

Domkapitel zu Osnabrück
Hasestraße 40a
49074 Osnabrück

**Umsetzung eines modellhaften,
integrierten Energieversorgungskonzeptes
für einen großen Gebäudekomplex**

Abschlussbericht über ein Projekt,
gefördert unter dem Az. 24138/02
von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt

Dipl. Ing. Klaus Steinkamp
pbr Planungsbüro Rohling AG

Osnabrück, 2012

Projektkennblatt
der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Az	24138/02	Referat	24	Fördersumme	75.000,- €
----	----------	---------	----	-------------	------------

Antragstitel Umsetzung eines modellhaften, integrierten Energieversorgungskonzeptes für einen großen Gebäudekomplex

Stichworte Energieversorgung, Klimaschutz, Bauen, Erdwärme und Wärmepumpen

Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)
48 Monate	März 2007	Dezember 2011	1

Zwischenberichte

Bewilligungsempfänger	Domkapitel zu Osnabrück vertreten durch Herrn Domdechant Heinrich Plock Hasestraße 40a 49074 Osnabrück	Tel	0541/318-0
		Fax	0541/318-178
		Projektleitung	Herr Reinartz

Bearbeiter	Herr Steinkamp (pbr)
------------	----------------------

Kooperationspartner pbr Planungsbüro Rohling AG
Rheiner Landstraße 9
49078 Osnabrück

Zielsetzung und Anlaß des Vorhabens

Gegenstand des Projektes sind die Wärme- und Kälteversorgung der Liegenschaft als Verbundlösung für alle Gebäude und Verbundlösung für Wärme- und Kälteerzeugung mittels Gasabsorptionswärmepumpe und Erdwärmennutzung über Erdsonden, die dazu gehörenden Planungsleistungen, die Dokumentation sowie eine messtechnische Validierung. Voraussetzung für die Förderung sind Maßnahmen zur Reduzierung der Heiz- und Kühllast. Zu diesen Maßnahmen gehören Dämmarbeiten an nichttechnischem Ausbau, Sanierung und Austausch von Fenstern und Türen, Einbau von Wärmeschutzverglasung und Sonnenschutzeinrichtungen, der Einbau einer kontrollierten Lüftung für Teile der Büroräume. Bei diesen Maßnahmen wird weit über das nach Energieeinsparverordnung geforderte Maß hinausgegangen, um Ressourcen zu schonen und durch eingesparten Energieverbrauch langfristig auch Kosten zu sparen.

Ziel ist zunächst die Reduzierung der Heiz- und Kühllast in verschiedenen Bereichen der Liegenschaft, ausgehend von den Erkenntnissen der modellhaften Studie für kirchliche Liegenschaften am Beispiel Domforum Osnabrück, DBU- AZ 24138/01. Weiterhin wird angestrebt die konsequente Senkung des Energieverbrauchs für Wärme- und Kälteerzeugung durch den Einsatz eines ökologischen und wirtschaftlichen Energieversorgungssystems einschließlich Nutzung von Umweltwärme in Form von Erdsonden sowohl für den Heiz- wie auch für den Kühlfall.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

- Realisierung der im Rahmen der Studie ermittelten technischen Lösungen zur Reduzierung der Heiz- und Kühllast, Zeitraum März 2007 bis März 2008.
- Bau der Energiezentrale mit Erdsonden, Gas- Wärmepumpen und Gas- Spitzenkessel, Zeitraum März 2007 bis März 2008
- Optimierungsphase der Anlagentechnik, Erfassung umfangreicher Messwerte und Auswertung der Ergebnisse, Zeitraum März 2008 bis Februar 2009.
- Weitere Erfassung von Messergebnissen und Auswertung der Anlagentechnik, Vergleich mit den Eingangsdaten bzw. Planungsgrundlagen, Zeitraum März 2009 bis Dezember 2011.

Ergebnisse und Diskussion

Über die Machbarkeitsstudie und der darauf aufbauenden Planung wurde im Domforum Osnabrück ein zentral angeordnetes System zur Wärme- und Kälteversorgung der gesamten Liegenschaft mit Wärmepumpen und Spitzenlastheizkessel installiert. Das auf engstem Raum installierte System mit Nutzung des Erdreichs als Wärmelieferant und Wärmespeicher nutzt Synergien durch die Versorgung unterschiedlicher Nutzungen. Hydraulik und Regelung der komplexen Anlage erwiesen sich beim Monitoring als Hauptproblem, da die vielfältigen Betriebssituationen im Vorfeld nicht ausreichend Berücksichtigung fanden, und erst im Betrieb durch Anpassung und Korrektur der Regelparameter optimiert werden konnten. Der häufige Ausfall einer Wärmepumpe zeigte ein Risiko bei der Auswahl von Produkten auf, die nur einen begrenzten Marktanteil haben und der Service mangels qualifizierten Personals nur eingeschränkt erwartet werden kann. Das Monitoring zur Betriebsoptimierung und nachhaltigen Sicherstellung der betrieblichen, wirtschaftlichen und ökologischen Ziele ist nahezu unabdingbar.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Zum Projekt wurde ein Veröffentlichungstext erstellt, der an alle Kirchengemeinden im Bistum verteilt wird.

Fazit

Umfassende Planung, uneingeschränkte Betrachtung der Aufgabenstellung ggf. über die Nahziele eines Projektes hinaus, konsequente Umsetzung und messtechnische Validierung führen zu einem nachhaltigen Projekterfolg.

Inhaltsverzeichnis

1. Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen	Seite 2
2. Zusammenfassung	Seite 3
3. Einleitung	Seite 4
3.1 Das Domforum	
3.2 Die Studie	
3.3 Gegenstand und Ziel des Projekts	
4. Realisierung	Seite 7
4.1 Bauliche Maßnahmen	
4.1.1 Dämmmaßnahmen für einen energiesparenden Wärmeschutz	
4.1.2 Maßnahmen zum sommerlichen Wärmeschutz	
4.2 Entwicklung des Konzeptes zur Wärme- und Kälteversorgung	
5. Monitoring	Seite 14
5.1 Vorgehensweise	
5.2 Anlagenkomponenten und Erkenntnisse aus der Betriebsanalyse	
6. Wirtschaftlicher und ökologischer Vergleich	Seite 24
6.1 Ausgangssituation	
6.2 Veränderung gegenüber der Ausgangssituation	
6.3 Istsituation und Auswertung	
7. Zusammenfassung	Seite 28
8. Anhang	Seite 29

1. Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen

Bild 1: Liegenschaft Domforum

Bild 2: Luftbild Domforum

Bild 3: Schrägdachdämmung Kopfbau

Bild 4: Fenster Glasaustausch Seelsorgeamt

Bild 5: Dachfußbodendämmung Seelsorgeamt

Bild 6: Schrägdachdämmung Kopfbau

Bild 7: Austausch Fenster Dach Kopfbau

Bild 8: Dämmung Abseitenwände

Bild 9: Fenster Glasaustausch Kopfbau

Bild 10: Fenster Glasaustausch Seelsorgeamt

Bild 11: Dachfußbodendämmung Seelsorgeamt

Bild 12: Museum Innendämmung Außenwände

Bild 13: Detail Schnitt Kastenfenster

Bild 14: Schema Konzeptstudie

Bild 15: Schema Realisierung

Bild 16: Anlagenschema

Bild 17: Energieflussdiagramm

Bild 18: Energieflussdiagramm Vergleich

Bild 19: Trendkurve

2. Zusammenfassung

Die Dämmmaßnahmen haben zu einer erheblichen Energieeinsparung beigetragen: Die Leistung der Wärmeerzeuger ist trotz knapper Auslegung bisher nicht an ihre Grenze gekommen. Die Wärmeleistung des Heizkessels konnte sogar noch reduziert werden.

Das Monitoring hat Fehler und Schwächen der komplexen Anlage aufgezeigt: Die Vielzahl möglicher Betriebsvarianten der Anlage zur Wärme- und Kälteversorgung führte anfangs zu unerwünschten Betriebszuständen. Insbesondere im Regelprogramm war erheblicher Anpassungsbedarf bzw. eine Korrektur der Regelparameter erforderlich. Dies konnte durch das Monitoring aufgezeigt und korrigiert werden.

Das Konzept der Wärme- und Kälteversorgung war für den Anwendungsfall angemessen: Es zeigte sich, dass in hohem Maße gleichzeitig Wärme und Kälte benötigt werden. Das Konzept der kombinierten Wärme- und Kälteversorgung ist daher für den Anwendungsfall angemessen. Die Auslegung der Komponenten zur Wärme- und Kälteerzeugung hätte noch knapper ausgeführt werden können, wobei die Teilredundanz in der Kälteerzeugung sich aufgrund der Probleme mit einer Kältemaschine als sehr nützlich erwiesen hat.

Die Auswahl eines exotischen Produktes birgt Risiko für die Betriebssicherheit: Die Absorptionskältemaschinen weisen einen hohen Verschleiß auf, der Service im Störfall am Ammoniak-Kältekreis war bisher aufgrund ungenügender Verfügbarkeit qualifizierten Servicepersonals nicht zufriedenstellend. Daher entstanden längere Ausfallzeiten der Wärmepumpen.

Die Wärme-/Kältekopplung birgt ein hohes Fehlerpotential in Hydraulik und Regelung: Die hohen Anforderungen an das kombinierte System sowie die beengten Platzverhältnisse mit den daraus resultierenden widrigen Bedingungen für den Aufbau der hydraulischen Komponenten machen ein Monitoring zur nachträglichen und nachhaltigen Betriebsoptimierung unabdingbar.

3. Einleitung

3.1 Das Domforum

Das Forum am Dom in Osnabrücks Altstadt stellt ein kulturelles pastoral-kirchliches Zentrum dar. Der Gebäudekomplex am Dom vereint, neben dem Kirchenbau, die Verwaltungsräume des Seelsorgeamtes, das Diözesanmuseum und einem Chorsaal.

Im Rahmen von Umbau-, Sanierungs- und Erweiterungsmaßnahmen sollte die Liegenschaft auf energiesparende Konzepte und ihre Umsetzbarkeit untersucht werden. Da bei gewachsenen Gebäudestrukturen oftmals unterschiedliche Nutzungen und Ansprüche bzgl. der Räumlichkeiten bestehen, sowie denkmalpflegerische Aspekte berücksichtigt werden müssen, wird bisweilen ein übergreifendes Energiekonzept verhindert. Dass dies dennoch möglich ist, bezeugt die begleitende Studie, die beim Forum am Dom durchgeführt wurde. Ihr Ziel war es, Schwachstellen und Verbesserungspotenzial für nachfolgende Projekte aufzudecken.

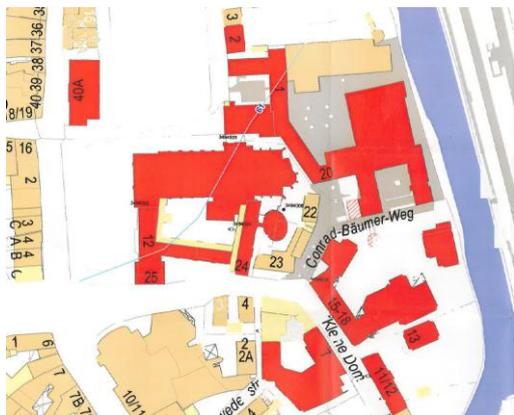


Bild 1: Liegenschaft Domforum



Bild 2: Luftbild Domforum

3.2 Die Studie

Am Anfang des Projektes stand die modellhafte Studie zur Wärmeversorgung kirchlicher Liegenschaften. In der Studie wurde modellhaft für diese und für vergleichbare Liegenschaften untersucht, die Gebäude im Verbund mit Wärme zu versorgen. Es wurde 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 wurden Systeme untersucht, die höhere Anfangsinvestitionen erfordern, jedoch durch die Anordnung im Verbund und damit verbundene längere Nutzungszeiten eventuell gesamtwirtschaftlich und energetisch positiv zu bewerten sind.

Bei der Studie wurde 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 betrieben. Dies ist eine typische Konstellation, die auch an anderen historischen Kirchenstandorten oder in Kloster- und Schlossanlagen vorliegt.

3.3 Gegenstand und Ziel des Projekts

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

Gegenstand des Projektes sind die Wärme- und Kälteversorgung der Liegenschaft als Verbundlösung für alle Gebäude und Verbundlösung für Wärme- und Kälteerzeugung mittels Gasabsorptionswärmepumpe und Erdwärmenutzung über Erdsonden, die dazu gehörenden Planungsleistungen, die Dokumentation sowie eine messtechnische Validierung. Voraussetzung für die Förderung sind Maßnahmen zur Reduzierung der Heiz- und Kühllast. Zu diesen Maßnahmen gehören Dämmarbeiten an nichttechnischem Ausbau, Sanierung und Austausch von Fenstern und Türen, Einbau von Wärmeschutzverglasung und Sonnenschutzeinrichtungen, der Einbau einer kontrollierten Lüftung für Teile der Büroräume. Bei diesen Maßnahmen wird weit über das nach Energieeinsparverordnung geforderte Maß hinausgegangen, um Ressourcen zu schonen und durch eingesparten Energieverbrauch langfristig auch Kosten zu sparen.

