigt sich dass der Preis für den hauptsächlich eingesetzten Brennstoff das Wirtschaftlichkeitsergebnis entscheidend beeinflusst. Daher erreicht die Variante Holzpelletkessel mit niedrigeren und seit Jahren fast gleichbleibenden Preisen gegenüber fossilen Energieträgern das wirtschaftlichste Ergebnis.

Weiterhin wurden die Konzepte bewertet hinsichtlich Umweltrelevanz, Nachhaltigkeit, Innovation und Integration. Auch hier zeigt die Pelletheizung durch die Nutzung nachwachsender Rohstoffe deutliche Vorteile. Für eine Realisierung erweist sich jedoch die Feinstaubbelastung aus der Verbrennung von Holzpellets als entscheidender Nachteil für den Einsatz in Städten und Ballungsgebieten

Abschließend wurden Kombinationen aus Dämmmaßnahmen und Konzepten zur Beheizung und Kühlung als Gesamtkonzeptionen weiterentwickelt und dem Bauherrn als Entscheidungsgrundlage vorgestellt.

Diese Vorgehensweise stellt sicher, dass die Kriterien Ökonomie, Ökologie, Integration und Innovation bei der Entscheidungsfindung für Maßnahmen zur Sanierung der Energieversorgung angemessen berücksichtigt werden können.

Die vorgesehenen Vorgehensweisen und wohl auch in vielen Fällen die Lösungen für die Wärmeversorgung des Domforum Osnabrück haben Modellcharakter für Liegenschaften ähnlicher Ausprägung und können in angepasster Form als Konzepte übernommen werden.

Zusammengefasst sind folgende Erkenntnisse in Kurzform als Ergebnis dieser Studie hervorzuheben:

- Messungen an den bestehenden Anlagen haben gezeigt, dass die vorhandenen Anlagen viel zu groß ausgelegt waren und dadurch nicht optimal betrieben werden konnten.
- Vor der Entscheidung über Sanierungsmaßnahmen ist daher eine gründliche Analyse der bestehenden Anlagen vorzunehmen.
- Nutzerverhalten und Nutzeranforderungen sind zu hinterfragen.
- Dämmmaßnahmen führen einerseits zu Energieeinsparung, andererseits kann der Sanierungsaufwand bei Wärme- und Kälteanlagen durch den reduzierten Leistungsbedarf gesenkt werden.
- Nur eine Gesamtkonzeption aus Analyse des Bestands, Bewertung von Nutzerverhalten und Auswahl geeigneter Verbundanlagenkonzepte bringt optimale Ergebnisse.
- Die Wirtschaftlichkeit von Anlagenkonzepten hängt im Wesentlichen vom Preis für den hauptsächlich eingesetzten Brennstoff ab. Hier haben Holzpelletheizungen Vorteile. Diese werden jedoch vor allem in innerstädtischen Bereichen durch die höhere Feinstaubbelastung in Frage gestellt.
- Für die vorliegende Liegenschaft wird unter Berücksichtigung sämtlicher Aspekte und einer kritischen Bewertung der Feinstaubbelastung die Installation einer Wärmepumpenlösung mit

Wärme-Kälte-Verbund vorgeschlagen.

11 Anlagen

11.1 Anlagen Bauphysik

Anlage 1	Raumklimatische Messungen Diözesanmuseum
Anlage 2	Raumklimatische Messungen Dom
Anlage 3	Messung der Luftqualität während eines Gottesdienstes
Anlage 4	Raumklimatische Messungen Diözesanverwaltung
Anlage 5	Untersuchung der Luftdichtigkeit romanischer Kirchen
Anlage 6	Untersuchung des Feuchteschutzes bei Innendämmungen und Wandheizsystemen unter Berücksichtigung des Museumsklimas
Anlage 7	Messung der Oberflächentemperaturen von Wänden
Anlage 8	Simulation der Energiezustände des Domes

11.2 Anlagen Technik

Anlage 11.	Bericht zur Messung an der Kesselanlage Dom
Anlage 12.	Messergebnisse Kesselanlage Dom
Anlage 13.	Bericht zur Messung an der Kesselanlage Museum
Anlage 14.	Messergebnisse Kesselanlage Museum
Anlage 15.	Bericht zur Messung an der Kesselanlage Seelsorgeamt
Anlage 16.	Messergebnisse Kesselanlage Seelsorgeamt
Anlage 17.	Bericht zur Messung an der Lüftungsanlage Dom
Anlage 18.	Messergebnisse Lüftungsanlage Dom
Anlage 19.	Datenblatt CO2 Messung im Dom
Anlage 20.	Zusammenfassung Heizleistung und Brennstoffverbrauch Domforum
Anlage 21.	Tabelle Jahreswärmeenergiebedarf und Heizkosten
Anlage 22.	Tabelle Kostenermittlung
Anlage 23.	Tabelle Zusammenstellung Annuität Wärme
Anlage 24.	Tabelle Zusammenstellung Annuität Kälte
Anlage 25.	Tabelle Selektivitätsbetrachtung
Anlage 26.	Beschreibung Dämmmaßnahmen
Anlage 27.	Energie- und Kostenbetrachtung Dämmmaßnahmen
Anlage 31.	Schema zwei dezentrale Gaskessel
Anlage 32.	Schema zentraler Gaskessel
Anlage 33.	Schema Wärmepumpe Erdsonde
Anlage 34.	Schema Wärmepumpe Grundwasser
Anlage 35.	Schema Holzpelletkessel mit Spitzenlast
Anlage 36.	Schema dezentrale Splitkälte
Anlage 37.	Schema zentrale Splitkälte
Anlage 38.	Schema Kaltwassersatz luftgekühlt
Anlage 39.	Schema Kaltwassersatz Rückkühlung Dom
Anlage 40.	Schema Wärme-Kälte-Verbund
Anlage 41.	Entscheidungsmatrix Wärmeversorgung
Anlage 42.	Ölverbrauch über die Jahre 2000 bis 2006

