

Endbericht

Energieoptimierung Kloster St. Ottilien

**Energetische Sanierung und innovative
Energieversorgung in der Erzabtei St. Ottilien**

Energieoptimierung Kloster St. Ottilien

**Energetische Sanierung und innovative
Energieversorgung in der Erzabtei St. Ottilien**

| | |
|----------------------------|--|
| Auftraggeber: | Erzabtei Kloster St. Ottilien |
| FfE-Auftragsnummer: | 544.01 |
| Bearbeiter/in: | Klaus Höpler |
| Fertigstellung: | September 2006 |

Impressum:

Endbericht
der Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V.
(FfE)

zum Projekt:

Energieberatung

Energieoptimierung Kloster St. Ottilien

Energetische Sanierung und innovative
Energieversorgung in der Erzabtei St. Ottilien

Auftraggeber:

Erzabtei Kloster St. Ottilien

Kontakt:

Am Blütenanger 71
80995 München
Tel.: +49 (0) 89 158121-0
Fax: +49 (0) 89 158121-10
E-Mail: info@ffe.de
Internet: www.ffe.de

Wissenschaftlicher Leiter:

Prof. Dr.-Ing. U. Wagner

Geschäftsführer:

Prof. Dr.-Ing. W. Mauch

Projekt-Manager:

Dipl.-Phys. R. Corradini

Inhalt

| | |
|--|-----------|
| 1 Zielsetzung der Machbarkeitsstudie | 1 |
| 2 Vorgehensweise | 1 |
| 3 Analyse des Ist - Zustands | 1 |
| 3.1 Die Klosteranlage | 1 |
| 3.2 Energieversorgung in St. Ottilien | 3 |
| 3.3 Anlagenkonzept..... | 3 |
| 3.4 Brennstoff- und Wärmeverbrauch | 4 |
| 3.5 Stromverbrauch..... | 5 |
| 3.6 Heizlast | 6 |
| 3.7 Wärmebedarf..... | 9 |
| 4 Potenziale durch energetische Sanierung | 10 |
| 4.1 Gebäude | 10 |
| 4.1.1 Ist - Zustand | 10 |
| 4.1.2 Soll – Zustand | 10 |
| 4.2 Energieversorgung..... | 11 |
| 5 Sanierungskonzept | 13 |
| 5.1 Gebäude | 13 |
| 5.1.1 Notwendige Maßnahmen (Sanierung Stufe 1) | 14 |
| 5.1.2 Weitere Energiesparmaßnahmen (Sanierung Stufe 2) | 15 |
| 5.2 Energieversorgung..... | 16 |
| 6 Zusammenfassung und Empfehlung..... | 20 |
| 7 Literaturverzeichnis | 21 |
| 8 Anhang | 24 |
| 8.1 Gebäudedaten..... | 24 |
| 8.2 Heizlast und Wärmebedarf | 29 |
| 8.3 Potenzial Biomasse..... | 30 |
| 8.4 Wirtschaftlichkeitsberechnung | 32 |

Energetische Sanierung von St. Ottilien

1 Zielsetzung der Machbarkeitsstudie

Zielsetzung der Studie ist die Darstellung der Machbarkeit einer energetischen Sanierung des Klosterdorfes St. Ottilien und der Schule sowie die Modernisierung der Energieversorgung. Die Maßnahmenpakete sollen einem ganzheitlichen Ansatz entsprechen und zu einer deutlichen Reduzierung der CO₂ - Emissionen und des Energiebedarfs führen.

Eine gute Breitenwirkung kann erzielt werden durch die Demonstration von Best - Practice - Maßnahmen in Kloster und Schule und der Aufbereitung der technischen Informationen und erzielbaren Ergebnissen. Einfache Maßnahmen aber auch komplexe Systeme zur Ressourcenschonung und Umweltschutz sollen das heute Machbare aufzeigen.

2 Vorgehensweise

Im ersten Schritt sollte der Energiebedarf vor allem für die Beheizung der Gebäude durch geeignete Maßnahmen reduziert werden. Da im Kloster St. Ottilien besondere Anforderungen an das äußere Erscheinungsbild gestellt werden, können Dämmmaßnahmen nur eingeschränkt durchgeführt werden. Die größten Schwachstellen (z.B. Fenster, Dächer, Wärmebrücken etc.) sollen jedoch identifiziert und Abhilfemaßnahmen aufgezeigt werden. Erfahrungen zeigen, dass hier bei vergleichsweise geringen Investitionen oft bereits deutliche Energieeinsparungen möglich sind.

Die Energieversorgung soll mittels innovativer Technologien, wie z.B. Biogas - BHKW, Hackschnitzel- oder Restholz - Kessel oder Holzvergaser - Anlage, zentrale oder dezentrale Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung, solare Brauchwassererwärmung erfolgen. Weiter ist zu prüfen, ob und in welchem Ausmaß der Heizenergiebedarf des Klosters aus eigener Biomasseproduktion (Forst- und Landwirtschaft, Rinder-, Schweine- und Hühnerzucht, Essensreste u.a.) abgedeckt werden kann.

3 Analyse des Ist - Zustands

3.1 Die Klosteranlage

Das Kloster St. Ottilien liegt, wie **Abbildung 3-1** zeigt, zwischen München und Augsburg, etwa einen Kilometer von Geltendorf entfernt.

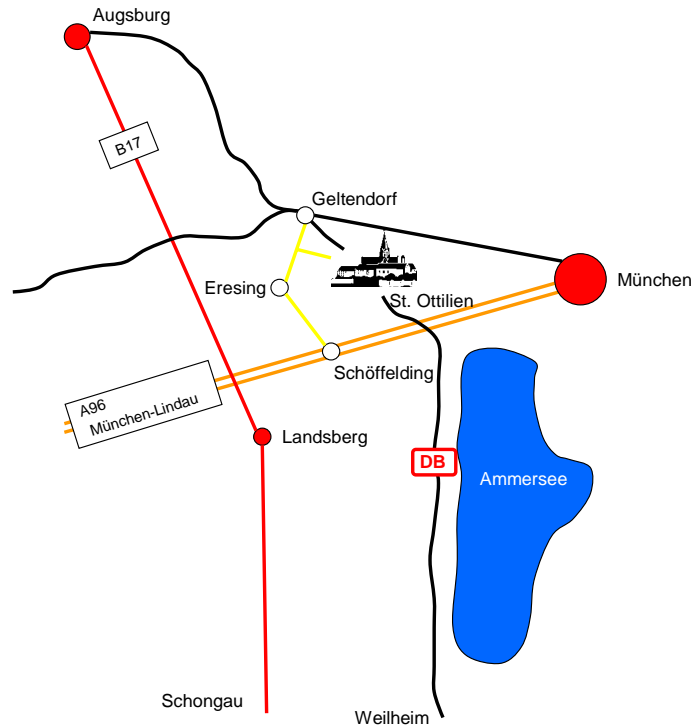


Abbildung 3-1: Lage der Klosteranlage St. Ottilien (nicht maßstabsgetreu) /OTT/

St. Ottilien ist die oberbayerische Erzabtei der Missionsbenediktiner. Die Ordensgemeinschaft zählt heute ca. 200 Mönche, von denen gut ein Drittel im Dienst des Evangeliums in Missionsklöstern auf anderen Kontinenten arbeitet. In St. Ottilien leben etwa 90 Mönche im benediktinischen Rhythmus von Gebet und Arbeit. Es existiert ein fester Tagesablauf, der an Werktagen um 5.15 Uhr und an Sonn- und Feiertagen um 6.30 Uhr beginnt und um 20 Uhr endet /OTT/.

In **Abbildung 3-2** ist die Klosteranlage St. Ottilien maßstabsgetreu dargestellt. Insgesamt besteht die Anlage aus etwa 45 einzelnen Gebäuden. Die Hauptgebäude sind zum einen das Kloster im Südwesten, der Gebäudetrakt des Rhabanus-Maurus-Gymnasiums mit angegliedertem Internat im Südosten sowie das Exerzitienhaus, das sich im Norden des Klosters befindet. Das Exerzitienhaus ist ein Tagungshaus, dem auch noch das etwas kleinere Ottilienheim angegliedert ist. Einen weiteren größeren Gebäudekomplex bilden die landwirtschaftlichen Betriebe (Ökonomie). Zur Ökonomie zählen Stallungen für Vieh und Geflügel, verschiedene Wohnhäuser, eine Metzgerei und ein Hofladen sowie mehrere Lager- und Maschinenhallen. Außerdem existieren auf der Klosteranlage verschiedene kleinere Gebäude, in denen Werkstätten wie Malerei und Schreinerei sowie die kloster eigene Feuerwehr untergebracht sind. Westlich des großen Ökonomie-Gebäudes befinden sich die Gebäude der Prokura, des Klosterladens und des EOS-Verlags. Im Nordwesten der Anlage befindet sich die Gaststätte „Emminger Hof“.

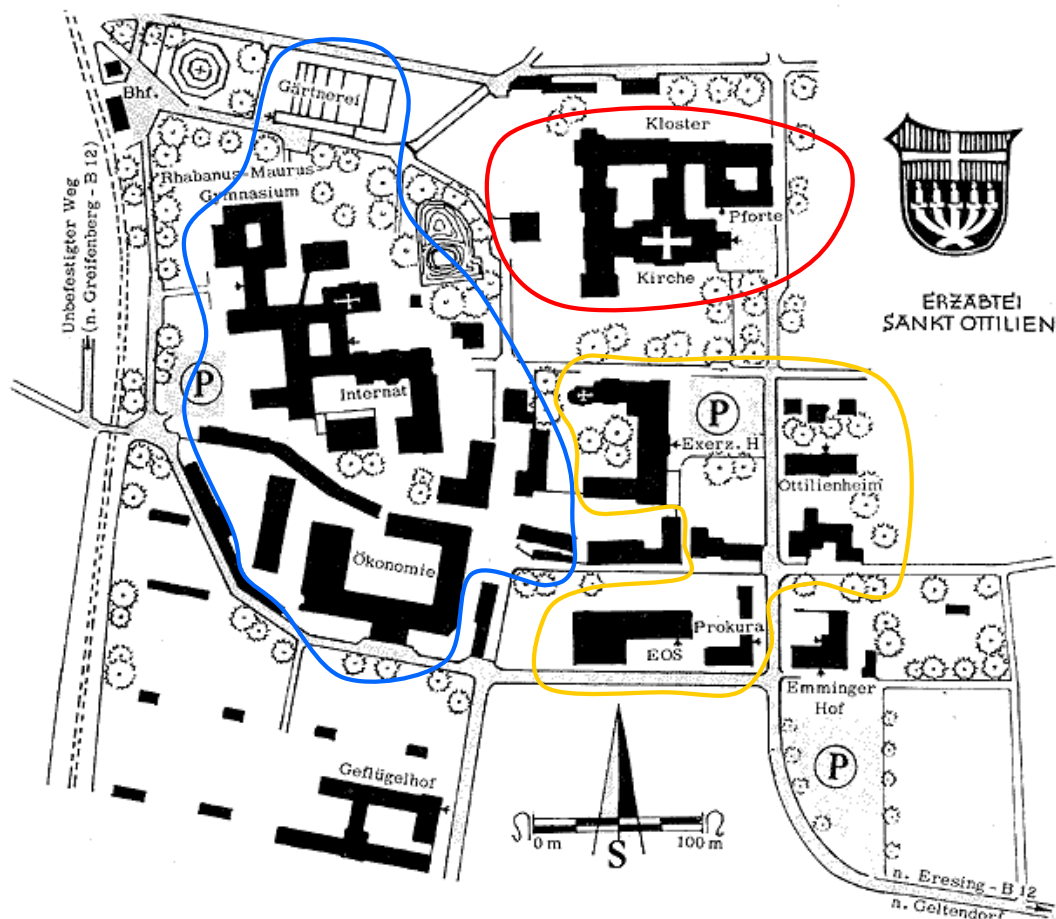


Abbildung 3-2: Die Klosteranlage St. Ottilien /OTT/ /JAK 05/

3.2 Energieversorgung in St. Ottilien

Die Klosteranlage wird im Wesentlichen (mit Ausnahme weniger Einzelgebäude) über drei Heizzentralen mit Wärme versorgt. Einige Gebäude werden über Nahwärmleitungen versorgt, ein 100 kW Hackschnitzelkessel speist in ein Netz ein. Als Energieträger wird hauptsächlich leichtes Heizöl verwendet. Der Strom wird über die Stadtwerke Fürstfeldbruck bezogen.