Das vorliegende Projekt setzt die Ergebnisse der Studie also konsequent um. Die ökologisch und wirtschaftlich sinnvolle Lösung soll realisiert und im Nachgang analysiert werden. Die bisher separat und dezentral angeordnete Wärmeversorgung soll geordnet, zusammengefasst und mit der neu aufzubauenden Kälteversorgung für das Museum sinnhaft zusammengeführt werden. Dies erfolgt in Form einer Verbundlösung für alle Gebäude und einer Verbundlösung für Wärme- und Kälteerzeugung mittels Gasabsorptionswärmepumpe und Erdwärmenutzung über Erdsonden. Weiterhin sollen die als wirtschaftlich und sinnvoll ermittelten Maßnahmen zur Reduzierung des Wärmeverbrauchs und des Kühlbedarfs durchgeführt werden. Zu diesen Maßnahmen gehören Dämmarbeiten an nichttechnischem Ausbau, Sanierung und Austausch von Fenstern und Türen, Einbau von Wärmeschutzverglasung und Sonnenschutzeinrichtungen, der Einbau einer kontrollierten

Umsetzung eines modellhaften, integrierten Energieversorgungskonzeptes für einen großen Gebäudekomplex – Abschlussbericht

Lüftung für Teile der Büroräume. Bei diesen Maßnahmen wird weit über das nach Energieeinsparverordnung geforderte Maß hinausgegangen, um Ressourcen zu schonen und durch eingesparte Energie langfristig auch Kosten zu sparen.

4. Realisierung

4.1 Bauliche Maßnahmen

4.1.1 Dämmmaßnahmen für einen energiesparenden Wärmeschutz

Dom: Wegen der gerade erst erfolgten Sanierung des Doms in Osnabrück sowie aus Gründen des Denkmalschutzes waren Maßnahmen im Dom nicht möglich.

Diözesanmuseum und -verwaltung: Im Rahmen der Studie wurde ein Katalog an Maßnahmen zur Reduzierung des Energieverbrauchs für die Beheizung und Kühlung der Gebäude zusammengestellt. Es wurde entschieden, auch Maßnahmen zu realisieren, die weder zur Erfüllung der EnEV-Vorgaben noch aus bauphysikalischer Notwendigkeit heraus erforderlich waren.

Die Maßnahmen sind in einer Liste zusammengefasst, die im Anhang beigelegt ist. Diese Liste enthält auch Maßnahmen der technischen Ausrüstung. Diese sind jedoch ebenso im Rahmen der Sanierung umgesetzt worden. Bei den Maßnahmen handelt es in erster Linie um Dämmmaßnahmen an außenliegenden Bauteilen in allen Gebäudeteilen. Dabei wurde auf Aspekte des Denkmalschutzes sowie bauphysikalische Besonderheiten der historischen Bausubstanz Rücksicht genommen.

Hier eine Übersicht der Maßnahmen:

Seelsorgeamt / Kopfbau:

- 1 Schrägdachdämmung Dachgeschoss
- 2 Deckendämmung Dachgeschoss (Fußboden Dachraum)
- 3 Verbesserung Fenster Dachgeschoss (reflektierendes Isolierglas).
- 5 Innerer Sonnenschutz Dachräume, wo kein äußerer möglich
- 6 Lüftung Dachgeschoss mit WRG
- 7 Dämmung Abseitenwände Obergeschoss
- 8 Verbesserung Fenster Erdgeschoss
- 8 Verbesserung Fenster Obergeschoss
- 9 Bodendämmung nicht unterkellertes Bereich
- 11 Dämmung Kellerfußboden genutzter Bereich
- 12 Perimeterdämmung Fundamente außen nicht unterkellertes Bereich

14 Lüftung Druckerei Keller zur freien Kühlung

Museum

- 1 Kastenfenster hinter bestehende Bleiverglasung
- 2 Zwischenraum- Sonnenschutz
- 3 Innenwanddämmung
- 7 Dachbodendämmung Technikbereich

Die Maßnahmen 4, 10, 13 und 15 in Seelsorgeamt und Kopfbau sowie 4-6 im Museum wurden aus technischen Gründen bzw. auf Grund der sehr unzureichenden Wirtschaftlichkeit nicht umgesetzt. Eine Tabelle mit den Maßnahmen und der Ermittlung von Flächen, Kosten, Einsparungen und Wirtschaftlichkeit ist im Anhang beigelegt. Weiterhin sind im Anhang Skizzen zur Lage der Dämmmaßnahmen beigelegt.

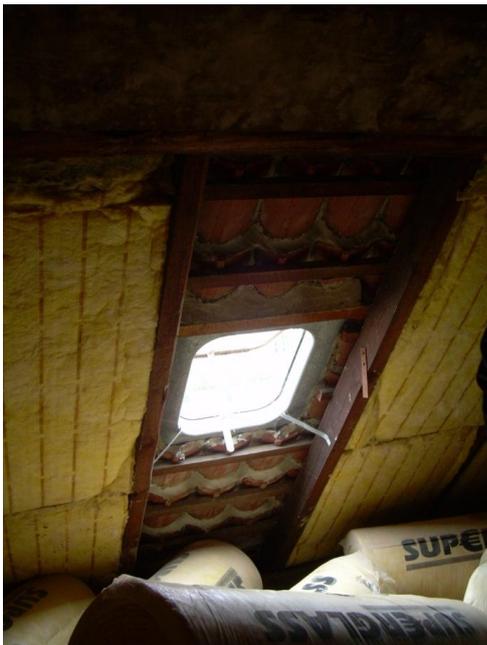


Bild 3: Schrägdachdämmung Kopfbau



Bild 4: Fenster Glasaustausch Seelsorgeamt

Umsetzung eines modellhaften, integrierten Energieversorgungskonzeptes für einen großen Gebäudekomplex – Abschlussbericht



Bild 5: Dachfußbodendämmung Seelsorgeamt



Bild 6: Schrägdachdämmung Kopfbau



Bild 7: Austausch Fenster Dach Kopfbau



Bild 8: Dämmung Abseitenwände



Bild 9: Fenster Glasaustausch Kopfbau



Bild 10: Fenster Glasaustausch Seelsorgeamt



Bild 11: Dachfußbodendämmung Seelsorgeamt



Bild 12: Museum Innendämmung Außenwände

4.2 Entwicklung des Konzeptes zur Wärme- und Kälteversorgung

Als Ergebnis der Studie wurde ein Konzept zur Wärme- und Kälteversorgung weiterverfolgt, das aus folgenden Hauptkomponenten besteht bzw. auf folgenden Grundlagen aufgebaut war:

- Beheizung der Liegenschaft bestehend aus den Gebäuden Seelsorgeamt, Museum, Chorsaal und Dom
- Kühlung für die Bereiche Lüftung Forum, Klimatisierung Museum und Lüftung Chorsaal
- 5 Wärmepumpen zur Bereitstellung von 100 % Kälteleistung sowie ca. 40 % der benötigten Wärmeleistung
- 10 Erdsonden je 100 m Länge für den Wärmeentzug aus dem Erdreich im Winter und der Rückkühlung aus der Kälteerzeugung im Sommer
- Spitzenlastkessel zur Deckung der restlichen Wärmeleistung im Winter
- Pufferspeicher für die Aufnahme der Fühler für die Regelung, ausgebildet als hydraulische Weiche

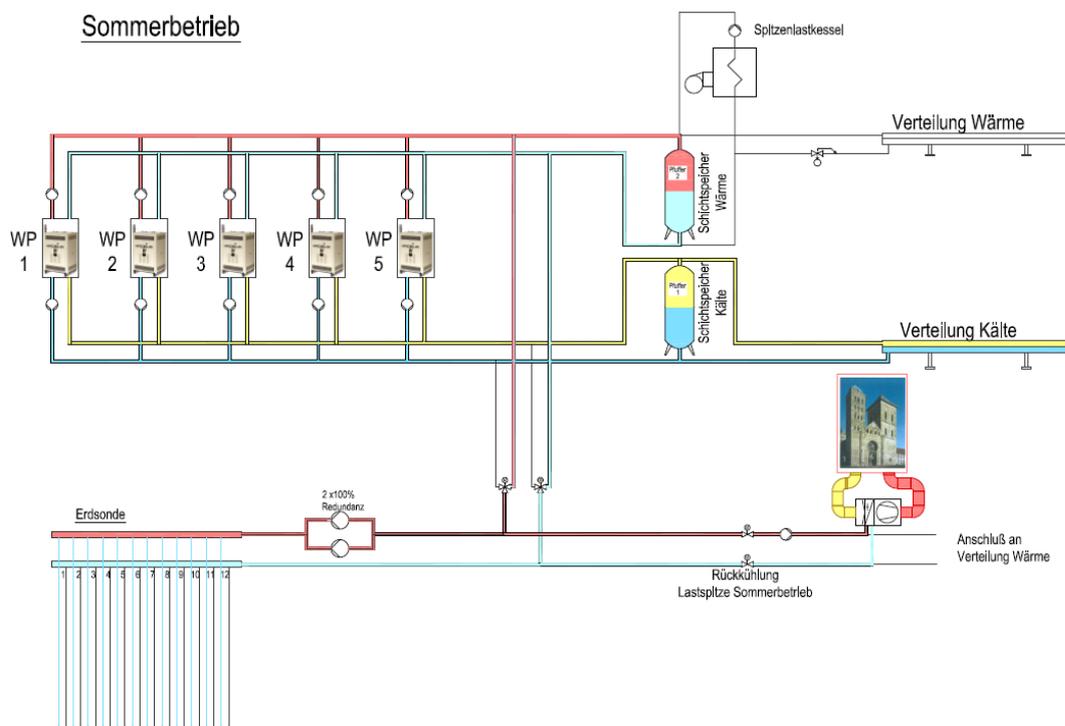


Bild 14: Schema Konzeptstudie

Im weiteren Verlauf der Planung wurde der zu versorgende Bereich um die Gebäude Medienhaus Altbau, Medienhaus Neubau und Organistenhaus erweitert. Die Gebäude wurden jeweils dezentral mit einer separaten Gasheizung betrieben. Die Wärmeerzeugung war alt und sollte kurz- oder mittelfristig erneuert werden. So lag es nahe, die Gebäude, die in geringer Entfernung zur Energiezentrale des Domforum angeordnet sind, mit zu versorgen. Die Gesamtwärmeleistung wurde erhöht, indem der Spitzenkessel vergrößert wurde. Auf die Kälteversorgung hatte die Erweiterung keinen Einfluss.

Im Zuge der Realisierung traten dann weitere Unwägbarkeiten auf, die dazu veranlassten, das Konzept weiter zu modifizieren. Zunächst stellten sich Schwierigkeiten bei den Bohrarbeiten für die Erdsonden ein. Bei etwa 50 m Tiefe wurde ein derart zerklüftetes Gestein vorgefunden, dass aufgrund abfließenden Bohrwassers ein Weiterbohren nicht möglich war. Es wurde daraufhin festgelegt, die Gesamtsondenlänge auf 20 Sonden je 50 m statt 10 Sonden je 100 m zu verteilen.

Mit der ersten fertigen Bohrung wurde wie geplant ein so genannter „Thermal Response-Test“ mit einer anschließenden Simulation (Earth-Energie-Design) durchgeführt, um die thermische Leistungsfähigkeit des Untergrunds zu untersuchen und zu untersuchen, ob sich die in der Planung angenommenen Daten des Untergrundes in der Realität wiederfinden würden. Das Ergebnis des Tests bestätigte die Tauglichkeit des Untergrunds für die Erdwärmenutzung, so dass das Konzept weiterverfolgt wurde.

Als weitere Hürde in der Realisierung stellte sich der Ausbau der bestehenden Technikzentrale zur Aufnahme der Energieversorgung heraus. Aufgrund der Enge im Innenhof und der Nähe zum neu errichteten Chorsaalgebäude sowie aufgrund zusätzlicher Brandschutzbekleidungen konnte der Raum nicht in der bisher angenommenen Größe hergestellt werden. Das Konzept musste daraufhin angepasst werden. Die Anzahl der Wärmepumpen musste von fünf auf drei reduziert werden. Die Wärmeleistung wurde daraufhin mit 105 kW für die Wärmepumpe und 400 kW für den Spitzenkessel festgelegt, die Kälteleistung musste nicht verändert werden, die maximale Wärmeentzugsleistung aus dem Erdreich reduzierte sich dadurch jedoch auf 45 kW. Insgesamt führte die Enge in der Technikzentrale dazu, dass die hydraulischen Anbindungen der verschiedenen Komponenten nicht optimal erfolgen konnten und die Einbausituation für Fühler, Regler und Wärmezähler ebenfalls nicht optimal erfolgen konnte. Dies konnte im Zuge des Monitoring nach Fertigstellung der Anlage beobachtet werden.