12 Literatur- und Normenverzeichnis

- 
- 1 Borsch-Laaks, R.: Wohnen ohne Feuchteschäden, Energieverlag GmbH Heidelberg, 2. Auflage, Ausgabe 2000
  - 2 Bonk, M.: Bauphysikalische Aspekte bei der Gebäudesanierung – Beispiel Fenstererneuerung, in: Bauphysikkalender 2002, Hrsg. Erich Cziesielski
  - 3 DIN 4108-3 – Wämeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden, 07/2001
  - 4 Verordnung über einen energiesparenden Wämeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV) vom 01.02.2002
  - 5 Bonk, M.: Bauphysikalische Aspekte bei der Gebäudesanierung – Beispiel Fenstererneuerung, in: Bauphysikkalender 2002, Hrsg. Erich Cziesielski
  - 6 Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (Hrsg.): Energieeinspargesetz (EnEG) - Gesetz zur Einsparung von Energie in Gebäuden. Vom 22.Juli 1976 (BGBl I S. 1873, 1978), geändert durch das Erste Änderungsgesetz vom 20. Juni 1980 (BGBl. I S. 701, 1980). Bundesgesetzblatt Teil 1 (1976), Nr. 87, S. 1874-1878. Referentenentwurf vom 10.01.2005 (BGBl. I S. 2992)
  - 7 Energetische Sanierung von Fachwerkhäusern. Die richtige Anwendung der EnEV. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2005
  - 8 Energetische Sanierung von Fachwerkhäusern. Die richtige Anwendung der EnEV. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2005
  - 9 Arendt, Claus, Raumklima in großen historischen Räumen, Verlag R. Müller, 1993
  - 10 C. Waller, Gottenheim, 2004, Gebäudeklima in Museen,
  - 11 „Raumklima in Museen“ hrsg. vom Fachinstitutes Gebäude-Klima in Bietigheim, 11/2000
  - 12 DIN EN 12831, Verfahren zur Berechnung der Norm- Heizlast, Beiblatt 1, April 2004
  - 13 Künzel, H.M. IBP- Mitteilung 336, Neue Forschungsergebnisse, kurz gefasst. Stuttgart, Fraunhofer Institut für Bauphysik IBP, 1998 Innendämmung von Natursteinmauern.
  - 14 Hainbach, Christian, Heizen, Kühlen und Klimatisieren mit Gas- Wärmepumpen und – Kälteanlagen, ASUE 2001
  - 15 VDI 6025 Betriebswirtschaftliche Berechnungen für Investitionsgüter und Anlagen, 11/1996
  - 16 Richtlinie zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien, BM Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, BAnz S 4566, 01.08.2006
  - 17 Stroh, Matthias, Pelletheizungen, Standard der zukünftigen Heiztechnik oder Nischentechnologie?, Heizungsjournal 04/05 2004
  - 18 DIN 4710 Statistiken meteorologischer Daten zur Berechnung des Energiebedarfs von heiz- und raumluftechnischen Anlagen, 01/2003
  - 19 VDI 6025 Betriebswirtschaftliche Berechnungen für Investitionsgüter und Anlagen, 11/1996

- 
- <sup>20</sup> Richtlinie zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien, BM Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, BAnz S 4566, 01.08.2006
- <sup>21</sup> Kessler, Knechtle, Frischknecht, BUWAL 2000, Ökobilanzen: Heizenergie aus Heizöl, Erdgas oder Holz?
- <sup>22</sup> DIN 4701-10, Energetische Bewertung heiz- und raumlufttechnischer Anlagen - Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung, 08/2003
- <sup>23</sup> Großklos, Marc, IWU Darmstadt, Kumulierter Energieaufwand verschiedener Energieträger 01/2006-09-05
- <sup>24</sup> UMEG Zentrum für Umweltmessungen Baden Württemberg, Dezember 2004
- <sup>25</sup> Stroh, Matthias, Pelletheizungen, Standard der zukünftigen Heiztechnik oder Nischentechnologie?, Heizungsjournal 04/05 2004
- <sup>26</sup> Niedersächsisches Umweltministerium Mai 2005, Entwurf, Mögliche Maßnahmen, die im Rahmen eines Aktionsplanes zur Reduzierung der Feinstaubbelastung in Städten ergriffen werden können.
- <sup>27</sup> Friedensstadt Osnabrück, September 2006, Maßnahmen gegen Feinstaub, [www.osnabrueck.de/19775.asp](http://www.osnabrueck.de/19775.asp)