3.3 Anlagenkonzept

Die von den drei Heizzentralen versorgten Gebäude sind in **Abbildung 3-2** dargestellt. Die Heizzentrale Kloster beliefert das Klostergebäude, die Klosterkirche und das Haus Paulus, das im Osten des Klosters liegt (in rot dargestellt) mit Heizenergie und Warmwasser.

Die Heizzentrale in der Schule versorgt über das größte der drei Wärmenetze (blau dargestellt) das Gymnasium inklusive der Internatsgebäude, das Hallenbads und die Turnhalle sowie Elektrizitäts-Werk, Malerei, Schreinerei, Metallwerkstätten, Feuerwehr, Schuhmacherei und die Gebäude der Ökonomie.

Die Heizzentrale Exerzitienhaus versorgt das Exerzitienhaus, das Ottilienheim, drei Villen, das Waschhaus, die Kfz-Werkstatt, die Prokura sowie den Klosterladen (gelb dargestellt). Der Geflügelhof, die Zimmerei und der Gasthof haben eigene Heizungsanlagen. Die zur Ökonomie gehörenden Lager- und Maschinenräume werden nicht beheizt.

Die gesamte installierte Leistung der drei Heizzentralen für Heizwärme- und Warmwasserbereitstellung beträgt 3,9 MW. **Tabelle 3-1** zeigt die Verteilung dieser Leistungen auf die einzelnen Heizzentralen und Kessel.

Tabelle 3-1: *Installierte Leistung in St. Ottilien /TOB/*

| | Heizzentrale Kloster | Heizzentrale Schule | Heizzentrale Exerzitienhaus | Gesamte installierte Leistung |
|---------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|
| Kessel 1 | 675 kW | 895 kW | 675 kW | |
| Kessel 2 | 320 kW | 720 kW | 460 kW | |
| Hackschnitzelkessel | - | 100 kW | - | |
| Summe | 995 kW | 1.715 kW | 1.135 kW | 3.945 kW |

Die Haupteinspeisung der elektrischen Energie erfolgt im so genannten Elektrizitätswerk. Von dort wird die gesamte Klosteranlage mit Strom versorgt. Mit Ausnahme von Notstrom wird keine elektrische Energie erzeugt.

3.4 Brennstoff- und Wärmeverbrauch

Die Heizzentrale Schule hat von allen Versorgungssystemen den höchsten Brennstoffverbrauch mit etwa 270.000 l Heizöl pro Jahr. Danach folgen die Heizzentrale Exerzitienhaus mit ungefähr 210.000 l Heizöl und schließlich die Heizzentrale Kloster mit etwa 180.000 l pro Jahr. Insgesamt ergibt sich daraus ein jährlicher Brennstoffverbrauch von rund 670.000 l Heizöl pro Jahr für die Klosteranlage. Das entspricht einem Endenergieverbrauch von 6.700.000 kWh/a. Der Hackschnitzelkessel, der für die Rücklaufanhebung im Wärmenetz der Heizzentrale Schule eingesetzt wird, verbraucht ca. 1000 Schüttraummeter (Srm) Holzhackschnitzel pro Jahr, dies entspricht etwa 900.000 kWh/a. Damit verbraucht das Klosterdorf St. Ottilien etwa 7.600.000 kWh Energie im Jahr.

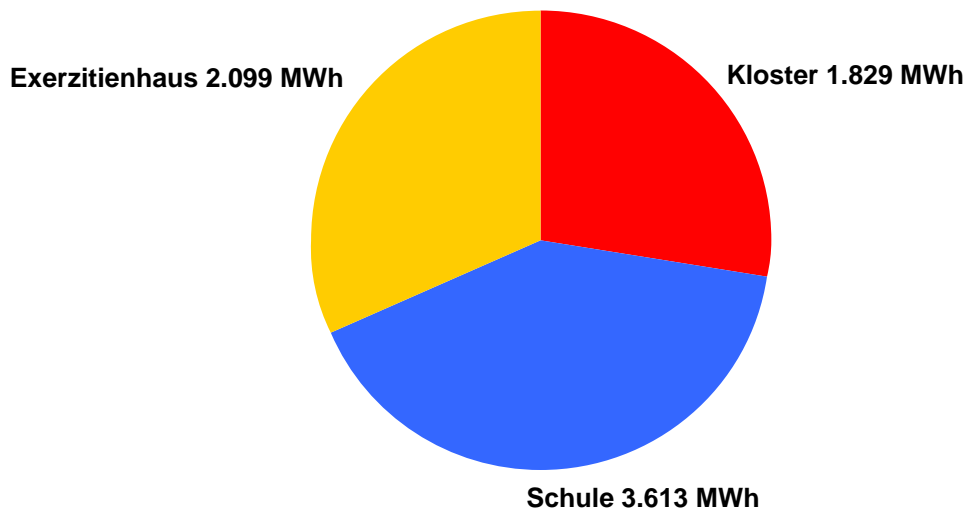


Abbildung 3-3: *Energieverbrauch der drei Heizzentralen /JAK 05/ /TOB/*

3.5 Stromverbrauch

Der gemittelte Stromverbrauch der Jahre 2000 bis 2003 für die gesamte Klosteranlage St. Ottilien beträgt ungefähr 1,2 GWh. Dies geht aus den Stromrechnungen von St. Ottilien hervor. **Abbildung 3-4** zeigt den durchschnittlichen monatlichen Stromverbrauch. Dargestellt sind der Verbrauch im Hochtarifzeitraum, im Niedertarifzeitraum sowie der Gesamtverbrauch. Der höchste Verbrauch liegt nach dieser Darstellung im Oktober vor und beträgt etwas mehr als 120.000 kWh. Die Klosteranlage ist Mittelspannungskunde und wird von den Stadtwerken Fürstenfeldbruck mit Strom versorgt.

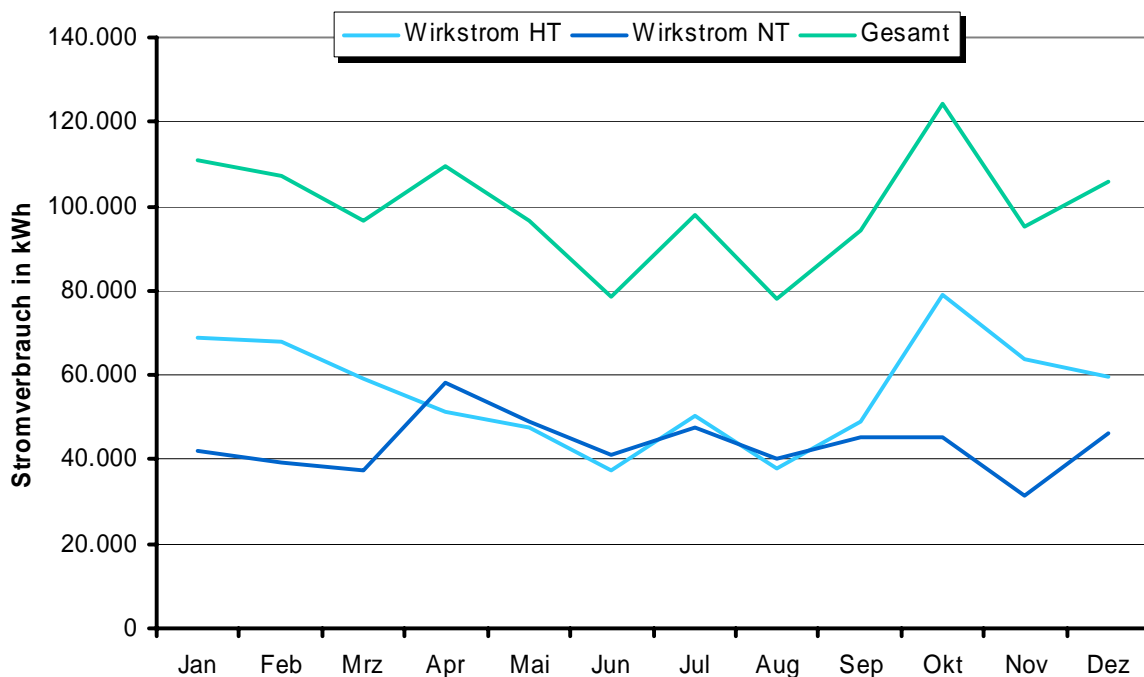


Abbildung 3-4: *Gemittelter monatlicher Stromverbrauch der Jahre 2000 bis 2003 /PAU/*

3.6 Heizlast

Die Heizlast gibt die Heizleistung an, die zur Aufrechterhaltung einer bestimmten Innentemperatur erforderlich ist. Sie bildet einen wichtigen Kennwert für die Auslegung eines Heizsystems und wird nach der DIN 12831 berechnet. Die Heizlast stellt die Summe aus Transmissionswärmebedarf, Lüftungswärmebedarf und Aufheizleistung dar. Für die Berechnung ist eine genaue Aufstellung sämtlicher Gebäudeflächen wie Außenwandfläche, Dachfläche, Kellerboden und Fensterflächen erforderlich. In die Berechnung fließen außerdem die Gebäudehüllfläche, sowie das Bruttovolumen der Gebäude mit ein.

Die erforderlichen Gebäudedaten wurden mit Hilfe von Bauplänen, Fotos und einer Ortsbegehung der Klosteranlage abgeschätzt. Dies stellte sich als relativ komplex heraus, da vor allem das Kloster und die Schule aus verschiedenen Bautrakten unterschiedlichen Alters bestehen, die zudem einen unterschiedlichen Sanierungsstand aufweisen. Aktuelle Pläne der gesamten Gebäudekomplexe existieren nur in begrenztem Maße. Die ermittelten Gebäudewerte stellen nur eine Abschätzung dar, um Anhaltswerte für die Dimensionierung der neuen Anlagen zu haben.

Die Wärmedurchgangskoeffizienten der einzelnen Bauteilflächen in St. Ottilien ergeben sich aus Angaben einer Studie der Umwelt-Energie-Technik GmbH, die vor etwa zehn Jahren bereits eine gebäudetechnische Bewertung des Klosters vornahm, sowie aus charakteristischen U-Werten aus der IKARUS-Datenbank. Die Spannweite der so ermittelten U-Werte ist in **Tabelle 3-2** dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die

vorhandene Bausubstanz sehr heterogen, im Allgemeinen jedoch als sanierungsbedürftig einzuordnen ist. Dies gilt insbesondere für das Kloster. Eine ausführliche Tabelle mit U-Werten sämtlicher Gebäude und Bauteilflächen findet sich im Anhang.

Tabelle 3-2: U-Werte der Bauteile der Klosteranlage /IKARUS/ / UET/

| Bauteil | U-Werte in W/(m ² K) |
|-------------|---------------------------------|
| Außenwände | 1,0 - 1,5 |
| Fenster | 3,0 - 6,0 |
| Dächer | 0,6-1,2 |
| Kellerboden | 0,9-1,4 |

Thermografien der Gebäude lassen weitere Schlüsse auf die Eigenschaften der Bausubstanz zu. In **Abbildung 3-5** ist ein Bild der Ostfassade des Klosters zu sehen. Die Außentemperatur zum Zeitpunkt der Aufnahme betrug etwa -10°C. Anhand eines solchen Bildes lassen sich bauliche Schwachstellen (ungenügende Wärmedämmung, Wärmebrücken) des Gebäudes erkennen. Je höher die Temperatur eines Bauteils ist, desto schlechter sind seine energetischen Eigenschaften. Die roten Flächen kennzeichnen hier Stellen, die einen relativ hohen Wärmedurchgang aufweisen. Diese sind in diesem Bild in erster Linie bei den Fenstern zu finden, deren Temperaturen teilweise oberhalb von 0°C liegen, was bei einer Außentemperatur von -10 °C auf hohe Wärmeverluste hinweist. Es ist außerdem zu erkennen, dass im Bereich der Raumdecken sowie an Stellen, an denen Heizkörper angebracht sind, ebenfalls relativ hohe Wärmeverluste auftreten.