Umsetzung eines modellhaften, integrierten Energieversorgungskonzeptes für einen großen Gebäudekomplex – Abschlussbericht

Somit weicht das realisierte Konzept von der Ausgangssituation in Teilen ab und besteht nun aus folgenden Hauptkomponenten bzw. ist auf folgender Grundlage aufgebaut:

- Beheizung der Liegenschaft bestehend aus den Gebäuden Seelsorgeamt, Museum, Chorsaal, Dom, Organistenhaus sowie Medienhaus neu und alt
- Kühlung für die Bereiche Lüftung Forum, Klimatisierung Museum und Lüftung Chorsaal
- Drei Wärmepumpen zur Bereitstellung von 100 % Kälteleistung sowie ca. 20 % der benötigten Wärmeleistung
- 20 Erdsonden je 50 m Länge für den Wärmeentzug aus dem Erdreich im Winter und der Rückkühlung aus der Kälteerzeugung im Sommer
- Spitzenlastkessel zur Deckung der restlichen Wärmeleistung im Winter
- Pufferspeicher für die Aufnahme der Fühler für die Regelung, ausgebildet als hydraulische Weiche

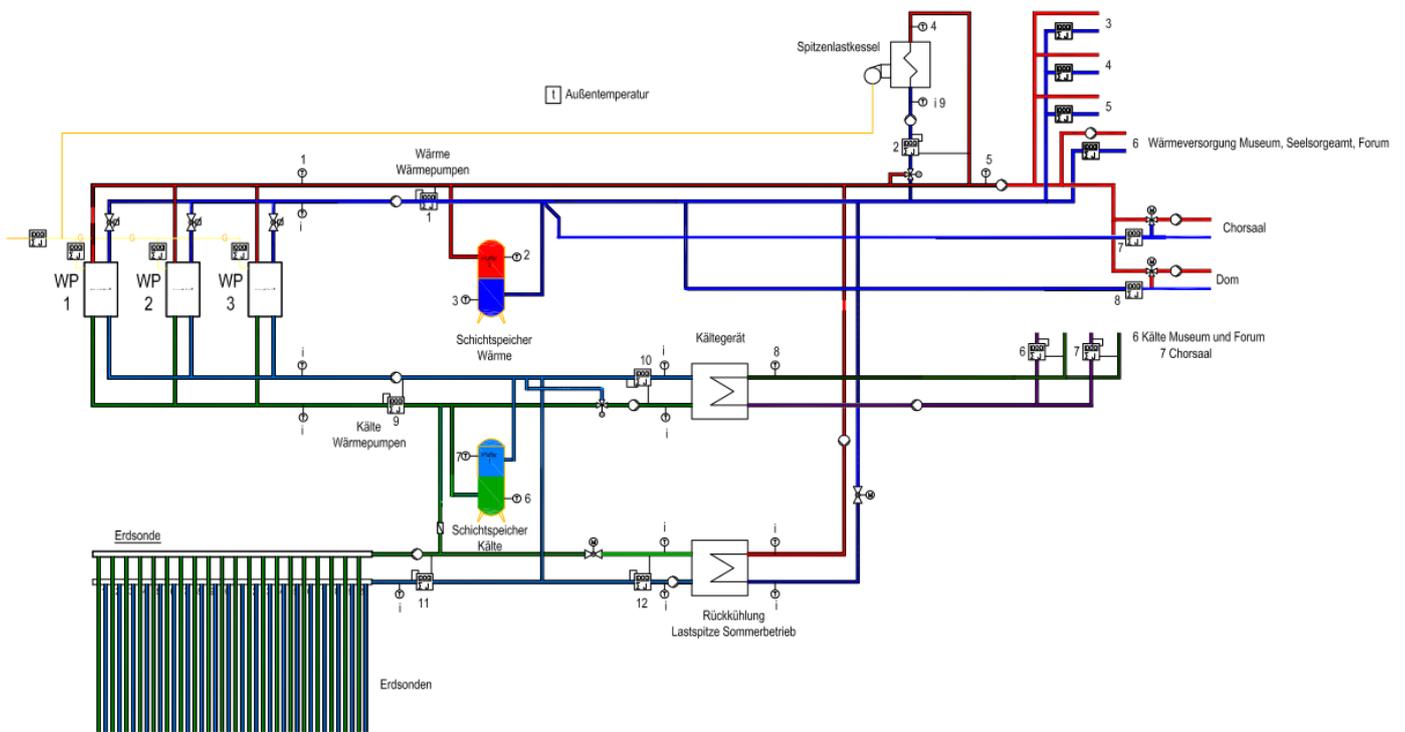


Bild 15: Schema Realisierung

5. Monitoring

5.1 Vorgehensweise

Zur Erfassung von Temperaturen, Gas- und Wassermassen sowie Energieflüssen sind Zähleinrichtungen installiert, die in regelmäßigen Abständen ausgelesen und analysiert werden. Die Messeinrichtungen und die wichtigsten hydraulischen Komponenten sind in dem untenstehenden Schema dargestellt.

Die Auswertung wurde im Auftrag des Bistums von der pbr Planungsbüro Rohling AG durchgeführt. Für die Beobachtung der Daten wurde eine Datenleitung zwischen dem zentralen Leitrechner des Bistums und der pbr AG hergestellt. So war es möglich, jederzeit die Betriebszustände einzusehen und auszuwerten.

Beispiele für die Analyse eines Betriebszustandes der Wärmepumpen:

Anlagenschema mit Ist- Werten

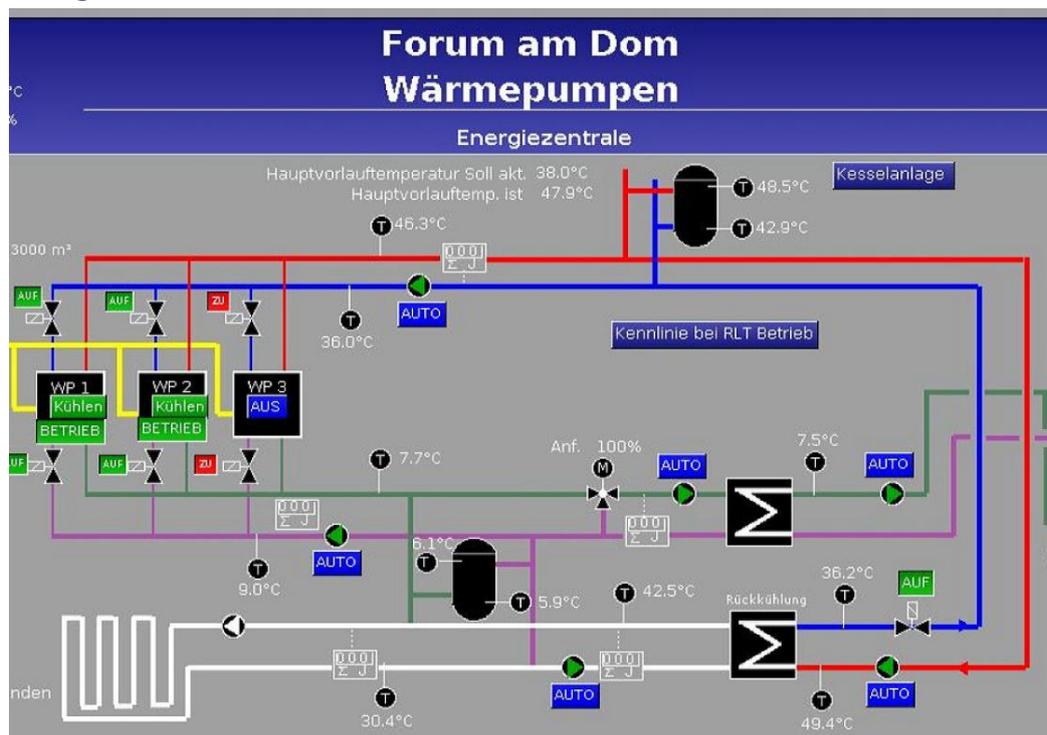


Bild 16: Anlagenschema

Analyse:

- 2 Wärmepumpen in Betrieb
- Warme Seite in Ordnung
- Rückkühlbetrieb in Ordnung
- Temperatur Austritt kalte Seite unplausibel (zu hoch)
- Vorlauftemperatur Kaltwasser sekundär zu hoch

Erkenntnis:

- Temperaturwert kalte Seite Austritt falsch (überprüfen)
- Dritte Wärmepumpe müsste in Betrieb gehen zur Erhöhung der Kälteleistung (Regelung überprüfen)

Die über die Leittechnik ausgelesenen Daten wurden mehrfach mit den Daten vor Ort abgeglichen. Es zeigte sich eine ausreichende Übertragungsgenauigkeit. Weitere Anlagenbilder wurden in gleicher Weise analysiert.

Diagramm Energiefluss Wärmepumpen

Die Energiemengen wurden erfasst und grafisch aufbereitet.

Beispiel Betrieb Wärmepumpe:

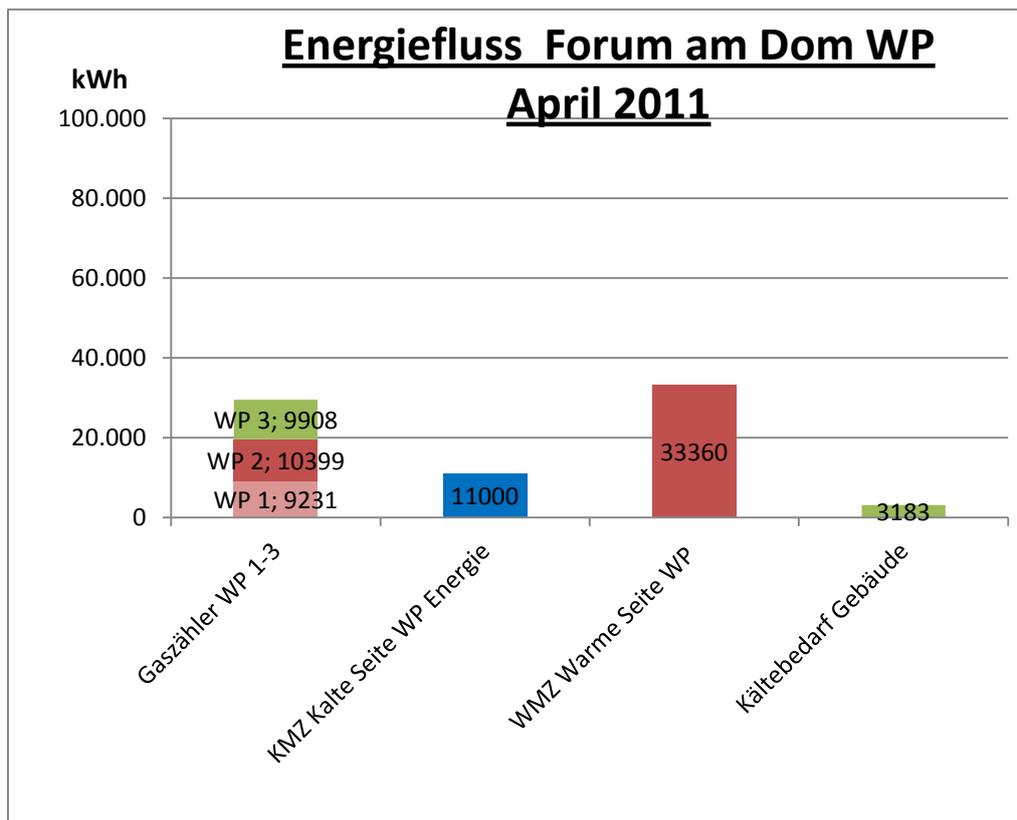


Bild 17: Energieflussdiagramm

Dargestellt ist links der Gasverbrauch der einzelnen Wärmepumpen über den Messzyklus, in der Mitte die Energiemengen, die über die Wasseranschlüsse transportiert wurden sowie rechts die Energiemenge, die als Kälte dem Gebäude zugeführt wurde bzw. als Wärme aus dem Gebäude abgeführt wurde.

Die Wärmepumpe hat Gas in Wärme umgesetzt, über den Prozess der Kälteerzeugung dem System „kalte Seite“ so Wärme entzogen und die Summe der Wärmeenergie aus dem Verbrennungsprozess und der Kühlung als Nutzwärme auf der warmen Seite der Wärmepumpe bereitgestellt. Die bereitgestellte Wärmeenergie ist somit größer als die Energie aus dem Gasverbrauch. Die Wärmeenergie aus dem Kühlprozess stammt zum einen aus dem Kühlbedarf im Gebäude und zum anderen von dem Wärmeentzug aus dem Erdreich.

Die Wärmebereitstellung (33.360 kWh) liegt in diesem Fall ca. 13 % über dem Gaseinsatz (29.538 kWh). Dies liegt allerdings unter den Nennbedingungen nach Herstellerangaben (ca. 30 %). Ursache hierfür sind technische Mängel im Kälteprozess der Wärmepumpe, teilweise häufiges Takten der einzelnen Wärmepumpen sowie hydraulische Unzulänglichkeiten in der Verbindung der warmen und kalten Seite des Systems. Die Ansammlung von Ursachen für die zunächst nicht optimalen Ergebnisse des Systems erschwerte die Identifizierung der Einzelursachen und damit auch den Prozess der Optimierung. Als Empfehlung ist hier anzumerken, dass frühzeitig intensiv über die Anzahl und Anordnung von Instrumenten zur Erfassung von Temperaturen und Wärmemengen nachgedacht werden muss, so dass eine einfache Analyse möglich wird.