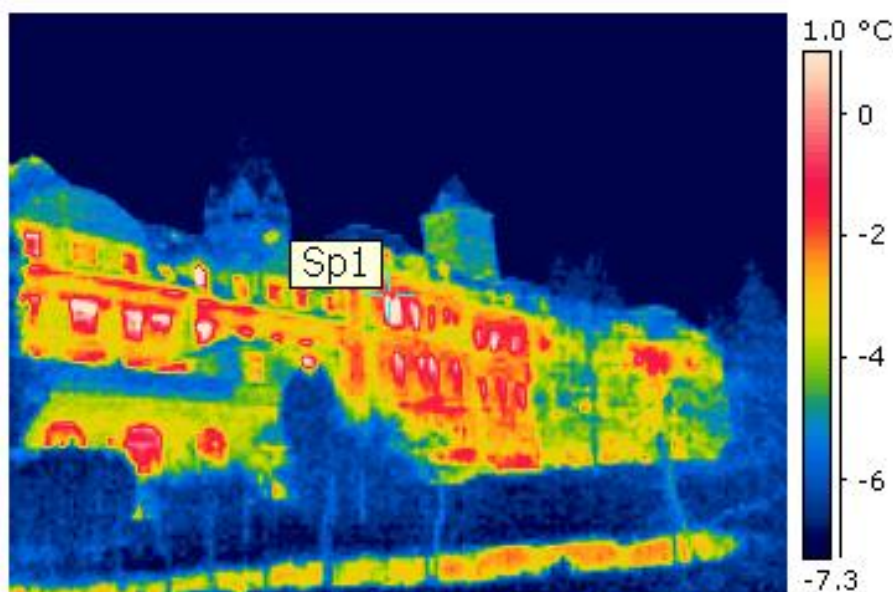


Abbildung 3-5: Thermografie der Ostfassade des Klosters /FFE 05/06/

Abbildung 3-6 zeigt eine weitere Thermografie. Diese zeigt zwei Gebäudetrakte des Exerzitienhauses, von denen der linke bereits wärmetechnisch saniert ist, der rechte nicht. Es ist deutlich zu erkennen, dass der sanierte Teil niedrigere Oberflächen-temperaturen aufweist und somit viel weniger Wärme abstrahlt. Die Temperatur der sanierten Außenfassade beträgt etwa -6 °C . Die Fassadentemperatur des unsanierten Gebäudeabschnitts dagegen beträgt etwa -2 °C . Auch hier sind wieder deutliche Schwachstellen unterhalb der Fenster auszumachen, wo vermutlich Heizkörper in Nischen angebracht sind und die Außenwand dadurch entsprechend dünner ist.



Abbildung 3-6 Thermografie des Exerzitienhauses /FFE 05/06/

Die Heizlast wurde für jedes Gebäude der Klosteranlage gesondert berechnet. Dafür wurde bei den Wohn-, den Büro- und Verwaltungsgebäuden sowie der Schule von einer Innentemperatur von 20 °C ausgegangen, die der Werkstätten wurde mit 15 °C angenommen. Für Turnhalle und Hallenbad wurden Innentemperaturen von 20 °C und 26 °C zur Berechnung der Heizlast angesetzt /REC 01/.

Einen Sonderfall stellt die Gärtnerei dar, da die dort beheizte Fläche zum größten Teil auf Gewächshäuser entfällt. Die Innentemperatur dieses Gebäudes wurde auf 18 °C festgelegt /GEI 99/.

Für die Bestimmung der Außentemperatur wurde die Klimazone von München angenommen. Nach DIN 4701 beträgt das tiefste Zweitagesmittel der Außentemperatur hier -16 °C .

Die gesamte berechnete Heizlast aller drei Heizzentralen in St. Ottilien auf Basis der dargestellten Annahmen beträgt etwa 4.042 kW . Die Heizzentrale Kloster weist eine Heizlast von 1.034 kW auf, die Heizzentrale Schule eine von 1.854 kW und für die Heizzentrale Exerzitienhaus ergeben sich 1.121 kW . Für die Auslegung der Heizungsanlagen wird ein Gleichzeitigkeitsfaktor von $0,8$ angesetzt, da bei Anlagen dieser Größenordnung nie die gesamte Leistung zur gleichen Zeit benötigt wird /JEN 04/.

Damit verringert sich die Heizlast der gesamten Anlage auf ca. 3.240 kW. Von dieser Summe entfallen 827 kW auf die Heizzentrale Kloster, 1.483 kW auf die Heizzentrale Schule und die verbliebenen 897 kW auf die Heizzentrale Exerzitienhaus. Die Heizlast des unabhängig versorgten Gebäudes Geflügelhof beträgt 33 kW. **Tabelle 3-3** zeigt die errechneten Heizlasten im Vergleich zur derzeit installierten Leistung. Anhand dieser Zahlen lässt sich eine Überdimensionierung der installierten Kessel erkennen.

Tabelle 3-3: *Gegenüberstellung von errechneter Heizlast und installierter Leistung der drei Heizzentralen /TOB/*

| | Heizlast | Installierte Leistung |
|-----------------------------|----------|-----------------------|
| Heizzentrale Kloster | 827 | 995 |
| Heizzentrale Schule | 1.483 | 1.715 |
| Heizzentrale Exerzitienhaus | 897 | 1.135 |
| Geflügelhof | 33 | 80 |
| Gesamte Anlage | 3.240 | 3.925 |

3.7 Wärmebedarf

Der Wärmebedarf drückt aus, welche Wärmemenge durch ein Heizungssystem bereitgestellt werden muss, um eine bestimmte Raum- oder Warmwassertemperatur aufrechterhalten zu können. Er setzt sich zusammen aus dem Heizwärmebedarf und dem Warmwasserbedarf. Die Berechnung erfolgt nach dem in DIN 4108 Teil 6 beschriebenen Heizperiodenbilanzverfahren.

Für die Berechnungen wurden zunächst alle Gebäude unabhängig von ihrer Nutzung als gleichwertig betrachtet. Bei Gebäuden, deren Norminnentemperatur von 19 °C abweicht, wird mit Hilfe der zuvor berechneten Heizlast ein Anteil am Gebäudebruttovolumen abgeschätzt, der nicht beheizt wird, um so den Heizwärmebedarf anpassen zu können. Für die Beurteilung von Schwimmbad und Turnhalle wurden spezifische Kennwerte zu Hilfe genommen.

Der außerdem im Wärmebedarf enthaltene Warmwasserbedarf ist nahezu ausschließlich von der Anzahl der Nutzer abhängig. Bei Wohngebäuden wurde diese mit der Bewohnerzahl gleichgesetzt und der Warmwasserbedarf mit Hilfe von spezifischen Verbrauchskennwerten ermittelt. Der Warmwasserbedarf der Werkstattgebäude wurde vernachlässigt. Die Bedarfswerte für das Schwimmbad, die Turnhalle und die Tagungsheime wurden ebenfalls mit Hilfe von typischen Kennzahlen ermittelt.

Der Heizwärmebedarf beträgt bei den getroffenen Annahmen für die ganze Anlage etwa 7,7 GWh, der Warmwasserbedarf beträgt rund 296 MWh/a. Damit ergibt sich insgesamt ein Wärmebedarf von etwa 8,0 GWh/a. Eine detaillierte Auflistung dieser Werte findet sich im Anhang.

Dieser Wärmebedarf würde einem Verbrauch von rd. 870.000 Litern Heizöl entsprechen. Tatsächlich wurden jedoch lediglich 670.000 Liter Heizöl und ein Energieäquivalent durch den Hackschnitzelverbrauch von rd. 90.000 Litern verbraucht. Somit ergibt sich

aus der Berechnung nach der DIN 4108 Teil 6 eine Differenz von rd. 12 %. Grund dafür ist zum Einen, dass eine Vielzahl von Gebäuden nur teilweise beheizt ist und zum Anderen, dass die Raumtemperaturen niedriger als die Vorgaben sind. Für die spätere Wirtschaftlichkeitsberechnung wird deshalb von einem korrigierten Wärmeverbrauch ausgegangen.

4 Potenziale durch energetische Sanierung

Die Reduzierung des Energiebedarfs kann durch die Sanierung der Gebäude und die Erneuerung der Energieversorgung erreicht werden. Um die Einsparpotenziale bestimmen zu können, wird der Energieverbrauch des Ist - Zustands mit dem Energieverbrauch der sanierten Gebäude verglichen. Dazu werden die Gebäude als energetisch saniert betrachtet, und mit den neuen U-Werten wird der zukünftige Energieverbrauch berechnet. Die Einsparpotenziale werden sowohl für den Fall der Komplettsanierung als auch für den Zwischenschritt (Sanierung der defekten Gebäudeteile) ermittelt.

4.1 Gebäude

4.1.1 Ist - Zustand

Die vorhandene Bausubstanz ist sehr heterogen. **Tabelle 4-1** zeigt die Spannweite der U-Werte der einzelnen Gebäudeteile (sanierte Bauteile sind nicht aufgeführt). Die Werte liegen deutlich über den heute bei Neubauten üblichen Bereich. Dies gilt insbesondere für das Kloster. Eine ausführliche Tabelle mit U-Werten sämtlicher Gebäude und Bauteilflächen findet sich im Anhang.

Tabelle 4-1: *U-Werte der Bauteile der Klosteranlage /IKARUS/ /UET/*

| Bauteil | U-Werte in W/(m ² K) |
|-------------|---------------------------------|
| Außenwände | 1,0 - 1,5 |
| Fenster | 3,0 - 6,0 |
| Dächer | 0,6 - 1,2 |
| Kellerboden | 0,9 - 1,4 |

4.1.2 Soll – Zustand

Durch die komplette energetische Sanierung aller Gebäude (Fenster, Fassade, Dach und Kellerdecke, Details siehe Kapitel 5.1) ließen sich 41% des Heizenergieverbrauchs einsparen, die Heizleistung reduzierte sich dabei um 48% auf 1.682 kW. Würde man nur die ohnehin notwendigen Reparaturen in Angriff nehmen und die betroffenen Bauteile auf den energetischen Neubaustandard anpassen, könnten 11% eingespart werden, die Heizlast verringerte sich um 10% auf 2.920 kW. Die zugrunde gelegten U-Werte für die Berechnung der Einsparungen sind in Tabelle 4-2 dargestellt.

Tabelle 4-2: Vergleich der U-Werte der Bauteile im Ist – Zustand mit den Werten nach der Energieeinsparverordnung (EnEV)

| Bauteil | U-Werte in W/(m ² K) | | |
|--------------------|---------------------------------|-------------|------------------|
| | Kloster Ist-Zustand | EnEV | Verwendete Werte |
| Außenwände | 1,0 - 1,5 | 0,35 - 0,75 | 0,35 |
| Fenster | 3,0 - 6,0 | 1,7 - 2,8 | 1,6 |
| Dächer | 0,6 - 1,2 | 0,3 - 0,4 | 0,3 |
| Kellerboden | 0,9 - 1,4 | 0,4 - 0,5 | 0,4 |

4.2 Energieversorgung

Wie bereits erwähnt, wird das Klosterdorf von drei Heizzentralen mit Heizungswärme und Warmwasser versorgt. Bei umfangreichen Messungen zeigte sich, dass bereits durch die Ertüchtigung der Regelung der Heizkessel erhebliche Einsparungen möglich sind. Durch die Auswertung der Messung konnte festgestellt werden, dass die Regelung in allen Heizzentralen nur unzureichend oder gar nicht funktioniert. Der Kessel 1 im Kloster hat nachts höhere Abgastemperaturen als tagsüber, was auf falsch eingestellte Sollwerte oder eine defekte Regelung schließen lässt und zu einem erhöhten Energieverbrauch führt. Im Exerzitienhaus takteten die Kessel zeitweise im Minutentakt gegeneinander, d.h. wenn ein Kessel abschaltet, läuft der andere an. Wenn Kessel 2 nachts die Temperatur absenkt, gleicht diese Temperaturabsenkung Kessel 3 durch längere Laufzeiten aus. Da jeder Anfahr- und Stoppvorgang zu erhöhten Emissionen von Treibhausgasen führt, ist diese Betriebsweise nicht nur aus ökonomischen, sondern auch aus ökologischen Gesichtspunkten schlecht. Als Sofortmaßnahme wurde vorgeschlagen, jeweils einen Kessel sofort abzuschalten und diesen auch hydraulisch zu trennen. In einem weiteren Schritt sollte die Steuerungen bzw. Regelungen der einzelnen Heizkessel überprüft und deren Zusammenspiel genauer abgestimmt werden.

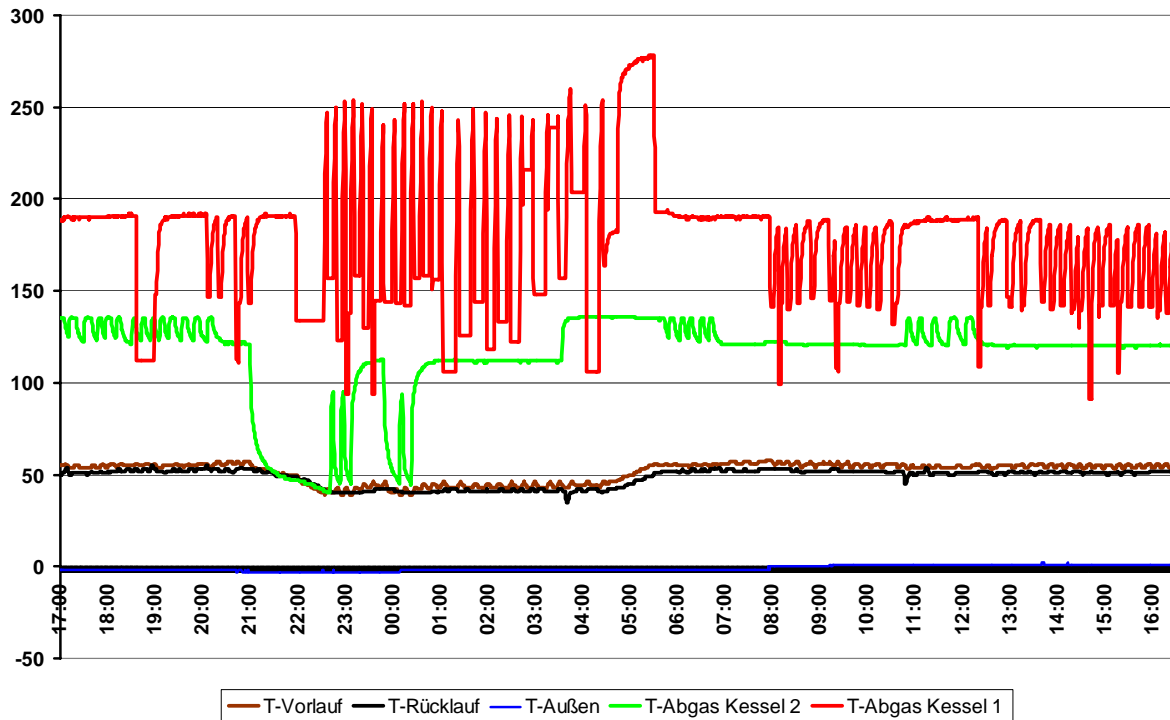


Abbildung 4-1: Lastgang des Kessel 1 in Energiezentrale Kloster

Wie man in **Tabelle 3-3** erkennen kann, sind die Heizkessel etwa um 20% überdimensioniert, was zusätzlich zu höheren Verlusten führt. Durch die Modifizierung der Regelung könnten 20 bis zu 30% an Energie eingespart werden.

Tabelle 4-3: Vergleich Heizlast und installierte Leistung

| | Heizlast | Installierte Leistung |
|----------------------------|----------|-----------------------|
| Heizzentrale Kloster | 827 | 995 |
| Heizzentrale Schule | 1.483 | 1.715 |
| Heizzentrale Exerzitenhaus | 897 | 1.135 |
| Geflügelhof | 33 | 80 |
| Gesamte Anlage | 3.240 | 3.925 |

Im Zuge der energetischen Sanierung ist auch die komplette Sanierung der Heizenergieversorgung notwendig, da einerseits die Heizleistung an die sanierten Gebäude angepasst werden muss und andererseits die Nutzung der vorhandenen Biomasse weiter ausgebaut werden soll. Die zukünftige Energieversorgung von einer gemeinsamen Energiezentrale würde die Einbindung der Biomassenutzung und eine Kraft-Wärme-Kopplung ermöglichen.

5 Sanierungskonzept

5.1 Gebäude

Die Gebäude des Klosterdorfes weisen unterschiedliche Zustände der Bausubstanz und des Wärmedämmstandards auf. Beispielsweise ist ein Teil des Exerzitenhauses (Winterschule) mit Wärmedämmung, neuen Fenstern und neuem Dach saniert, während beim ehemaligen Lehrlingsheim nur die Fenster erneuert wurden. Aus diesem Grund werden die einzelnen Bauteile der Gebäude (Fassade, die Fenster, das Dach und die Kellerdecke) nach ihrem Zustand eingeteilt.

1. Fassade:

- A: Eine komplette Sanierung ist sofort erforderlich (sonst Verlust der Bausubstanz)
- B: Eine energetische Sanierung wird empfohlen, um Energie zu sparen und das Wohnklima zu verbessern.
- C: Der Gebäudeteil ist bereits saniert oder eine Sanierung ist nicht möglich (Denkmalschutz).

2. Fenster:

- A: Einscheibenverglasung
- B: Zweischeibenverglasung
- C: saniertes Fenster

3. Dach:

- A: Eine komplette Sanierung ist sofort erforderlich (sonst Verlust der Bausubstanz)
- B: Eine energetische Sanierung wird empfohlen
- C: Der Gebäudeteil ist bereits saniert

4. Kellerdecke:

- A: Eine Dämmung wird empfohlen, um Energie zu sparen und das Wohnklima zu verbessern.
- B: Dämmung wäre möglich
- C: Dämmung nicht möglich

In

Tabelle 5-1 sind die Ergebnisse der Ortsbegehung nach oben beschriebenem Schema für das Kloster zusammengestellt (die Bewertung aller Gebäudeteile findet sich im Anhang)

Tabelle 5-1: Bewertung des Klosters nach Ortsbegehung

| | | | Fenster | | | | Fassade | | | | Dach | Kellerdecke |
|-------------|------------------|-------------------------|---------|---|---|---|---------|---|---|---|---------|-------------|
| | | | Zustand | | | | Zustand | | | | Zustand | Zustand |
| | | | N | S | W | O | N | S | W | O | | |
| Gebäude | Gebäudeteil | Details | | | | | | | | | | |
| Kloster | Neubau 1954 | Norden, westlich Pforte | B | A | B | - | C | B | C | - | A | - |
| | | Pforte | B | B | A | B | C | B | B | B | B | - |
| | | Westtrakt | - | - | B | A | - | C | C | B | A | - |
| | | Südtrakt | B | B | B | | B | C | C | | B | A |
| | Zwischenbau 1910 | Übergangsbau zur Kirche | - | B | B | B | - | B | B | B | A | - |
| | | Südtrakt | A | A | B | - | A | - | - | - | A | - |
| | | Ostrakt | B | - | B | B | - | - | B | C | A | - |
| Altbau 1891 | | B | B | B | B | C | C | C | C | B | - | |

Betrachtet man beispielsweise den Zwischenbau des Klosters, so kann man aus der Tabelle ablesen, dass die Fenster teilweise noch Einscheibenverglasung aufweisen, dass das Dach sanierungsbedürftig ist (undicht) und dass die Fassade teilweise nicht gedämmt werden kann, da sie unter Denkmalschutz steht.

5.1.1 Notwendige Maßnahmen (Sanierung Stufe 1)

Die Bauteile, die in der Bewertungstabelle mit A gekennzeichnet wurden, sind zum Schutz der Bausubstanz zu sanieren. Dabei kann idealerweise auch eine energetische Sanierung durchgeführt werden, da der Großteil der Kosten bereits durch die bauliche Instandhaltung anfällt (Sowiesokosten). So kann bei der Erneuerung eines Daches dieses gleichzeitig gedämmt werden. Hierbei würden die Kosten für die Dämmung nur einen kleinen Teil der gesamten Maßnahme betragen. Der Energieverbrauch könnte dadurch um etwa 11% gesenkt werden. Die Kosten sind in **Tabelle 5-2** zusammengestellt.

Tabelle 5-2: *Kosten für Erhaltung der Bausubstanz (Sanierung Stufe 1)*

| | Flächen | Kosten | Sowiesokosten | Kosten für Energieeinsparung |
|-------------|-------------------|-----------|---------------|------------------------------|
| | [m ²] | [€] | [€] | [€] |
| Fenster | 802 | 320.936 | 320.936 | 0 |
| Fassade | 3.410 | 306.925 | 204.616 | 102.309 |
| Dach | 7.828 | 1.174.252 | 782.834 | 391.418 |
| Kellerdecke | 359 | 14.375 | 0 | 14.375 |
| Gesamt | | 1.816.488 | 1.308.386 | 508.102 |

Die Kosten für die gesamte Sanierung der Stufe 1 belaufen sich auf ca. 1.8 Mio. € Dabei müssten für die Erhaltung der Bausubstanz etwa 1.3 Mio. € ausgegeben werden. Die energiesparenden Maßnahmen kosten ca. 0,5 Mio. € (detaillierte Aufstellung im Anhang). Als Maßnahmen wurden vorgesehen:

- Erneuerung der Fenster mit Wärmeschutzverglasung mit einem U-Wert des Fensters von mindestens 1,6 W/m²K
- Dämmen der Fassade mit mindestens 10 cm Wärmedämmung der Wärmeleitgruppe 040
- Dämmen des Daches mit 10 cm Wärmedämmung der Wärmeleitgruppe 040
- Dämmen der Kellerdecke mit 8 cm Wärmedämmung der Wärmeleitgruppe 040

Anmerkung: Die für die Berechnung angenommenen Dämmstärken sind erforderlich, um die Werte der Energieeinsparverordnung einzuhalten. Empfohlen wird aber die Fassade mit mindestens 14 cm Dämmung, das Dach mit mindestens 20 cm Dämmung und die Kellerdecke mit mindestens 10 cm Dämmung zu versehen, da der Mehrpreis nur gering ist.

5.1.2 Weitere Energiesparmaßnahmen (Sanierung Stufe 2)

Bauteile, die in der Bewertungstabelle mit dem Buchstaben B gekennzeichnet sind, sollten energetisch saniert werden, da die U-Werte deutlich über den heute zulässigen Werten liegen und damit der Energieverbrauch entsprechend hoch ist. In **Tabelle 5-3** sind die Kosten für die Sanierung zusammengestellt.

Tabelle 5-3: *Kosten für die energetische Sanierung der Gebäude (Sanierung Stufe 2)*

| | Flächen | Kosten | Sowiesokosten | Kosten für Energieeinsparung |
|-------------|-------------------|-----------|---------------|------------------------------|
| | [m ²] | [€] | [€] | [€] |
| Fenster | 2339 | 935.642 | 0 | 935.642 |
| Fassade | 13560 | 1.220.368 | 0 | 1.220.368 |
| Dach | 15431 | 2.314.627 | 0 | 2.314.627 |
| Kellerdecke | 395 | 15.800 | 0 | 15.800 |
| Gesamt | | 4.486.438 | 0 | 4.486.438 |

Die energetische Sanierung der Gebäude kostet insgesamt etwa 4,4 Mio. € Für die Berechnung der Einsparung wurden die gleichen Dämmmaßnahmen, wie bei Stufe 1 angesetzt. Auch hier ist eine Erhöhung der Dämmstärken empfehlenswert.