Diagramm Energiefluss Anlage

Übersichtsdiagramme zum Energiefluss:

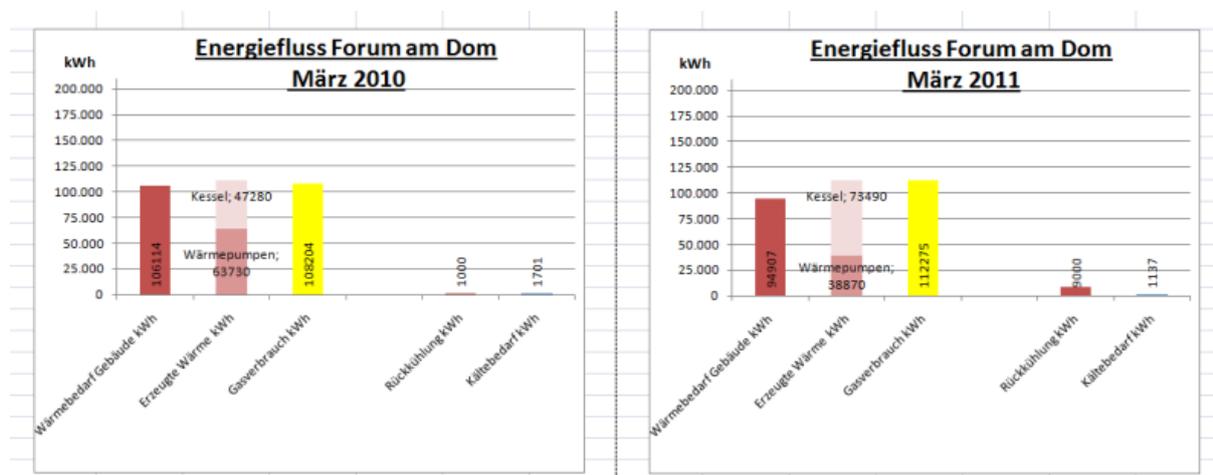


Bild 18: Energieflussdiagramm Vergleich

Umsetzung eines modellhaften, integrierten Energieversorgungskonzeptes für einen großen Gebäudekomplex – Abschlussbericht

Dargestellt sind die einzelnen Energiearten des Prozesses. Links der Bedarf an Nutzenergie, dann die erzeugte Nutzwärme bzw. hierin enthalten auch die Wärme bzw. Abwärme, die aus der Kälteerzeugung resultiert. In der Mitte der Gasverbrauch für die Wärme- und Kälteerzeugung. Rechts zunächst die Wärmeenergie, die aus der Kälteerzeugung resultiert und nicht als Wärme genutzt werden kann und abschließend rechts die Kältenutzenergie.

Das Rückkühlaukommen war zu dem Zeitpunkt nicht plausibel, da die Energie ggf. als Wärmeenergie für das Gebäude genutzt werden könnte. Der Gasverbrauch im Verhältnis zum Wärme- und Kälteaufkommen war verhältnismäßig hoch. Die Regelung wurde daraufhin überprüft und angepasst.

Trendkurve Temperaturen

Eine weitere Variante war die Analyse von Trendkurven:

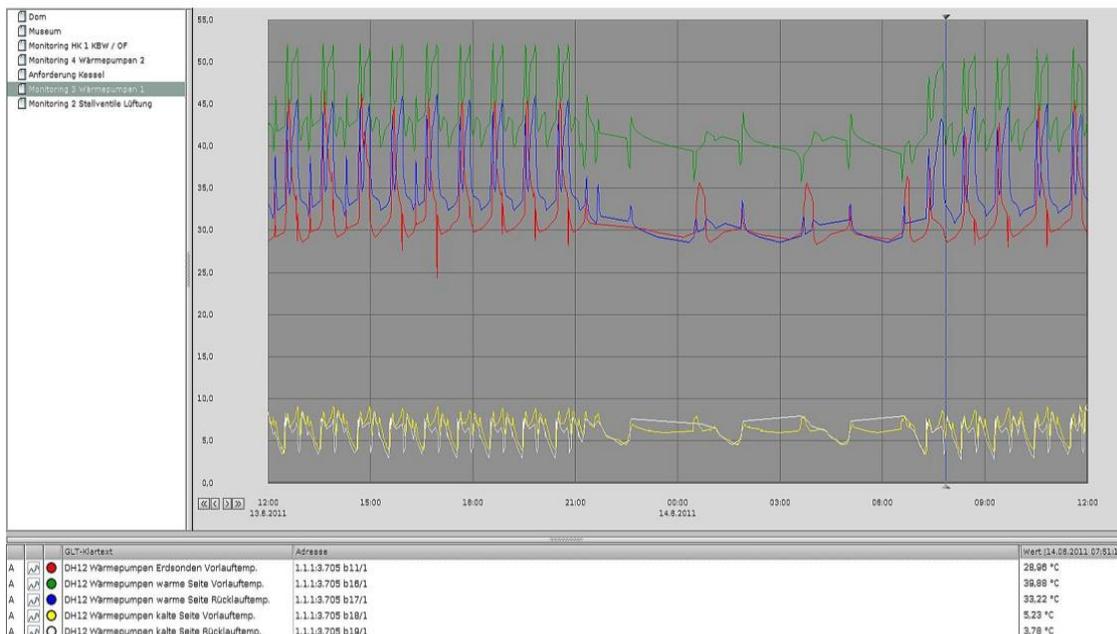


Bild 19: Trendkurve

Die Darstellung zeigt Temperatur- und Betriebsverläufe der Ablage über einen Zeitzyklus, in diesem Fall 13. - 14.06.2011 von 12:00 – 12:00 Uhr. Es liegt ein instationärer Temperatur- und Betriebsverlauf vor, die Temperaturen schwanken ungewöhnlich stark. Unterschiede im Tag- und Nachtbetrieb sind ablesbar. Hier sind die Grenzpunkte der Regelung zu überprüfen und anzupassen, insbesondere für den Rückkühlbetrieb sind Grenzwerte einzurichten.

Über diese Varianten der Analyse wurde die Anlage über einen Zeitraum von etwa zwei einhalb Jahren (06/2009 – 12/2011) optimiert. Die Erkenntnisse wurden in der Regel zwischen den Beteiligten (Bischöfliches Generalvikariat, Herr Hawighorst (Betreiber); Fa. Kieback & Peter, Herr Sieweke (Regelung), Fa. Ahlers, Herr Miehlke (Errichter) und pbr Planungsbüro Rohling AG, Herr Steinkamp (Planer)) diskutiert und abgestimmt bis hin zu einer Handlungsanweisung zur Optimierung des Betriebs.

5.2 Anlagenkomponenten und Erkenntnisse aus der Betriebsanalyse

Im Folgenden werden Ergebnisse der Betriebsanalyse beschrieben. Aus der Beobachtung der Anlage ergaben sich Ungereimtheiten und suboptimale Betriebszustände, die hier näher erläutert werden. Die Konsequenz bzw. die Handlungsanweisung zur Optimierung wird erläutert.

Wärmepumpe:

Die Wärmepumpen sind autark geregelt, die Kaskadenregelung des Wärmepumpenherstellers erhält lediglich von der Gebäudeautomation der Liegenschaft den Ein- oder Ausschaltbefehl. Diese Konstellation hat sich bewährt.

Nachteil der Gas-Absorptionswärmepumpe ist der An- und Abfahrbetrieb. Aus Sicherheitsgründen muss eine Wärmepumpe bei der Einschaltung zunächst eine definierte Zeit hydraulisch in das Netz eingebunden werden, bevor eine Wärmezufuhr durch den Brenner erfolgt. Ebenso muss die Wärmepumpe nach Abschaltung des Brenners noch eine definierte Zeit am Netz bleiben und durchspült werden, um die Restwärme aus der Wärmepumpe abzutransportieren. Der Nachteil bei der Durchspülung der Wärmepumpe ohne thermische Behandlung ist der Eintritt des kalten Rücklaufwassers in den Vorlauf auf der warmen Seite bzw. der Eintritt des warmen Rücklaufs in den Vorlauf auf der kalten Seite. Zunächst wurde diese Nachspülzeit auf das Minimum von 7 Minuten reduziert. Im weiteren Verlauf des Monitorings wurde über die Anpassung der Regelparameter die Ein- und Ausschaltfrequenz erheblich reduziert.

Ein Defekt an einer von drei Wärmepumpen hat den Betrieb über die Zeit von Juli 2010 bis April 2011 beeinträchtigt. Die Ursache war zunächst nicht zu finden, da der Hersteller nicht in der Lage war, vor Ort eine umfangreiche Diagnose durchzuführen. Schließlich konnte im Februar 2011 nach mehreren Untersuchungen und vielfältigen Mutmaßungen

über die Ursache ein Defekt im Ammoniakkreislauf festgestellt werden. Die Wärmepumpe konnte dann repariert werden.

Weiterhin musste festgestellt werden, dass ein verhältnismäßig hoher Verschleiß an den Keilriemen der Kältemittelpumpen vorliegt. Die Ursache ist zum Teil konstruktiv bedingt. Eine hohe Wärmeabstrahlung innerhalb der Pumpe wirkt sich negativ auf die Haltbarkeit aus. Inzwischen hat der Hersteller hier Veränderungen vorgenommen, eine Nachrüstung an den hier installierten Maschinen ist jedoch nicht möglich. Weiterhin stellt sich in der sehr kleinen Technikzentrale eine sehr hohe Raumtemperatur ein, so dass der Wärmeabtransport von der Maschine nur eingeschränkt erfolgt. Dieser Umstand wird im Sommer durch temporäre zusätzliche Raumlüftung zum Teil entschärft. Schließlich weisen die Maschinen durch den Parallelbetrieb von Wärme- und Kälteerzeugung und entsprechender Nutzung im Sommer (Kälte) wie im Winter (Wärme) eine verhältnismäßig hohe Laufzeit auf. Diese beträgt im Mittel im Jahr bisher über 6.000 Stunden. Inzwischen hat der Hersteller der Wärmepumpen die Geräte weiterentwickelt und einen Abgaswärmetauscher integriert. Dieser verbessert den Wirkungsgrad und verhindert eine hohe Wärmeabstrahlung. Aber auch diese Optimierung lässt sich bei den hier installierten Geräten nicht nachrüsten. Zusammengefasst kann für die Wärmepumpen festgestellt werden, dass die gleichzeitige Wärme- und Kälteversorgung für diesen Einsatzfall mit Überhang auf der Wärmenutzungsseite optimal angeordnet ist und nach umfangreichen Anpassungen der Regelparameter gut funktioniert.

Anlagenhydraulik:

Aufgrund der beengten Platzverhältnisse in der Technikzentrale musste die komplizierte hydraulische Anordnung auf engstem Raum installiert werden. Das führte zunächst dazu, dass die Einbindung des Kaltwasser-Pufferspeichers nicht im richtigen hydraulischen Zusammenhang eingebunden war. Dies konnte im Betrieb schnell festgestellt werden und war entsprechend zu korrigieren. Weiterhin gibt es nur wenige gerade Strecken für die optimale Anordnung von Fühlern und Zählern. Dies führte zu teilweise ungenauen Messwerten.

Eine Übersicht bei der komplizierten Rohrführung auf engstem Raum ist nur sehr schwer zu bekommen, Fehler in der Hydraulik sind nur schwer nachzuvollziehen und Unzulänglichkeiten bei den Betriebsverhältnissen lassen sich vor Ort nur schwer nachvollziehen. Diese Aspekte erschweren die Schlussfolgerung auf Ursachen für nicht optimale Betriebsverhältnisse. Aus diesem Grund hat die Optimierung der Anlage mehr Zeit in An-

spruch genommen als ursprünglich geplant. Hinzu kommt, dass bestimmte Betriebsverhältnisse immer nur vorübergehend auftreten (Kühlbetrieb im Sommer, Heizbetrieb im Winter, Übergangsbetrieb im Wechsel mit Wärme- oder Kältevorrang in den Übergangszeiten).

Zur Eindeutigkeit der Medienflüsse hat sich herausgestellt, dass Fließrichtung und Massenströme nicht immer den theoretischen Vorgaben entsprechen. Die Wege der Medien sind aufgrund der komplizierten Verknüpfung der Versorger und der Verbrauchskreise nicht immer nachvollziehbar bzw. mit den zur Verfügung stehenden Messelementen prüfbar. Es ist daher als Erkenntnis für zukünftige Planungen wichtig, durch geeignete Anordnung von motorischen Absperreinrichtungen oder Dreiwegeventilen die Strömungsrichtung im Netz eindeutig regulieren zu können. Weiterhin ist bei Fühlern und Zählern auf ordnungsgemäße Montage und eine ausreichende Einlaufstrecke zu achten. Es hat sich auch herausgestellt, dass der Umfang der Messeinrichtungen, insbesondere Temperaturfühler, noch höher sein sollte, um einen noch besseren Überblick über die Betriebszustände zu bekommen.

Heizkurven:

Folgende Heizkurven sind eingerichtet:

- Heizkreis Kopfbau West (Ermittlung aus Anpassung im Betrieb)
- Heizkreis Westflügel OG (Ermittlung aus Anpassung im Betrieb)
- Heizkreis Westflügel UG/EG (Ermittlung aus Anpassung im Betrieb)
- Heizkreis Wandheizung Südflügel (Ermittlung aus Anpassung im Betrieb)
- Heizkreis Wandheizung Kopfbau Ost (Ermittlung aus Anpassung im Betrieb)
- Heizkreis Fußbodenheizung Chorsaal (Ermittlung aus Anpassung im Betrieb)
- Heizkreis zentraler Vorlauf Wärmeversorgung (Ungünstigster Heizkreis + 5K, ggf. Korrektur durch Betrieb Medien- und Organistenhaus)

Die Heizkurven wurden im Betrieb permanent angepasst. Der obere Punkt der Heizkurve wurde soweit möglich nach unten verlagert. Dadurch wurden die Medientemperaturen insgesamt nach unten reduziert und die Effizienz der Wärmepumpen und der Brennwerttechnik erhöht.