Die Bauteile, die mit dem Buchstaben C gekennzeichnet wurden, sind entweder schon saniert (Teile des Exerzitenhauses) oder können aus Gründen des Denkmalschutzes nicht gedämmt werden.

5.2 Energieversorgung

Neben der Durchführung der Sofortmaßnahmen (siehe unter Kapitel 4.2) muss im Zuge der Gebäudesanierung auch die Anlagentechnik an die geänderten Bedingungen angepasst werden. Dabei sollen folgende Möglichkeiten näher untersucht werden:

1. Sanierung der bestehenden Heizungsanlage
2. Hackschnitzelanlage und Spitzenlastkessel
3. Biogas - BHKW und Spitzenlastkessel
4. Brennstoffzellen - KWK und Spitzenlastkessel
5. Brennstoffzellen - KWK, Hackschnitzelanlage und Spitzenlastkessel
6. Holzvergaser - BHKW, Hackschnitzelanlage und Spitzenlastkessel

Während bei Variante 1 die drei vorhandenen Heizzentralen bestehen bleiben, wird bei den anderen Varianten von einer neuen Heizzentrale ausgegangen, von der aus alle Gebäude versorgt werden.

Investitionskosten Anlagentechnik

Die Kosten für die einzelnen Varianten sind in **Tabelle 3-1** zusammengestellt.

Variante 1, die Sanierung der bestehenden technischen Anlagen (Austausch der Heizkessel, Ertüchtigung der Regelung und Sanierung der vorhandenen Heizöltanks) wird etwa 140.000 €kosten.

Für die anderen Varianten ist jeweils der Neubau einer gemeinsamen Energiezentrale erforderlich, von der aus alle Gebäude mit Heizung- und Warmwasser über ein Nahwärmenetz versorgt werden.

Tabelle 5-4: Sanierungskosten der Anlagentechnik

| | Varianten | | | | | |
|--|--------------------------------------|--|--|---|--|---|
| | 1. Sanierung der bestehenden Anlagen | 2. Hackschnitzelanlage und Spitzenlastkessel | 3. Biogas – BHKW und Spitzenlastkessel | 4. Brennstoffzellen – KWK und Spitzenlastkessel | 5. Brennstoffzellen – KWK, Hackschnitzelanlage und Spitzenlastkessel | 6. Holzvergaser + Hackschnitzelanlage und Spitzenlastkessel |
| Maßnahmen | | | | | | |
| Austausch der alten Kessel | 100.000 € | - | - | - | - | - |
| Neubau Energiezentrale | - | 250.000 € | 250.000 € | 250.000 € | 250.000 € | 250.000 € |
| Nahwärmenetz | - | 150.000 € | 150.000 € | 150.000 € | 150.000 € | 150.000 € |
| Anpassen vorh. Netz in Energiezentrale | 8.000 € | 15.000 € | 15.000 € | 15.000 € | 15.000 € | 15.000 € |
| Hackschnitzelanlage | - | 100.000 € | - | - | 100.000 € | 100.000 € |
| Biogasanlage | - | - | 140.000 € | 140.000 € | 140.000 € | - |
| BHKW | - | - | 450.000 € | - | - | - |
| Holzvergaser | - | - | - | - | - | 650.000 € |
| Brennstoffzelle | - | - | - | 1.800.000 € | 1.800.000 € | - |
| Spitzenlastkessel (Heizöl) | - | 50.000 € | 50.000 € | 50.000 € | 50.000 € | 50.000 € |
| 3 Unterzentralen | - | 275.000 € | 275.000 € | 275.000 € | 275.000 € | 275.000 € |
| Rückbau der alten Energiezentralen | - | 100.000 € | 100.000 € | 100.000 € | 100.000 € | 100.000 € |
| Anpassen Elektro und MSR | 12.000 € | 20.000 € | 20.000 € | 20.000 € | 20.000 € | 20.000 € |
| Öltanks sanieren | 20.000 € | - | - | - | - | - |
| Öltank neu | - | 60.000 € | 60.000 € | 60.000 € | 60.000 € | 60.000 € |
| Sanierung Lüftung Schwimmbad | 100.000 € | 100.000 € | 100.000 € | 100.000 € | 100.000 € | 100.000 € |
| Investitionen | | | | | | |
| Anlagentechnik | 240.000 € | 1.120.000 € | 1.610.000 € | 2.960.000 € | 3.060.000 € | 1.770.000 € |
| Planung, Genehmigung etc. | 24.000 € | 112.000 € | 161.000 € | 296.000 € | 306.000 € | 177.000 € |
| Gesamt | 264.900 € | 1.232.000 € | 1.771.000 € | 3.256.000 € | 3.366.000 € | 1.947.000 € |

Die vorhandenen Heizzentralen werden in Unterzentralen umgebaut, so dass die bestehenden Wärmeverteilungen weiterhin genutzt werden kann. Die Regelungstechnik in diesen Unterzentralen wird den neuen Erfordernissen angepasst. Der Kosten für den Neubau der Energiezentrale und das Nahwärmenetz sind für alle Varianten gleich und werden auf je 810.000 € geschätzt.

Die Einbindung einer Hackschnitzelanlage in Verbindung mit Spitzenlastkesseln (das nutzbare Holz reicht bei ausschließlicher Eigenversorgung nicht für die komplette Wärmemenge) kostet zusätzlich etwa 210.000 €. Eine weitere Möglichkeit wäre die Verwertung der vorhandenen Biomasse aus der Landwirtschaft zur Biogaserzeugung und anschließender Nutzung in einem BHKW in Kombination mit Spitzenlastkesseln. Die Kosten belaufen sich bei dieser Variante auf 700.000 €. Statt des BHKW kann auch eine Brennstoffzelle eingesetzt werden. In diesem Fall kostet die Anlage 2.050.000 € (allein 1,8 Mio. € für die Brennstoffzelle). Die teuerste Lösung mit etwa 2.150.000 € ist die Variante 5, in der zusätzlich zu Brennstoffzelle und Biogasanlage eine Holz hackschnitzelanlage das Klosterdorf mit Wärme versorgt. Kombiniert man Hackschnitzelanlage mit einem Vergaserkessel mit Gasturbine (Heatpipe Reformer) und Spitzenlastkesseln betragen die Investitionskosten ca. 860.000 € für die Anlagentechnik.

Die Sanierung der Lüftungsanlage des Schwimmbads ist bei allen Varianten gleich und wird mit 100.000 € veranschlagt.

Für Planung, Genehmigungen etc. ist mit etwa 10 % der jeweiligen Investitionskosten zu rechnen.

Jahreskosten

Die Kosten für die Bereitstellung von Wärme und Strom sind für die einzelnen Versorgungsvarianten in **Tabelle 5-5** gegenübergestellt. Von allen untersuchten Möglichkeiten der Energieversorgung ist der Holzvergaser in Kombination mit Hackschnitzelanlage und Spitzenlastkesseln mit 156.249 € für die jährliche Wärmeerzeugung und 30.352 € für die Stromerzeugung die günstigste Variante.

Tabelle 5-5: Vergleich der Wärme- und Stromgestehungskosten

| | Einheit | Öl-Kessel | Hackschnitzelkessel | Biogas-BHKW | Brennstoffzelle | Brennstoffzelle + Hackschnitzelkessel | Holzvergaser-BHKW + Hackschnitzelkessel |
|-------------------------------------|---------|-----------|---------------------|-------------|-----------------|---------------------------------------|---|
| Wärmegestehungskosten | €/kWh | 0,11 | 0,11 | 0,04 | 0,05 | 0,05 | 0,04 |
| Stromgestehungskosten | €/kWh | 0,00 | 0,00 | 0,06 | 0,09 | 0,07 | 0,04 |
| Wärmeerzeugung | kWh/a | 4.303.566 | 4.303.566 | 4.303.566 | 4.303.566 | 4.303.566 | 4.303.566 |
| Stromerzeugung | kWh/a | 0 | 0 | 1.440.000 | 2.000.000 | 2.000.000 | 700.000 |
| Jährliche Kosten der Wärmeerzeugung | €/a | 474.132 | 482.149 | 161.327 | 214.740 | 172.275 | 156.249 |
| Jährliche Kosten der Stromerzeugung | €/a | 0 | 0 | 81.227 | 186.441 | 149.573 | 30.352 |

In **Abbildung 5-1** sind die jährlichen Kosten der einzelnen Varianten bis zum Jahr 2026 aufgetragen.

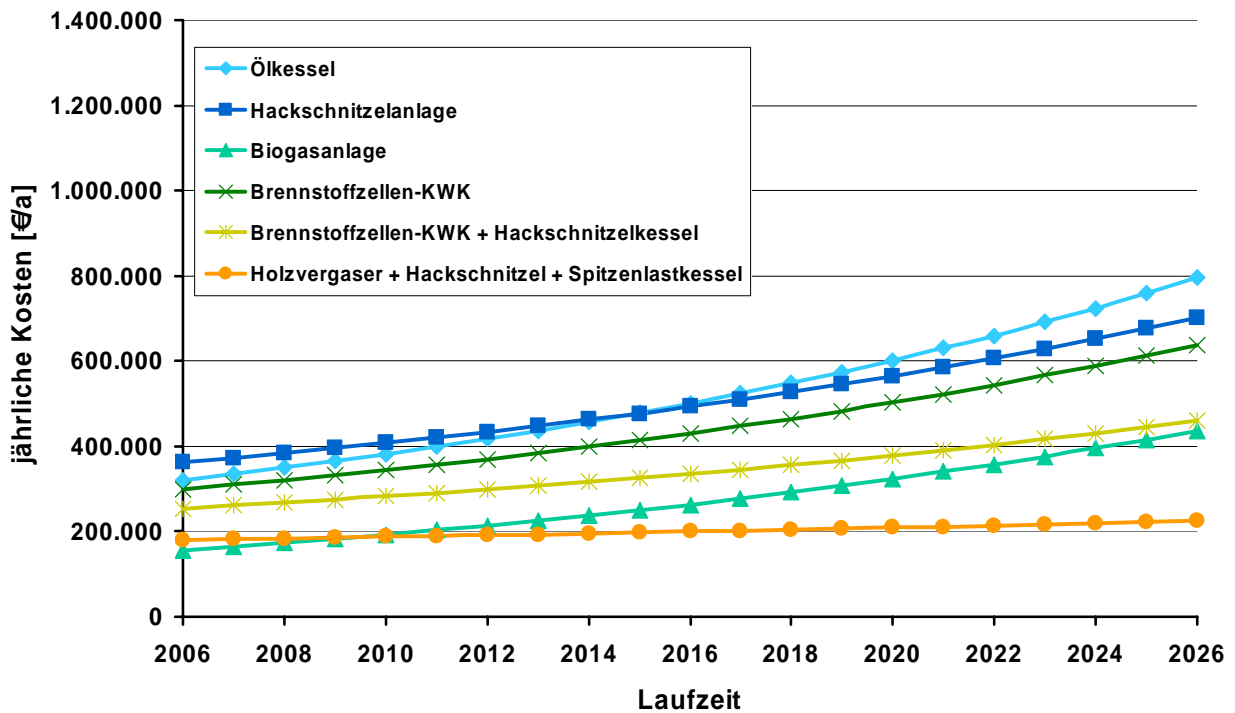


Abbildung 5-1: Vergleich der untersuchten Anlagenvarianten

Kumuliert man die jährlich fälligen kapitalgebundenen, verbrauchsgebundenen und betriebsgebundenen Kosten und rechnet die Erlöse der Stromeinspeisung dagegen, so ist nur die Variante mit Hackschnitzelanlage und Spitzenlastkessel teurer als die Sanierung der bestehenden Energiezentralen. Die Biogasanlage mit BHKW und Spitzenlastkessel hat die niedrigsten jährlichen Kosten. Bei Berücksichtigung von Preissteigerungen der eingesetzten Energieträger (5 % Heizöl, 2 % Hackschnitzel, 2 % Biogas) zeigt sich, dass die Holzvergaseranlage in Kombination mit Hackschnitzel- und Spitzenlastkessel langfristig die preisgünstigste, die Sanierung der bestehenden Anlagen mit Ölkesselbetrieb die teuerste Variante ist.

Werden die Kosten für die Erneuerung der Energieversorgung als einmalige Investitionen angesetzt und die jährlichen Kosten über den Betrachtungszeitraum (20 Jahre) addiert (siehe **Abbildung 5-2**), zeigt sich, dass die Variante mit dem Holzvergaser bereits nach 3 Jahren günstiger ist als die Sanierung der bestehenden Anlagen. Nach 9 Jahren Laufzeit ist die Sanierung der vorhandenen Heizölkessel die teuerste aller untersuchten Anlagenvarianten, da hier die Energiekosten am höchsten sind und sich Preissteigerungen besonders stark auswirken. Die Brennstoffzelle mit Hackschnitzelanlage und Spitzenlastkessel hat die höchsten Investitionskosten, die Gesamtkosten nähern sich, bedingt durch die höheren Erlöse der Stromeinspeisungsvergütung, nach 12 Jahren dem Holzvergaser an. Ab dem Jahr 2025 wird die Brennstoffzelle wieder teurer als der Holzvergaser, da die jährlichen Kosten der Brennstoffzelle schneller steigen als die jährlichen Kosten des Holzvergasers.

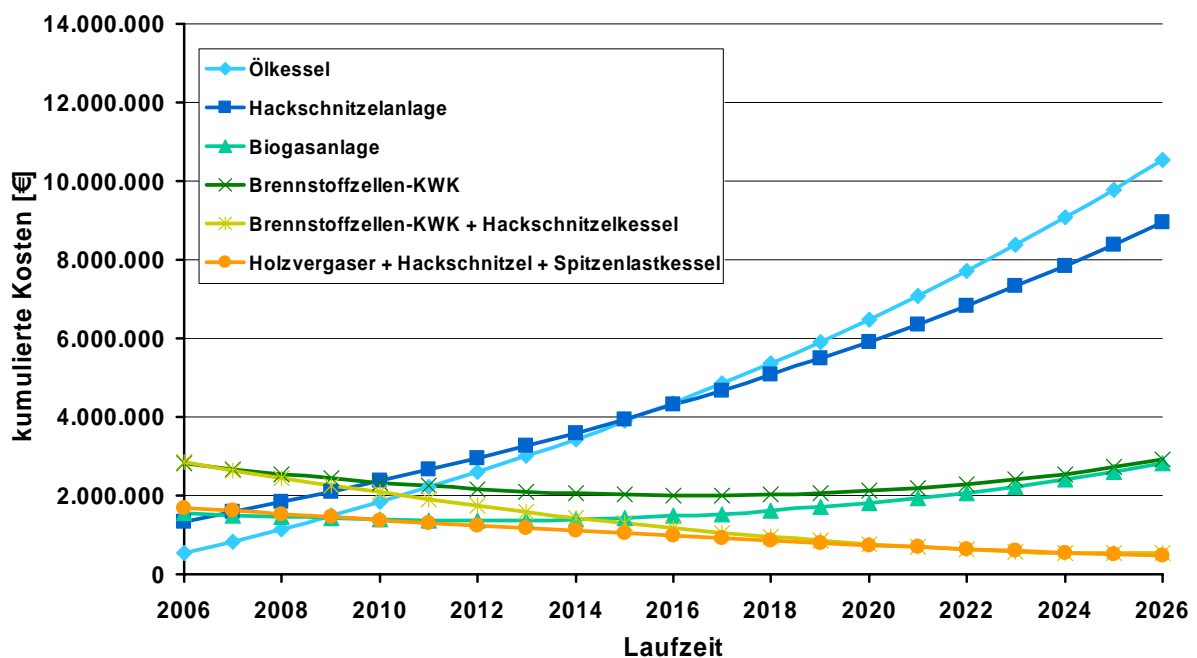


Abbildung 5-2: Vergleich der kumulierten Kosten der einzelnen Varianten

6 Zusammenfassung und Empfehlung

Die Sanierung der Klosteranlage St. Ottilien kann in drei Schritten erfolgen. Als Erstes müssen die mit dem Buchstaben A gekennzeichneten Gebäudeteile (Tabelle siehe Anhang) zur Erhaltung der Bausubstanz erneuert und gleichzeitig gedämmt werden. Danach könnten die anderen baulichen Maßnahmen zur energetischen Sanierung nach und nach durchgeführt werden. Parallel dazu sollte die Energieversorgung umgebaut werden.

Die neue Energieversorgung sollte die maximale Nutzung der vorhandenen Biomasse beinhalten und möglichst kostengünstig und ökologisch sinnvoll sein. Die Nutzung der Biomasse ist nur in Verbindung mit dem Neubau der Energiezentrale möglich, da dadurch die verschiedenen Techniken integriert werden können. Die günstigste Möglichkeit, die gleichzeitig die Nutzung der gesamten zur Verfügung stehenden Biomasse ermöglicht, ist die Variante 6. In diesem Fall wird das vorhandene Holz in einem Holzvergaser vergast und mit einer Gasturbine in Strom und Wärme umgewandelt. Eine zusätzliche Hackschnitzelanlage und ein Spitzenlastkessel (Ölkessel) erzeugen die restliche Wärme.

7 Literaturverzeichnis

- ASUE 01** Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e. V. [ASUE]. (2001). *Mikro-KWK – Turbinen, Motoren und Brennstoffzellen*. Kaiserslautern. www.asue.de, 25.01.2006.
- ASUE 05** Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e. V.[ASUE]. (2005). *BHKW-Kenndaten 2005 – Module, Anbieter, Kosten*. Kaiserslautern. www.asue.de, 25.01.2006.
- BAY 02a** Bayerische Staatsforstverwaltung. (2002). *Zahlen und Fakten Wald und Holz*. 3. Auflage. pdf-Ausgabe. www.forst.bayern.de, 05.01.2006
- BAY 02b** Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Verkehr und Technologie. (2002). *Erneuerbare Energien in Bayern*. München: Bartels & Wernitz
- BINE 05** Suttor, W. (2005). Blockheizkraftwerke – Ein Leitfadens für Anwender. BINE-Informationspaket. 6. Auflage. Köln: TÜV-Verlag GmbH
- BINE 06** BINE-Energieförderung. www.energiefoerderung.info, 10.01.2006/BP 05/
British Petroleum [BP]. (2005). *Statistical Review of World Energy*. www.bp.com/statisticalreview, 16.01.2006
- CARMEN** Centrales- Agrar-Rohstoff-Marketing- und Entwicklungs-Netzwerk [C.A.R.M.E.N.]. www.carmen-ev.de, 10.01.2006
- DAV 05** Bruder David: *Persönliche Mitteilung*. St. Ottilien
- DIE 92** Diederich, H. (1992). *Allgemeine Betriebswirtschaftslehre*. 7. Auflage. Stuttgart: W. Kohlhammer
- DIN12831** Norm DIN 12831. Heizungsanlagen in Gebäuden – Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast. August 2003. Berlin: Beuth Verlag
- DIN4108-6** Vornorm DIN V 4108-6. Wärmeschutz- und Energieeinsparung in Gebäuden: Teil 6 Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergieverbrauchs. Juni 2003. Berlin: Beuth Verlag. pdf-Dokument.
- ENEV** *Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparenden Anlagentechnik bei Gebäuden* [Energieeinsparverordnung – EnEV], Ausfertigungsdatum 16. November 2001, Neufassung vom 2.12.2004. Internet: www.enev-normen.de/Februar2005
- EWI 05** Schulz, W. et al. (2005). *Energierreport IV – Die Entwicklung der Energiemärkte bis zum Jahr 2030*. Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln [EWI] / Prognos AG, Basel
- FFE 02a** (2002). *Basisdaten zur Bereitstellung und Umwandlung von Brennstoffen*. Forschungsstelle für Energiewirtschaft e. V., München.
- FFE 02b** (2002). *Basisdaten zur Bereitstellung elektrischer Energie in Deutschland 1999*. Forschungsstelle für Energiewirtschaft e. V. München.
- FFE 05** *Lastgänge Strukturoptimierung*, erhalten November/Dezember 2005
- FFE 05/06** Persönliche Mitteilungen von Ffe-Mitarbeitern. August 05 – Januar 06

- FNR 05a** Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe. (2005). *Bioenergie*. Reihe Pflanzen, Rohstoffe, Produkte. Gülzow. www.fnr.de, 25.01.2006
- FNR 05b** Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe. (2005). *Basisdaten Biogas Deutschland*. Gülzow. www.fnr.de, 25.01.2006
- FNR 05c** Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe. (2005). Leitfaden Bioenergie – Planung, Betrieb und Wirtschaftlichkeit von Bioenergieanlagen. Gülzow
- FNR 05d** Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe. (2005). *Handreichung Biogasgewinnung- und Nutzung*. Gülzow.
- GEI 04** Geiger, B.; Brückl, O. Tzscheuschler, P.; Hardi, M.; Roth, H. (2004). *CO₂-Vermeidungskosten im Kraftwerksbereich, bei den erneuerbaren Energien sowie bei nachfrageseitigen Energieeffizienzmaßnahmen*. Lehrstuhl für Energie- und Anwendungstechnik Technische Universität München.
- GEI 05** Geiger, B. (2005). Vermeidungskosten als Effizienzkriterium – sicher die richtige Entscheidung treffen. Beitrag zur FfE-Fachtagung. München.
- GEI 99** Geiger, B.; Gruber, E.; Megele, W. (1999). *Energieverbrauch und Einsparung in Gewerbe, Handel und Dienstleistung*. Schriftenreihe des Fraunhofer-Instituts für Systemtechnik und Innovationsforschung [ISI]. Heidelberg: Physica-Verlag
- HAR 03** Hardi, M. (2003). Methodenentwicklung für nachhaltige Energie- und Emissionsminderungsstrategien auf der Grundlage von Lebenszyklusanalysen. Dissertation am Lehrstuhl für Energie- und Anwendungstechnik, Technische Universität München
- HEL 03** Hellriegel, E.; Krimmer, A.; Köhler, D.; Krammer, Th.; Schwärzer, M. (2003). *Konventionelle und innovative Technologien zur Hausenergieversorgung – Energiewirtschaftliche Bewertung*. Forschungsstelle für Energiewirtschaft e. V., enwikon. München.
- IKARUS** *IKARUS-Datenbank: Instrumente für Klimareduktionsstrategien*. Version 4.1. Fachinformationszentrum Karlsruhe; Gesellschaft für wissenschaftlich-technische Information mbH
- JAK 05** Jakobs, Rudolf: *Persönliche Mitteilung*. St. Ottilien.
- JEN 04** Jens, K. (2004). *Vorlesungen über Technische Gebäudeausrüstung*. Kapitel 7 Strom. TU Wien.
<http://64.233.183.104/search?q=cache:tcNKyMkuXSsJ:www.hochbau.tuwien.ac.at/institute/e2151/lehre/Skripten/JensStrom7.pdf+gleichzeitigkeitfaktor+heizung&hl=de>, 01.12.2005
- JÜR** Bruder Jürgen, St. Ottilien: Korrespondenz November 2005 bis Januar 2006.
- KUB 98** Kubessa, M. (Hrsg.). (1998). *Energiekennwerte: Handbuch für Beratung, Planung, Betrieb*. Potsdam: Brandenburgische Energiespar-Agentur.
- LED 01** Ledjeff-Hey, K.; Mahlendorf, F.; Roes, J. (2001). *Brennstoffzellen - Entwicklung, Technologie, Anwendung*. 2. Auflage. Heidelberg: C.F. Müller Verlag
- MTU** MTU-CFC Solutions GmbH. www.mtu-cfc.com, 10.01.2006