Heizkesselanlauf im Sommer:

Bei besonderen Witterungsbedingungen im Sommer wurde festgestellt, dass der Kessel zur Wärmelieferung angefordert wurde, obwohl für die Raumheizung offensichtlich kein

Bedarf vorliegen konnte. Ursache war die Notwendigkeit, die zuvor durch Kühlung entfeuchtete Zuluft für das Museum wieder nachzuheizen und auf die gewünschte Zulufttemperatur zu bringen. Für diesen Nachheizprozess ist die erforderliche Vorlauftemperatur in der Regeltechnik auf mindestens 40 °C eingestellt. Bei feuchten, mittelwarmen Außenbedingungen ereignete sich dieser Fall. Da das gesamte Wärmenetz auf Raumtemperatur abgekühlt war, konnten die Wärmepumpen die geforderte Vorlauftemperatur nicht schnell genug bereitstellen und der Kessel wurde angefordert.

Maßnahme zur Optimierung: Über die Regelung wird jetzt sichergestellt, dass der Kessel bei einer Außentemperatur von 15 °C oder mehr nicht mehr in Betrieb gehen kann. Ggf. führt dies in besonderen Fällen zu einer verzögerten Nachheizung, was jedoch nach derzeitigen Erkenntnissen akzeptiert werden kann und zu keiner Beeinträchtigung der Lüftung des Museums führt.

Dreiwegeventil im Zulauf Heizkessel:

Bei Schwach- und Mittellast wird das Rücklaufwasser der Anlage zum Rücklauf Kessel geführt, dadurch wird eine tiefe Rücklauftemperatur Kessel und eine gute Brennwertnutzung erreicht.

Bei Spitzenlast wird das Dreiwegeventil umgeschaltet. Der Vorlauf Wärmepumpe (max. 50°C) wird zum Rücklauf Kessel geleitet, es erfolgt eine Anhebung der Vorlauftemperatur durch den Kessel auf die notwendige Temperatur. Als Problem bei der Dreiwegeventilstellung Schwach/Mittellast wurde festgestellt: Wenn die Kesselpumpe in Betrieb geht, wird das Wasser aufgrund der hohen Pumpenleistung aus dem Kesselvorlauf nicht komplett ins Verbrauchernetz sondern zum Teil über den Speicher gedrückt. Der Speicher wird aufgeheizt und es erfolgt die Abschaltung der Wärmepumpen gemäß Regelparameter. Die Pumpe wurde schließlich umgebaut. Die vorhandene Kesselpumpe mit integrierter Konstantdruckregelung wurde gegen eine Standardpumpe ausgewechselt, die durch eine Pulsweitenmodulation angesteuert wird und so eine Wassermenge im Bereich zwischen 10 und 100 % der Nennwassermenge fördern kann.

Zur Information: Kesselleistung ca. 400 kW, Wärmepumpenleistung ca. 100 kW, Kesselpumpe: Nennvolumen 9 m³/h, eingestellt auf kleinste Stufe, kleinste Kesselleistung ca. 130 kW, Modulation Kesselleistung nach Temperatur Verbrauchervorlauf.

Kesselgröße:

Im Zuge der Erstellung der Studie zur Energieversorgung wurde die Kesselleistung in Abstimmung mit dem Auftraggeber unter Berücksichtigung von Gleichzeitigkeiten sehr niedrig ausgelegt. Als Puffer für Spitzenzeiten wurde die Reduzierung der Wärmeversorgung für den Dom in Erwägung gezogen. Im Betrieb stellte sich jedoch heraus, dass die gewählte Leistung noch erheblich zu hoch war. Weiterhin stellt sich die Abstufung der Wärmeleistung im Betrieb als problematisch dar. Die Wärmepumpen mit einer Leistung von 3 x 35 kW entsprechen ca. 20 % der Gesamtleistung. Sobald der Kessel mit seiner geringsten möglichen Leistung anspringt, entsteht ein Leistungsüberhang, der dazu führt, dass Wärmepumpen abgeschaltet werden, was wiederum nicht erwünscht ist. Bei zukünftigen Planungen sollte daher mit einem kleinen und einem großen Zusatzkessel die Variabilität der Leistungsbereitstellung vorgesehen werden. Hier wurde schließlich die Kesselleistung durch Brenneranpassung auf 250 kW reduziert.

Magnetventil Rückkühlung:

Das Magnetventil im Rückkühlkreis stellte sich als Schwachstelle dar, da durch dieses Ventil der Kreis nicht dauerhaft vollständig und dicht verschlossen wurde. Dadurch konnte ein kleiner Teilstrom der warmen Seite der Wärmepumpe die kalte Seite bei bestimmten Betriebszuständen unerwünscht aufheizen und die Effizienz der Anlage dadurch reduzieren. Das Magnetventil wurde daraufhin durch einen motorischen Kugelhahn ersetzt.

Beheizung Dom:

Die Beheizung des Doms über eine Lüftungsanlage wurde prinzipiell nicht verändert. Angepasst wurde jedoch die Luftmenge. Aufgrund des Platzmangels in der Technikzentrale, in der sowohl die Wärmeerzeugung der Liegenschaft wie auch die Lüftungsanlage zur Dombeheizung untergebracht sind, wurde die Luftmenge von ca. 40.000 m³/h auf 25.000 m³/h reduziert. Im Betrieb ist dies in der Regel auch unkritisch. Lediglich bei Kälteperioden mit Außentemperaturen unterhalb der Normaußentemperatur über einen längeren Zeitraum gab es Probleme, die Innentemperatur im Dom innerhalb der Vorgaben zu halten. Dies liegt nicht an der Wärmebereitstellung, sondern an der Luftmenge, die dann nicht mehr ausreicht. Die Zulufttemperatur weiter zu erhöhen führt nicht weiter, da aufgrund der ungünstigen Luftzuführung im Dom die zu warme Luft eine zu starke Thermik entwickelt und somit den Bereich der Kirchenbesucher nicht mehr erreicht. Hier ist noch über eine Optimierung nachzudenken.

Regelung:

Es ist wichtig, die Regelung in einem Regelkonzept detailliert zu beschreiben und die Zusammenhänge der Regelkomponenten eindeutig herauszuarbeiten, damit die Umsetzung durch den Regeltechniker in der Programmierung den Anforderungen entsprechend erfolgen kann. Weiterhin müssen die Betriebsverhältnisse immer wieder mit den Anforderungen im Regelkonzept abgeglichen werden. Das fortgeschriebene Regelkonzept ist als Anlage diesem Bericht beigelegt. Beispiele für Anweisungen zur Regelungsanpassung während der Monitoringphase:

- Anpassung der Kaltwassertemperatur primär: Da die Kaltwassertemperatur primär sehr niedrig eingestellt ist, kommt es kaum zur Abschaltung der Wärmepumpen. Der Sollwert Kaltwasser (Pufferspeichertemperatur unten zur Einschaltung der Wärmepumpen und Pufferspeichertemperatur oben zur Abschaltung der Wärmepumpen) ist daher anzuheben von 3°C auf 5°C.
- Änderung zuständiger Fühler Anforderung Kältevorrang: Der Temperaturfühler Ausgangsseite Wärmepumpe Kalt zeigt nach unseren Beobachtungen regelmäßig einen zu hohen Wert an. Er ist nicht optimal installiert und wird durch die Raumtemperatur beeinflusst. Die Anforderung Kälte sollte stattdessen über den unteren Kaltwasserspeichertemperaturfühler erfolgen.
- Einschaltung Rückkühlung: Die Einschaltung der Rückkühlung sollte, wie auch in der Funktionsbeschreibung angepasst, zunächst nur bei Kältevorrang möglich sein und bei einer Überschreitung der unteren Wärmepufferspeichertemperatur um 3 K aktiviert werden (Pufferspeicher geladen, Wärmeüberschuss).
- Fehler Kaltwassertemperatur: Wie in dem beiliegenden Schema ersichtlich, ist die Kaltwasservorlauftemperatur sekundär auf 2,3 °C abgesunken, obwohl der Wert auf 6°C fixiert ist. Bitte prüfen.
- Anpassung der Pufferspeichertemperatur Wärme: Der Sollwert Pufferspeicher (Pufferspeichertemperatur oben zur Einschaltung der Wärmepumpen und Pufferspeichertemperatur unten zur Abschaltung der Wärmepumpen) ist gemäß Funktionsbeschreibung fixiert auf 48 °C, soll aber angepasst werden an die Hauptvorlauftemperatur Wärme (gleitend).

6. Wirtschaftlicher und ökologischer Vergleich

Zur Bilanzierung des Projektes sowohl in ökologischer wie in ökonomischer Hinsicht ist zunächst die Ausgangssituation mit der letztendlich umgesetzten Situation zu vergleichen. Im Verlauf der Realisierung sind Veränderungen am Konzept und an den Grundlagen der ökologischen und ökonomischen Bewertung vorgenommen worden, bzw. haben sich aufgrund äußerer Einflüsse ergeben. Diese Veränderungen sind bei der abschließenden Bilanzierung zu berücksichtigen.

6.1 Ausgangssituation

Das technische Konzept, das zu Beginn der Projektphase zu Grunde gelegt wurde, ist bereits in der Einleitung unter der Überschrift „Die Studie“ erläutert worden. Basierend auf dieser technischen Lösung wurde im Rahmen der Studie der Energieverbrauch ermittelt. Weiterhin wurden Kosten für die Erstellung der Anlage sowie Verbrauchskosten ermittelt. Auf Basis des Energieverbrauchs wurde ebenso die CO₂- Emission ermittelt.

Bei der Ermittlung der vorstehenden Daten wurde von folgendem Betriebsszenario ausgegangen: Beheizung von Dom, Chorsaal, Museum, Seelsorgeamt, Domforum sowie Kühlung von Chorsaal, Museum (Klimatisierung mit Entfeuchtung) und Domforum.

Auf die Dämmmaßnahmen wird bei der ökologischen und ökonomischen Bilanzierung nicht weiter eingegangen. Die wirtschaftliche Bewertung der Maßnahmen war bereits im Vorfeld vorgenommen worden. Der dadurch erreichte bauliche Standard ist damit Grundlage des Gesamtprozesses.

Die wesentlichen Eckdaten der Ausgangssituation aus der Studie sind wie folgt:

Jahresenergiebedarf zur Gebäudebeheizung:	1.252 MWh/a
Jahresenergiebedarf zur Kühlung Museum, Chorsaal, Forum, Druckerei:	25,5 MWh/a
Gas- Energiebedarf zur Wärmeversorgung:	960 MWh/a
Gas- Energiebedarf zur Kälteerzeugung (zusätzlich):	18 MWh/a
Investitionskosten Wärme- und Kälteerzeugung:	ca. 360.000,- €
Gaspreis incl. Mwst.:	5,15 ct/kWh
Strompreis incl. MwSt.:	15,4 ct/kWh
Leistungspauschale Gas:	1.071 €/a
Jahreskosten Gas:	51.438,- €

6.2 Veränderungen gegenüber der Ausgangssituation

Energiebedarf für Wärmeerzeugung:

Zunächst wurde der zu versorgende Bereich um die Mediengebäude sowie und das Organistenhaus erweitert. Überschlägig wurde für die Gebäude eine Heizlast von insgesamt 80 kW angesetzt. Bei einem Ansatz von 1.000 Vollbenutzungsstunden ergibt sich für die Beheizung der Gebäude eine zusätzliche Wärmemenge von ca. 80 MWh/a. Unterstellt man, dass die Hälfte der Wärmeenergie mittels Wärmepumpen und die andere Hälfte mittels Spitzenkessel erzeugt wird, ergibt sich ein zusätzlicher Gasbedarf von $40 + 30 = 70$ MWh/a.

Energiebedarf durch Konzeptänderung:

Durch die Reduzierung der Anzahl der Wärmepumpen von ursprünglich fünf auf drei Wärmepumpen reduziert sich der Anteil der Wärmeenergie, der aus der Umwelt entzogen werden kann. Diese Reduzierung wird zum Teil wieder kompensiert durch die etwas höhere Effizienz der Wärmepumpen bei der etwas geringeren Durchströmung. Es wird angenommen, dass eine Leistungsminderung um 2×10 kW über 3.000 h/a zu berücksichtigen ist. Diese 60 MWh/a sind über die Spitzenkessel zusätzlich zu erzeugen. Somit erhöht sich die prognostizierte benötigte Gasmenge von 978 auf 1038 MWh/a. Die Veränderung des Strombedarfs wird hier nicht berücksichtigt, da sie für diese Betrachtung zu vernachlässigen ist.

Weiterhin wurde auf die Installation der Kühlung in Druckerei und Dachbodenbüro verzichtet. Dadurch reduziert sich der Jahresenergiebedarf zur Kühlung auf ca. 20 MWh/a.