- OTT** Erzabtei St. Ottilien. www.ottilien.de, 01.12.2005
- PAU** Bruder Paulus. Kloster St. Ottilien, Stromrechnungen St. Ottilien, erhalten 04.11.2005
- PEH 04** Pehnt, M.; Traube, K. (2004). *Zwischen Euphorie und Ernüchterung – Stand und mittelfristige Perspektiven stationärer Brennstoffzellen*. Bundesverband Kraft-Wärme-Kopplung, BUND. Berlin. www.bund.net, 10.1.2006
- REC 01** Recknagel, Sprenger, Schramek (Hrsg.). (2001). *Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik 01/02*. München: Oldenbourg Industrie Verlag
- SCH 06** Schäfer, E.: Imtech. Persönliche Mitteilung
- TEC** Preisentwicklung beim Heizöl. www.tecson.de, 10.1.2006
- TOB** Pater Tobias Merkt: Persönliche Mitteilungen.
- TUR 06** Turboden. www.turboden.it, 10.01.2006
- UET** Umwelt-Energie-Technik GmbH [UET]. (o. J.) *Erzabtei St. Ottilien – Energiespar- und Versorgungskonzept*. (ohne Ort).
- VDI 2067** Verein Deutscher Ingenieure [VDI]. (2000). *Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen – Grundlagen und Kostenberechnung*. VDI 2067, Blatt 1. VDI-Richtlinien. Berlin: Beuth Verlag GmbH

8 Anhang

8.1 Gebäudedaten

Tabelle 8-1: *Ermittelte Gebäudewerte von St. Ottilien /DAV 05/ /eigene Erhebungen/*

| | Außenwandfläche | Fensterflächen | Dach-/Deckenflächen | Kellerbodenflächen | Volumen | Hüllfläche |
|-------------------------------------|-----------------|----------------|---------------------|--------------------|----------------|----------------|
| | m ² | m ² | m ² | m ² | m ³ | m ² |
| Kloster | 5797 | 1127 | 4211 | 4211 | 29090 | 15346 |
| Haus Paulus | 271 | 79 | 306 | 306 | 1531 | 963 |
| Schule | 5075 | 2079 | 4662 | 4662 | 44199 | 16478 |
| Internat | 892 | 294 | 675 | 675 | 8775 | 2536 |
| Schwimmbad | 371 | 188 | 481 | 481 | 1733 | 1522 |
| Turnhalle | 300 | 193 | 466 | 466 | 2564 | 1425 |
| E-Werk | 214 | 33 | 285 | 285 | 970 | 818 |
| Metallwerkstatt | 232 | 29 | 327 | 327 | 1391 | 914 |
| St. Florian | 495 | 57 | 258 | 258 | 2191 | 1068 |
| Malerei | 598 | 125 | 389 | 389 | 3307 | 1501 |
| Schuhmacherei | 234 | 42 | 150 | 150 | 1275 | 576 |
| Schreinerei | 383 | 11 | 306 | 306 | 1378 | 1006 |
| Ökonomie-Wohngebäude bei Stallungen | 197 | 14 | 125 | 125 | 750 | 460 |
| Ökonomie-Wohntrakt bei Schule | 336 | 100 | 356 | 356 | 1496 | 1148 |
| Metzgerei | 185 | 25 | 120 | 120 | 504 | 450 |
| Gärtnerei | 0 | 159 | 0 | 859 | 2320 | 1018 |
| Exerzitienhaus | 1733 | 1111 | 1856 | 1856 | 19673 | 6556 |
| Villa 1 | 170 | 33 | 75 | 75 | 435 | 353 |
| Villa 2 | 183 | 49 | 100 | 100 | 580 | 432 |
| Villa 3 | 208 | 24 | 100 | 100 | 580 | 432 |
| Ottilienheim | 952 | 148 | 492 | 492 | 4922 | 2084 |
| Waschhaus | 861 | 219 | 688 | 688 | 4125 | 2455 |
| Prokura | 225 | 210 | 309 | 309 | 1856 | 1054 |
| Klosterladen | 200 | 80 | 306 | 306 | 1041 | 893 |
| EOS-Verlag | 565 | 260 | 1694 | 1694 | 6775 | 4213 |
| Geflügelhof | 131 | 34 | 253 | 253 | 759 | 671 |
| Bahnhofshaus | 93 | 20 | 88 | 88 | 263 | 288 |

Tabelle 8-2: *U-Werte der Bauteilflächen im unsanierten Zustand, ermittelt aufgrund von EnEV und UET*

| U-Werte in W/(m ² K) | Außenwand | Fenster | Dach/Decke | Kellerboden | g-Werte für Fenster |
|-------------------------------------|-----------|---------|------------|-------------|---------------------|
| Kloster | 1,25 | 3,5 | 1,2 | 0,9 | 0,8 |
| Haus Paulus | 1,25 | 3,5 | 1,2 | 0,9 | 0,5 |
| Schule | 1,1 | 3 | 0,7 | 0,9 | 0,5 |
| Internat | 1,1 | 3 | 0,7 | 0,9 | 0,5 |
| Schwimmbad | 1,2 | 2,5 | 0,7 | 1,44 | 0,6 |
| Turnhalle | 1 | 2,8 | 0,7 | 1,1 | 0,5 |
| E-Werk | 2 | 3 | 1,2 | 1,1 | 0,5 |
| Metallwerkstatt | 2 | 3 | 1,2 | 1,1 | 0,5 |
| St. Florian | 2 | 3 | 1,2 | 1,1 | 0,5 |
| Malerei | 2 | 3 | 1,2 | 1,1 | 0,5 |
| Schuhmacherei | 2 | 3 | 1,2 | 1,1 | 0,5 |
| Schreinerei | 2 | 3 | 1,2 | 1,1 | 0,5 |
| Ökonomie-Wohngebäude bei Stallungen | 2 | 2,8 | 0,6 | 1,08 | 0,5 |
| Ökonomie-Wohntrakt bei Schule | 2 | 2,8 | 0,6 | 1,08 | 0,5 |
| Metzgerei | 2 | 2,8 | 0,6 | 1,08 | 0,5 |
| Gärtnerei | 2 | 3 | 1,2 | 1,1 | 0,5 |
| Exerzitenhaus | 1,14 | 2,71 | 0,7 | 1,45 | 0,5 |
| Villa 1 | 2 | 2,8 | 0,6 | 1,08 | 0,5 |
| Villa 2 | 2 | 2,8 | 0,6 | 1,08 | 0,5 |
| Villa 3 | 2 | 2,8 | 0,6 | 1,08 | 0,5 |
| Ottilienheim | 1,14 | 2,71 | 0,7 | 1,45 | 0,5 |
| Waschhaus | 2 | 2,8 | 0,6 | 1,08 | 0,5 |
| Prokura | 1,46 | 2,83 | 0,93 | 0,99 | 0,5 |
| Klosterladen | 1,46 | 2,83 | 0,93 | 0,99 | 0,5 |
| EOS-Verlag | 1,46 | 2,83 | 0,93 | 0,99 | 0,5 |
| Geflügelhof | 2 | 2,8 | 0,6 | 1,08 | 0,5 |
| Bahnhofshaus | 2 | 2,8 | 0,6 | 1,08 | 0,5 |

Tabelle 8-3: *U-Werte der Bauteilflächen im sanierte Zustand /ENEV/ /DIN 4108-6/*

| U-Werte in W/(m ² K) | Außenwand | Fenster | Dach/Decke | Kellerboden | g-Werte für Fenster |
|-------------------------------------|-----------|---------|------------|-------------|---------------------|
| Kloster | 1,25 | 1,6 | 1,2 | 0,9 | 0,5 |
| Haus Paulus | 0,35 | 1,6 | 0,3 | 0,42 | 0,5 |
| Schule | 0,35 | 1,6 | 0,3 | 0,42 | 0,5 |
| Internat | 0,35 | 1,6 | 0,3 | 0,42 | 0,5 |
| Schwimmbad | 0,35 | 1,6 | 0,3 | 0,42 | 0,5 |
| Turnhalle | 0,35 | 1,6 | 0,3 | 0,42 | 0,5 |
| E-Werk | 0,35 | 1,6 | 0,3 | 0,42 | 0,5 |
| Metallwerkstatt | 0,35 | 1,6 | 0,3 | 0,42 | 0,5 |
| St. Florian | 0,35 | 1,6 | 0,3 | 0,42 | 0,5 |
| Malerei | 0,35 | 1,6 | 0,3 | 0,42 | 0,5 |
| Schuhmacherei | 0,35 | 1,6 | 0,3 | 0,42 | 0,5 |
| Schreinerei | 0,35 | 1,6 | 0,3 | 0,42 | 0,5 |
| Ökonomie-Wohngebäude bei Stallungen | 0,35 | 1,6 | 0,3 | 0,42 | 0,5 |
| Ökonomie-Wohntrakt bei Schule | 0,35 | 1,6 | 0,3 | 0,42 | 0,5 |
| Metzgerei | 0,35 | 1,6 | 0,3 | 0,42 | 0,5 |
| Gärtnerei | 0,35 | 1,6 | 0,3 | 0,42 | 0,5 |
| Exerzitienhaus | 1,14 | 1,6 | 0,3 | 0,42 | 0,5 |
| Villa 1 | 2 | 1,6 | 0,3 | 0,42 | 0,5 |
| Villa 2 | 2 | 1,6 | 0,3 | 0,42 | 0,5 |
| Villa 3 | 2 | 1,6 | 0,3 | 0,42 | 0,5 |
| Ottilienheim | 1,14 | 1,6 | 0,3 | 0,42 | 0,5 |
| Waschhaus | 0,35 | 1,6 | 0,3 | 0,42 | 0,5 |
| Prokura | 0,35 | 1,6 | 0,3 | 0,42 | 0,5 |
| Klosterladen | 0,35 | 1,6 | 0,3 | 0,42 | 0,5 |
| EOS-Verlag | 0,35 | 1,6 | 0,3 | 0,42 | 0,5 |
| Geflügelhof | 0,35 | 1,6 | 0,3 | 0,42 | 0,5 |
| Bahnhofshaus | 0,35 | 1,6 | 0,3 | 0,42 | 0,5 |

Tabelle 8-4: Bewertung der Gebäude

| Gebäude | Gebäudeteil | Details | Fenster | | | | Fassade | | | | Dach | Keller |
|--------------------------------|-------------------------|-----------------------------|---------|-----|------|-----|---------|-----|------|-----|------|--------|
| | | | Nord | Süd | West | Ost | Nord | Süd | West | Ost | | |
| Kloster | Neubau 1954 | Norden, westlich von Pforte | B | A | B | | C | B | C | | A | |
| | | Pforte | B | B | A | B | C | B | B | B | B | |
| | | Westtrakt | | | B | A | | C | C | B | A | |
| | | Südtrakt | B | B | B | | B | C | C | | B | A |
| | Zwischenbau 1910 | Übergangsbau zur Kirche | | B | B | B | | B | B | B | A | |
| | | Südtrakt | A | A | B | | A | | | | A | |
| | | Osttrakt | B | | B | B | | | B | C | A | |
| | Altbau 1891 | | | B | B | B | B | C | C | C | C | B |
| Haus Paulus (Fenster im EG: A) | | | B | B | B | B | A | A | A | A | B | |
| Schule | Bau 1975 | Süd/West-Trakt (I-förmig) | C | C | C | C | B | B | B | B | B | |
| | | Osttrakt | B | B | B | B | B | B | B | B | B | |
| | | Übergang | | B | B | B | | | B | B | B | |
| | Bau 1989 | | | C | C | C | C | B | B | B | B | |
| | Altbau etwa 1959 | | | A | C | | A | B | B | | B | B |
| | Gang zur Seminarkirche | | | B | B | B | B | B | B | B | B | |
| | Festsaaltrakt 1959 | | | B | | B | B | B | | B | B | |
| | Küche | | | A | A | | A | B | B | | B | B |
| | Verbindungsbau 1959 | | | B | B | B | | B | B | B | | B |
| | Internat, St. Katharina | | | A | A | A | A | A | A | A | A | B |
| | Seminarkirche | | | B | B | B | B | B | B | B | B | |
| | Saalbau 1959 | | | | | C | A | | | B | B | B |
| | Turnhalle | | | B | B | B | B | B | B | B | B | C |
| Schwimmbad | | | A | C | C | C | B | B | B | B | B | |
| Werkstätten | E-Werk | | | B | B | B | B | A | | A | A | A |
| | Metallwerkstätten | | | A | C | C | A | | B | B | B | A |
| | Wasserhaus, unbeheizt | | | | | | | | | | | |
| | St. Florian, Feuerwehr | | | C | C | C | C | B | B | B | B | A |
| | Malerei | | | B | B | B | B | B | B | B | B | B |
| | Schuhmacherei | | | A | A | A | A | A | A | A | A | B |
| | Feuerwehrgarage | | | | | | | | | | | |
| | Schreinerei | | | B | B | B | B | B | B | B | B | B |