Kostenentwicklung:

Durch die Veränderung der Konzeption kam es im Zuge der Realisierung zu Veränderungen bei den Herstellkosten. Die Reduzierung der Anzahl der Wärmepumpen von fünf auf drei bei Vergrößerung des Spitzenkessels brachte insgesamt eine Kostenreduzierung. Die Einbeziehung drei weiterer Gebäude in die Wärmeversorgung brachte eine Kostenerhöhung bei der Spitzenkesselanlage und den Verbindungsleitungen zwischen den Gebäuden, bei Berücksichtigung der gesparten Investitionen für die Neuanlagen der Gebäude kann jedoch eine deutliche Verringerung der Kosten verzeichnet werden. Der ungünstige

Zeitpunkt der Vergabe der Erdsonden aufgrund gefüllter Auftragsbücher potentieller Auftragnehmer führte zu erheblichen Mehrkosten bei der Sondenerstellung.

6.3 Ist- Situation

Im Vergleich zur Ausgangssituation nach den oben beschriebenen Veränderungen im Energiebedarf und in der Konzeption stellen sich die Eckdaten des Systems wie folgt dar:

	Studie	Studie nach Än- derungen	2008	2009	2010	2011
Jahresnutzenergie						
Wärme in MWh/a	1.242	1.322	¹⁾	¹⁾	905	919
Jahresnutzenergie						
Kälte in MWh/a	25,5	20	¹⁾	¹⁾	59	50
Gaspreis						
in ct/kWh	5,15	5,15	5,71	6,05	4,94	5,22
Gasverbrauch						
in MWh/a	978	1.045	781	825	947	865
Energiekosten						
Gas in €/a	50.367,-	53.817,-	44.632,-	49.932,-	46.811,-	45.186,-

¹⁾ Es ist zu berücksichtigen, dass die Anlage 2008 noch nicht ganzjährig und in voller Funktion in Betrieb war. Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass in den Jahren 2009 bis 2011 die Anlage aufgrund unterschiedlicher Ursachen nicht durchgängig planmäßig und störungsfrei funktionierte. Insbesondere der längere Ausfall einer Wärmepumpe hat die Bilanz beeinträchtigt. Auch die Regelparameter, die für die unterschiedlichen Betriebszustände nicht von Anfang an richtig eingestellt waren, haben zu einem nicht optimalen Betrieb geführt. Auch in der Folgezeit hat es insbesondere mit einer Wärmepumpe mehrfach Probleme gegeben, so dass die Betriebsbedingungen bis Anfang 2012 nicht den geplanten Bedingungen entsprochen haben, die gemäß Studie geplant waren. Dies begründet den in MWh/a angegebenen höheren Gasverbrauch gegenüber dem Bedarf an Nutzenergie im Jahr 2010. Inzwischen sind jedoch die Probleme und Störungen soweit behoben, dass die Anlage gemäß Planung arbeitet. Es ist daher zu erwarten, dass die Bilanz sich in Zukunft noch verbessern wird.

Aus der Tabelle ist ersichtlich, dass die Wärmeenergie zur Beheizung von Gebäude und Lüftung deutlich unter den Annahmen bzw. errechneten Werten der Studie liegt (905 bzw.

919 zu 1322). Auch wenn keine Bereinigung bezüglich unterschiedlicher Temperaturverläufe in den Jahren 2010 und 2011 sowie gegenüber den Wetterdaten der DIN 4710, die der Studie zu Grund lagen, durchgeführt wurde, zeigt sich hier die Wirkung der verbesserten Dämmung und der energiesparenden Beheizung des Doms mit der Innentemperaturabsenkung bei sehr niedrigen Außentemperaturen.

Auffällig ist auch der erhöhte Bedarf an Energie zur Kühlung. Hier ist anzumerken, dass der Sommer 2010 zu den Heißesten überhaupt zählt und dadurch der Bedarf besonders hoch liegt. Aber auch 2011 liegt der Bedarf deutlich über der Schätzung aus der Studie, was auf eine erhöhte Nutzung der Bereiche zurückzuführen ist. In der Tendenz führt der erhöhte Bedarf an Kühlung jedoch nicht zu einem erhöhten Gasverbrauch, was die Effizienz des Systems mit der kombinierten Wärmeerzeugung und Kältenutzung sowie die effektive Rückkühlung im Sommer über das Erdreich unterstreicht.

Unbefriedigend ist im Zeitraum des Monitorings das Verhältnis von Gasverbrauch und Nutzenergie, hier war das Ziel, verglichen zur Studie, etwa 80 % Gaseinsatz bezogen auf den Nutzenergiebedarf noch nicht erreicht. Es wird jedoch davon ausgegangen, dass nachdem über den Zeitraum des Monitorings die Schwächen des Systems ausgeräumt sind, in Zukunft eine weitere Reduzierung des Gasverbrauchs bezogen auf den Nutzenergiebedarf verzeichnet werden kann.

Eine abschließende ökonomische Bilanzierung ist bisher nicht möglich, da noch nicht genügend Daten zur Verfügung stehen.

7. Zusammenfassung

Die Dämmmaßnahmen haben zu einer erheblichen Energieeinsparung beigetragen: Die Leistung der Wärmeerzeugung ist trotz knapper Auslegung bisher nicht an ihre Grenze gekommen. Die Wärmeleistung des Heizkessels konnte sogar noch reduziert werden.

Das Monitoring hat Fehler und Schwächen der komplexen Anlage aufgezeigt: Die Vielzahl möglicher Betriebsvarianten der Anlage zur Wärme- und Kälteversorgung führte anfangs zu unerwünschten Betriebszuständen. Insbesondere im Regelprogramm war erheblicher Anpassungsbedarf bzw. eine Korrektur der Regelparameter erforderlich. Dies konnte durch das Monitoring aufgezeigt und korrigiert werden.

Das Konzept der Wärme- und Kälteversorgung ist für den Anwendungsfall angemessen: Es zeigte sich, dass in hohem Maße gleichzeitig Wärme und Kälte benötigt werden. Das Konzept der kombinierten Wärme- und Kälteversorgung ist daher für den Anwendungsfall angemessen. Die Auslegung der Komponenten zur Wärme- und Kälteerzeugung hätte noch knapper ausgeführt werden können, wobei die Teilredundanz in der Kälteerzeugung sich aufgrund der Probleme mit einer Kältemaschine als sehr nützlich erwiesen hat.

Die Auswahl eines exotischen Produktes birgt Risiken für die Betriebssicherheit: Die Absorptionskältemaschinen weisen einen hohen Verschleiß auf und der Service im Störfall am Ammoniak-Kältekreis war bisher aufgrund ungenügender Verfügbarkeit qualifizierten Servicepersonals nicht zufriedenstellend. Dadurch bedingt kam es zu längeren Ausfallzeiten der Wärmepumpen.

Wärme- / Kältekopplung birgt hohes Fehlerpotential in Hydraulik und Regelung
Die hohen Anforderungen an das kombinierte System sowie die beengten Platzverhältnisse mit den daraus resultierenden widrigen Bedingungen für den Aufbau der hydraulischen Komponenten, machen ein Monitoring zur nachträglichen und nachhaltigen Betriebsoptimierung unabdingbar.

Umsetzung eines modellhaften, integrierten Energieversorgungskonzeptes für einen großen Gebäudekomplex – Abschlussbericht

8. Anlagen

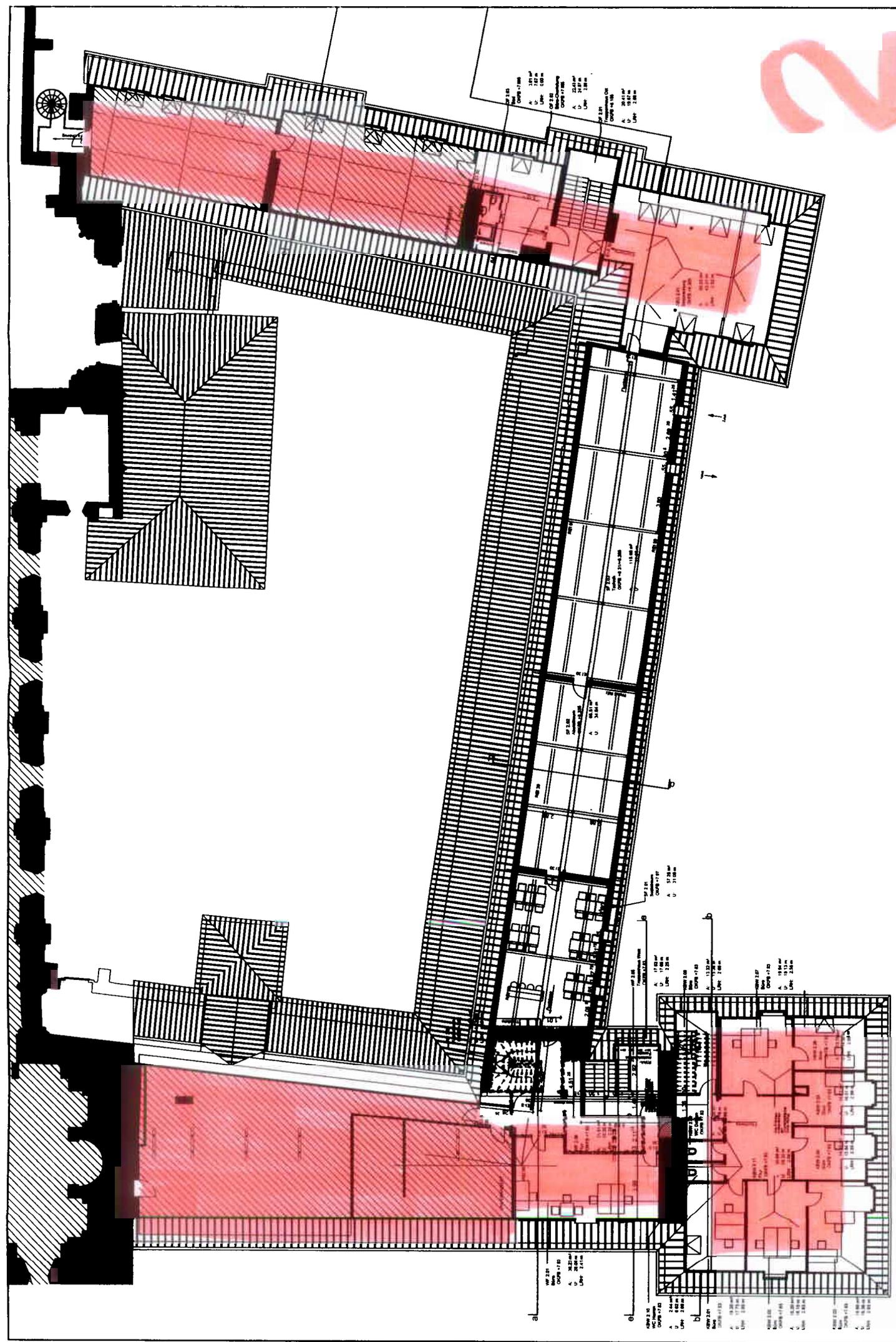
Dämmmaßnahmen: Liste mit Flächen- und Kostenermittlung

Dämmmaßnahmen: Grafische Darstellung der Einsatzbereiche

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	Nr	Beschreibung	Bereich	Gesamtfläche	Spez. Preis	Ges. Preis	Kälteenergie	Wärmeenergie	Summe Energie	Energiepreis	Einsparung pro Jahr	Kosten	Einfache Amortisation	Kosten in Baubudget enth.
2				m ²	€/m ²	€	Wh/a	Wh/a	kWh/a	€/kWh	€/a	€	a	
3	Seelsorgeamt / Kopfbau													
4	1	Schrägdachdämmung Wärmeschutz Heizung und Kühlung	Kopfbau und Dachbüro über Seelsorgeamt	112	56 €	6.272 €	1270080	3386880	4657	0,1	373	6272	8	
5	1	Schrägdachdämmung nur Wärmeschutz Heizung	Dach altes Treppenhaus Seelsorgeamt	10	56 €	560 €	113400	302400	416	0,1	33	560	17	
6	1		Besprechung KBO 201 Ostflügel	90	56 €	5.040 €		2721600	2722	0,1	218	5040	23	
7	1		Schulungsräume Ostflügel	94	56 €	5.264 €		2842560	2843	0,1	227	5264	23	
8	2	Deckendämmung Dachgeschoss Wärmeschutz Heizung und Kühlung	Kopfbau	112	28 €	3.136 €	740880	3386880	4128	0,1	330	3136	5	
9	2		Dachbüro über Seelsorgeamt	52	28 €	1.456 €	343980	1572480	1916	0,1	153	1456	5	
10	2	Dachfußbodendämmung	Seelsorgeamt	214	28 €	5.985 €		6463800	6464	0,1	517	5985	12	
11	2	Deckendämmung Dachgeschoss nur Wärmeschutz Heizung	Besprechung KBO 201	51	28 €	1.428 €		1542240	1542	0,1	123	1428	12	
12	2		Schulungsräume	72	28 €	2.016 €		2177280	2177	0,1	174	2016	12	
13	3	Austausch Fenster, reflektierend Wärmeschutz Heizung und Kühlung	Kopfbau und Dachbüro über Seelsorgeamt	9	320 €	2.880 €	37800	604800	643	0,1	51	2880	3	
14				9			1012500		1013	0,1	81			
15				9			560000	3360000	3920	0,1	314			
16	3	Verbesserung Fenster, reflektierend nur Wärmeschutz Heizung	Besprechung KBO 201 und Schulungsräume	13	320 €	4.160 €		873600	874	0,1	70	4160	14	
17				13				2800000	2800	0,1	224			
18	5	Innerer Sonnenschutz, gleichz. Blendschutz für Arbeitsplätze	Kopfbau und Dachbüro über Seelsorgeamt	8	52 €	416 €	520000		520	0,1	42	416	5	
19	6	Lüftungsanlage	Büroräume Kopfbau Dach			12.500 €	60000	5700000	5760	0,1	461	12500	14	
20	7	Dämmung Abseitenwände Wärmeschutz Heizung und Kühlung	Kopfbau und Dachbüro über Seelsorgeamt, Außenwand	62	52 €	3.245 €	347256	1587456	1935	0,1	155	3245	10	
21	7	Dämmung Abseitenwände Wärmeschutz Heizung und Kühlung	Dachbüro über Seel- sorgeamt, Wand zum Lager	13	52 €	650 €	183750	840000	1024	0,1	82	650	4	
22	7	Dämmung Abseitenwände nur Wärmeschutz Heizung	Dachbüro über Seel- sorgeamt, Wand zum Lager	10	52 €	520 €		672000	672	0,1	54	520	10	
23	7		Besprechung und Schul- ungsräume, Außenwand	53	52 €	2.772 €		1355952	1356	0,1	108	2772	26	
24	7		Obergeschoss zum Dach Kreuzgang Seelsorgeamt	38	52 €	1.976 €		2553600	2554	0,1	204	1976	10	
25	7		Obergeschoss zum Dach Kreuzgang Museum	98	52 €	5.096 €		6585600	6586	0,1	527	5096	10	
26	7		Obergeschoss zum Dach Kreuzgang Ostflügel	58	52 €	3.016 €		3897600	3898	0,1	312	3016	10	
27	8	Fenster Obergeschoss nur Wärmeschutz Heizung	Seelsorgeamt	28	411 €	11.508 €		1747200	1747	0,1	140	11508	27	
28								3640000	3640	0,1	291			
29	8		Kopfbau	33	411 €	13.358 €		2028000	2028	0,1	162	13358	32	
30								3248000	3248	0,1	260			
31	8	Fenster Erdgeschoss nur Wärmeschutz Heizung	Kopfbau	31	411 €	12.823 €		1946880	1947	0,1	156	12823	31	
32								3248000	3248	0,1	260			
33	9	Bodendämmung nicht unterkellertes Bereich	Seelsorgeamt	200	32 €	6.384 €		6703200	6703	0,1	536	6384	12	6384
34	9		Museum	246	32 €	7.872 €		8265600	8266	0,1	661	7872	12	7872
35	10	Dämmung Decke Durchgang	unter Wechselausstellung außen	29	32 €	920 €		276000	276	0,1	22	920	42	

Dämmmaßnahmen: Flächen- und Kostenermittlung

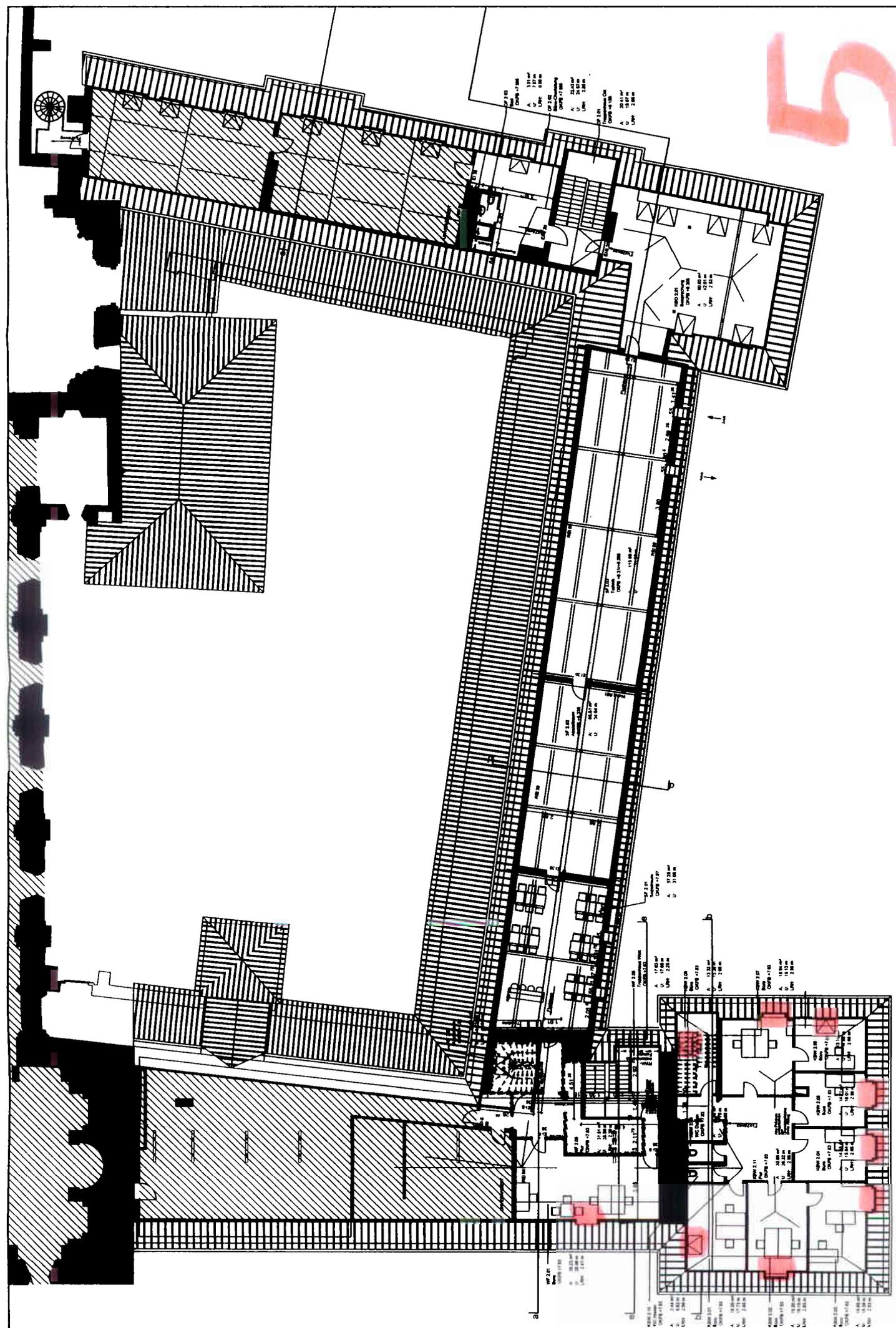
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	Nr	Beschreibung	Bereich	Gesamtfläche	Spez. Preis	Ges. Preis	Kälteenergie	Wärmeenergie	Summe Energie	Energiepreis	Einsparung pro Jahr	Kosten	Einfache Amortisation	Kosten in Baubudget enth.
2				m²	€/m²	€	Wh/a	Wh/a	kWh/a	€/kWh	€/a	€	a	
36	11	Dämmung Kellerfußboden genutzter Bereich	Kopfbau	192	32 €	6.144 €		6451200	6451	0,1	516	6144	12	6144
37	11		WC Bereich	120	32 €	3.840 €		4032000	4032	0,1	323	3840	12	3840
38	12	Perimeterdämmung nicht unterkellertes Bereich	Ostflügel Dämmfläche	85	65 €	5.525 €				0,1		5525	24	
39	12		Ostflügel Wirkfläche	344				2838000	2838	0,1	227			
40	13	Perimeterdämmung unterkellertes Bereich	Seels. / Kopfbau Westseite	28	65 €	1.820 €		622440	622	0,1	50	1820	37	
41	13		Kopfbau Südseite	17	65 €	1.105 €		377910	378	0,1	30	1105	37	
42	14	Lüftungsanlage	Druckerei Keller Kopfbau		7.700 €	7.700 €	1500000		1500	0,1	120	7700	64	7700
43	15	Innendämmung Außenwand	Seelsorgeamt	184	95 €	17.480 €		7507200	7507	0,1	601	17480	29	
44	Museum													
45	1	Kastenfenster hinter Bleiverglasung Wärmeschutz Heizung und Kühlung	Südflügel EG	39	375 €	14.580 €	338256	5412096	5750	0,1	460	14580	11	14580
46				39			2430000		2430	0,1	194			
47				39			1152000	6912000	8064	0,1	645			
48	1	Kastenfenster hinter Bleiverglasung nur Wärmeschutz Heizung	Ostflügel EG	39	375 €	14.580 €	338256	5412096	5750	0,1	460	14580	16	14580
49				39			1215000		1215	0,1	97			
50				39			270000	4320000	4590	0,1	367			
51	1	Kastenfenster hinter Bleiverglasung Wärmeschutz Heizung und Kühlung	Südflügel OG	36	375 €	13.500 €	313200	5011200	5324	0,1	426	13500	11	13500
52				36			2250000		2250	0,1	180			
53				36			1080000	6480000	7560	0,1	605			
54	1	Kastenfenster hinter Bleiverglasung nur Wärmeschutz Heizung	Ostflügel OG	19	375 €	7.200 €		2672640	2673	0,1	214	7200	12	7200
55				19				4680000	4680	0,1	374			
56	2	Zwischenraum Sonnenschutz	Südflügel EG	39	65 €	2.527 €	1944000		1944	0,1	156	2527	16	2527
57	2	Zwischenraum Sonnenschutz	Ostflügel EG	58	65 €	3.791 €	1458000		1458	0,1	117	3791	33	3791
58	2	Zwischenraum Sonnenschutz	Südflügel OG	36	65 €	2.340 €	1800000		1800	0,1	144	2340	16	2340
59	2	Zwischenraum Sonnenschutz	Ostflügel OG	19	65 €	1.248 €	480000		480	0,1	38	1248	33	1248
60	3	Innendämmung Außenwand	Museum	528	95 €	50.160 €	1346400	26254800	27601	0,1	2208	50160	23	50160
61	7	Dachdämmung Technikbereich	Museum	400	48 €	19.200 €		51840000	51840	0,1	4147	19200	5	19200
62		Summen:				272667	23104758	218369640	241474		19318	272667	631	161066
63														
64	Die grau hinterlegten Maßnahmen werden nicht realisiert, weil:			10: Die im Außenbereich Kreuzgang liegende Fläche verfügt über ein Kreuzgewölbe, das erhalten werden soll.										
65				13: Auf der Süd- und Westseite ist der Aufwand zum Aufgraben der Kelleraußenwand im öffentlichen Bereich unverhältnismäßig hoch. Auf der Ostseite wird das Gelände abgebösch, die Außenwand liegt frei.										
66				15: Nach Überprüfung wurde festgestellt, dass die Innendämmung bauphysikalisch problematisch ist.										
67				Wegen einer möglichen Durchfeuchtung der Wand sind Bauschäden nicht auszuschließen.										
68														
69														
70	Die Werte für die nicht realisierten Maßnahmen sind in den Summen nicht mehr enthalten.													



2

DG M1:200

Stand Architektur : 13.06.06



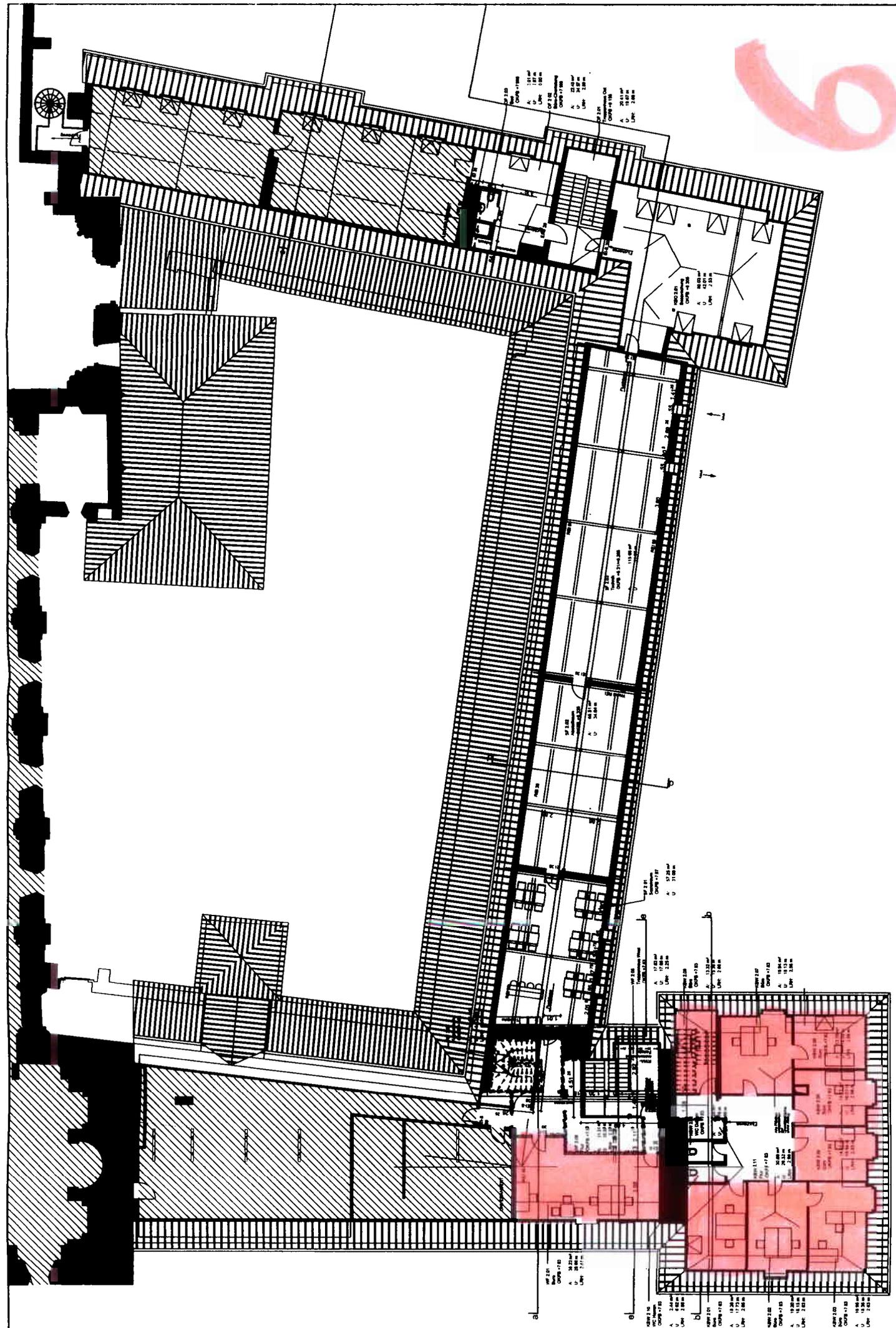
5

DG M1:200

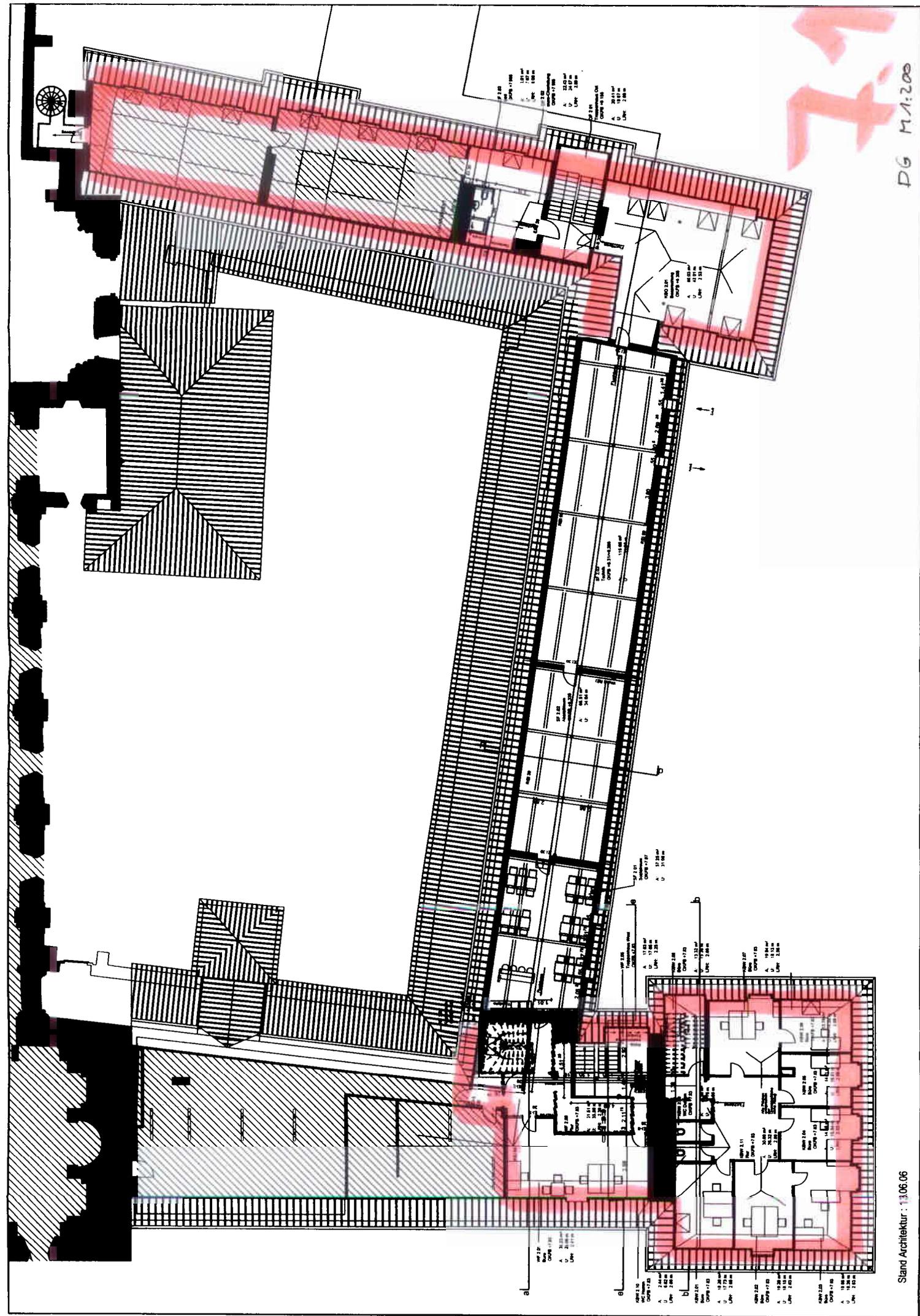
Stand Architektur : 13.06.06

6

D6 M1:200



Stand Architektur : 13.06.06

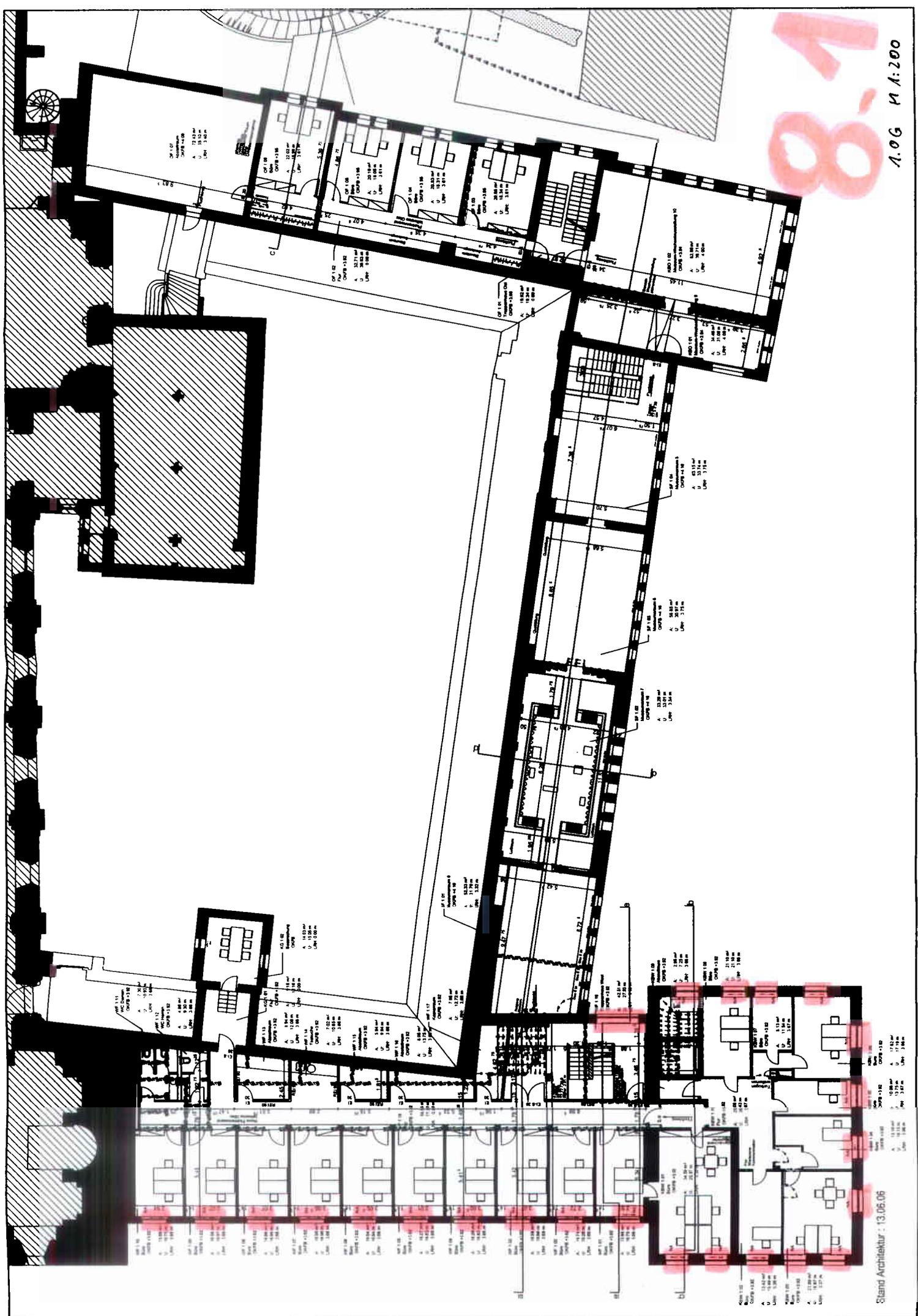


DG M1:200

Stand Architektur : 13.06.06

8.1

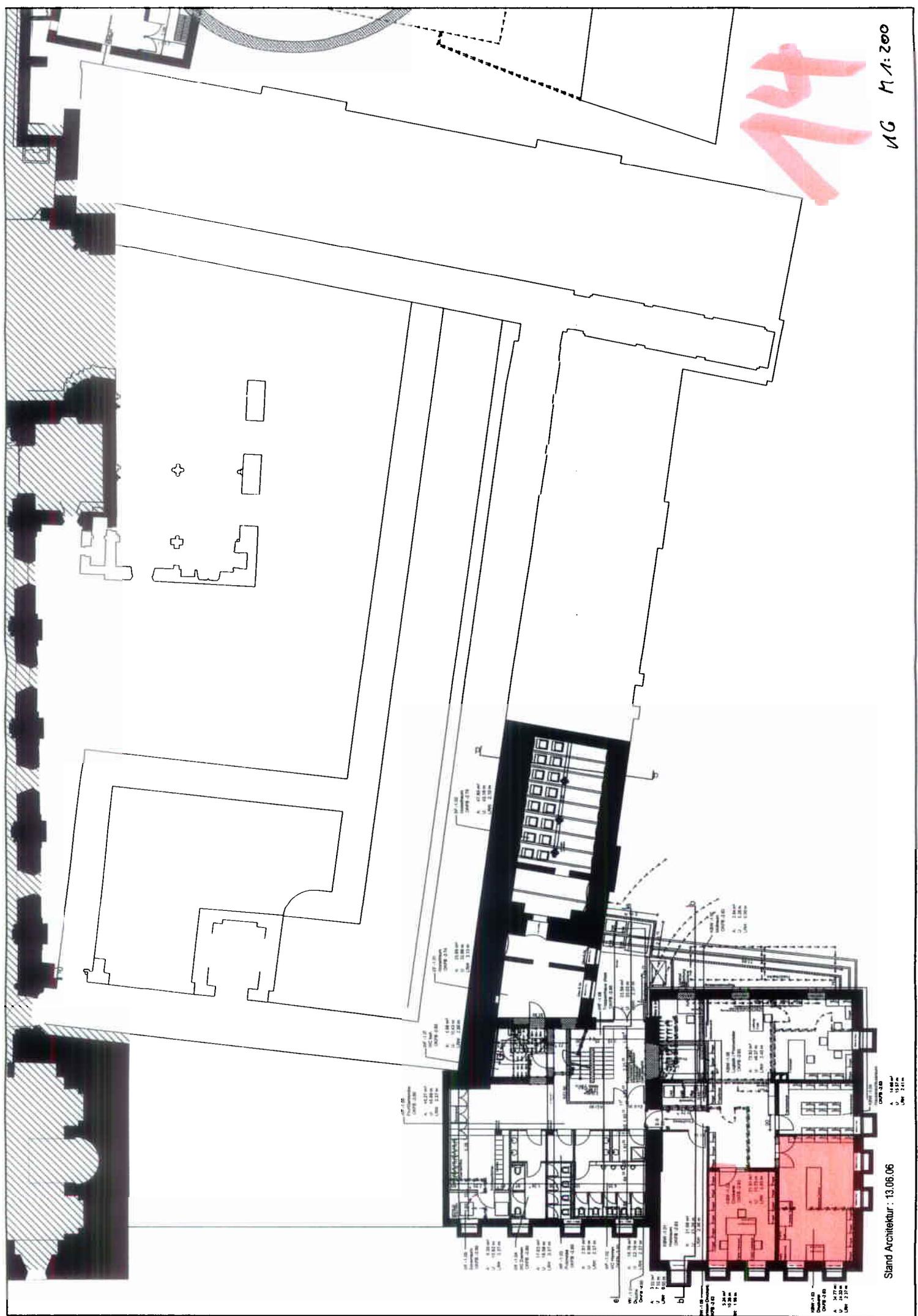
1.06 M 1:200



Ständig Architektur : 13.06.06

74

MG M 1:200



Stand Architektur : 13.06.06