Tabelle 8-5: Bewertung der Gebäude

| Gebäude | Gebäudeteil | Details | Fenster | | | | Fassade | | | | Dach | Keller |
|------------------------|---------------------------------|-------------|---------|-----|------|-----|---------|-----|------|-----|------|--------|
| | | | Nord | Süd | West | Ost | Nord | Süd | West | Ost | | |
| Ökonomie | Stallungen (unbeheizt) | Nord | | | | | | | | | | |
| | | West/Süd | | | | | | | | | | |
| | | Ost | | | | | | | | | | |
| | Wohngebäude bei Stallungen | | | B | B | B | | B | B | B | B | |
| | Trakt nördlich von Sch | Wohngebäude | B | B | | B | B | B | | B | A | |
| | | Metzgerei | A | A | | | A | A | | | B | B |
| | Maschinenhalle (unbeheizt) | | | | | | | | | | | |
| Gärtnerei | Wohngebäude | | B | B | B | B | B | B | B | B | B | |
| | beheizte Gewächshäuser | | | | | | | | | | | |
| Exerzitionshe | ehemaliges Lehrlingsheim Norden | | C | C | | C | B | B | | B | B | |
| | Winterschule Westen | | C | C | C | C | C | C | C | C | B | |
| | altes Schloss Süden u. Kapelle | | B | B | | B | B | B | | C | B | |
| Villa 1 | | | B | B | B | B | B | B | B | B | A | B |
| Villa 2 | | | B | B | B | B | B | B | B | B | A | B |
| Villa 3 | | | B | B | B | B | B | B | B | B | C | B |
| Ottilienheim | | | A | A | A | A | B | B | B | B | A | |
| Lager, KfZ-Werkstatt | | | | | | | | | | | | |
| Waschhaus, Schneiderei | | | A | A | A | A | A | A | A | A | A | |
| Prokura | Bürotrakt | | B | B | B | B | B | B | B | B | B | |
| | Klosterladen | | C | C | C | C | | C | C | C | C | |
| EOS-Verlag | Bürotrakt | | B | B | B | | B | B | B | | A | |
| | Druckerei | | B | B | | B | B | B | | B | A | |
| Geflügelhof | Hoffladen | | B | B | B | B | B | B | B | B | B | |
| | Stallungen | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |

8.2 Heizlast und Wärmebedarf

Tabelle 8-6: Heizlast und Wärmebedarf im sanierten und unsanierten Zustand nach DIN 4108-6 und DIN 12831

| Innentemperatur in (°C) | Heizlast in kW; Außentemperatur -16°C; Luftwechsel 0,5 | | Heizlast mit GCF 0,8 | | insoläre Leistung | Heizlast bei einem Gleichzeitigkeitsfaktor von 0,8 | | Heizwärmebedarf in kWh | | Wärmebedarf in kWh | | |
|-------------------------|--|----------------|----------------------|----------------|-------------------|--|----------------|------------------------|------------------|--------------------|------------------|------------------|
| | lt | Sanert Stufe 1 | Sanert Stufe 1 | Sanert Stufe 1 | | lt | Sanert Stufe 1 | Sanert Stufe 1 | Sanert Stufe 1 | Sanert Stufe 1 | Sanert Stufe 1 | Sanert |
| 20 | 976 | 988 | 899 | | | 738 | 679 | 1.493.507 | 1.453.176 | 1.271.896 | 1.505.962 | 1.288.051 |
| 20 | 58 | | 25 | | | 44 | 19 | 100.490 | | 40.949 | 102.719 | 42.578 |
| | 1.034 | 988 | 924 | 790 | 995 | 529 | 473 | 1.593.996 | | 1.293.245 | 1.606.381 | 1.310.629 |
| 20 | 982 | 1.256 | 567 | 96% | | 742 | 428 | 1.864.433 | 2.636.299 | 881.591 | 1.936.670 | 2.781.777 |
| 20 | 162 | | 96 | | | 122 | 73 | 307.489 | | 144.620 | 318.645 | 155.786 |
| 26 | 89 | | 44 | | | 68 | 29 | 475.200 | 475.200 | 54.954 | 530.154 | 530.154 |
| 20 | 73 | | 42 | | | 55 | 31 | 91.127 | | 91.127 | 99.288 | 99.288 |
| 15 | 45 | 281 | 16 | | | 34 | 12 | 84.073 | 489.209 | 26.953 | 84.073 | 489.209 |
| 15 | 51 | | 18 | | | 38 | 14 | 93.030 | | 30.010 | 93.030 | 30.010 |
| 15 | 76 | | 27 | | | 57 | 20 | 133.479 | | 38.599 | 133.479 | 38.599 |
| 15 | 105 | | 39 | | | 78 | 29 | 184.047 | | 55.484 | 184.047 | 55.484 |
| 15 | 40 | | 15 | | | 30 | 11 | 70.821 | | 21.434 | 70.821 | 21.434 |
| 15 | 61 | | 20 | | | 46 | 15 | 111.092 | | 32.881 | 111.092 | 32.881 |
| 20 | 31 | 92 | 12 | | | 23 | 9 | 55.003 | 155.457 | 18.598 | 57.232 | 168.831 |
| 20 | 70 | | 29 | | | 53 | 22 | 117.187 | | 41.575 | 128.332 | 52.720 |
| 15 | 26 | | 9 | | | 19 | 7 | 45.977 | | 18.263 | 45.977 | 18.263 |
| 18 | 44 | 44 | 28 | | | 33 | 21 | 240.625 | 240.625 | 240.625 | 240.625 | 240.625 |
| | 1.854 | 1.673 | 961 | 1.483 | 1.715 | 1.397 | 720 | 3.873.593 | | 2.116.660 | 4.032.446 | 2.275.512 |
| 20 | 421 | 421 | 314 | 90% | | 318 | 237 | 818.629 | 818.629 | 498.209 | 868.984 | 548.364 |
| 20 | 27 | 26 | 24 | | | 20 | 18 | 46.411 | 44.001 | 38.147 | 46.230 | 40.376 |
| 20 | 32 | 30 | 27 | | | 24 | 21 | 55.574 | 51.657 | 44.197 | 57.804 | 46.427 |
| 20 | 32 | 32 | 28 | | | 24 | 21 | 55.328 | 55.328 | 45.448 | 57.557 | 47.677 |
| 20 | 125 | 117 | 103 | | | 95 | 76 | 237.460 | 210.827 | 164.079 | 262.557 | 189.157 |
| 20 | 165 | 68 | 66 | | | 125 | 51 | 296.886 | 106.882 | 106.882 | 298.115 | 109.111 |
| 20 | 67 | 112 | 34 | | | 51 | 26 | 120.640 | 236.891 | 50.833 | 120.840 | 236.891 |
| 18 | 45 | | 20 | | | 34 | 15 | 115.851 | | 56.574 | 115.851 | 56.574 |
| 20 | 207 | 132 | 101 | 84% | | 156 | 76 | 407.273 | 248.834 | 183.028 | 407.273 | 248.834 |
| | 1.121 | 938 | 719 | 897 | 1.135 | 847 | 543 | 2.154.432 | | 1.187.397 | 2.238.801 | 1.271.537 |
| 20 | 33 | 33 | 15 | 33 | 80 | 23 | 10 | 74.864 | 74.664 | 31.613 | 75.779 | 32.727 |
| | 4.042 | 3.632 | 2.619 | 3.240 | 3.925 | 2.797 | 1.747 | 7.696.706 | 6.822.850 | 4.593.915 | 7.993.206 | 4.890.416 |

8.3 Potenzial Biomasse

Tabelle 8-7: *Potentialabschätzung Hackschnitzel /FNR 05c/ /BAY 02a/ /ASUE 05/ /TOB/ /eigene Berechnungen/*

| | | |
|----------------------------------|-----------|---------|
| Waldfläche | 120 | ha |
| spezifischer Ertrag in Festmeter | 7,7 | Fm/ha*a |
| Jahresertrag | 924,0 | Fm/ha*a |
| Jahresertrag Hackschnitzel | 2.245 | Srm/a |
| Masse der Hackschnitzel | 516.424 | kg/a |
| Heizwert der Hackschnitzel | 3,1 | kWh/kg |
| Energieinhalt der Hackschnitzel | 1.600.913 | kWh/a |
| festgelegte Betriebsstundenzahl | 5.000 | h/a |
| Wirkungsgrad der Anlage | 0,85 | |
| Wärmeerzeugung | 1.360.776 | kWh/a |
| Nennleistung der Anlage | 272 | kW |

Tabelle 8-8: *Potentialabschätzung Biogas /FNR 05b/ /FNR 05d/ /JÜR/ /CARMEN/ /eigene Berechnungen/*

Substrate

| | | |
|----------------|----|------|
| Rinder | GV | 60 |
| Schweine | GV | 25,9 |
| Silomais | ha | 25 |
| Weizen GPS | ha | 0 |
| Gerste GPS | ha | 0 |
| Zwischenfrucht | ha | 1 |
| Grünland | ha | 90 |

spezifischer Ertrag

| | | | Jahresertrag | |
|--------------------------|-------------|------|---------------------|-------|
| spezifischer Gülleertrag | t FM/(GV*a) | 16,3 | t FM/a | 978 |
| spezifischer Gülleertrag | t FM/(GV*a) | 16,3 | t FM/a | 422 |
| Silomais | t FM/(ha*a) | 40 | t FM/a | 1.000 |
| Weizen GPS | t FM/(ha*a) | 25 | t FM/a | 0 |
| Gerste GPS | t FM/(ha*a) | 28 | t FM/a | 0 |
| Zwischenfrucht | t FM/(ha*a) | 10 | t FM/a | 10 |
| Grünland | t FM/(ha*a) | 23 | t FM/a | 2.070 |

spezifische Biogaserträge

| | | | Biogasertrag | |
|----------------|---------|-----|---------------------|----------------|
| Rindergülle | m³/t FM | 25 | m³ Biogas/a | 24.447 |
| Schweinegülle | m³/t FM | 30 | m³ Biogas/a | 12.664 |
| Silomais | m³/t FM | 190 | m³ Biogas/a | 190.000 |
| Weizen GPS | m³/t FM | 195 | m³ Biogas/a | 0 |
| Gerste GPS | m³/t FM | 195 | m³ Biogas/a | 0 |
| Zwischenfrucht | m³/t FM | 200 | m³ Biogas/a | 2.000 |
| Grassilage | m³/t FM | 185 | m³ Biogas/a | 382.950 |
| | | | m³ Biogas/a | 612.061 |

Auslegung

| | | |
|-------------------------------------|-----------|-----------|
| Energieinhalt von Biogas elektrisch | kWhel/m³ | 2,25 |
| | kWhges/m³ | 6,25 |
| Stromerzeugung | kWhel | 1.377.136 |
| Betriebsstundenzahl | h/a | 8.000 |
| erforderliche el. Leistung | kW | 172 |
| Energieerzeugung | kWh | 3.825.379 |
| Brennstoffleistung | kW | 478 |

Mögliche Anlage

| | | |
|---------------------|----|-----|
| el. Leistung | kW | 181 |
| therm. Leistung | kW | 234 |
| Brennstoffleistung | kW | 375 |
| el. Wirkungsgrad | | 38% |
| therm. Wirkungsgrad | | 49% |
| Gesamt-Wirkungsgrad | | 87% |

8.4 Wirtschaftlichkeitsberechnung

Tabelle 8-9: Wirtschaftlichkeitsberechnung /PEH 04//TEC/ /DIE 92/ /eigene Berechnungen/

| | | | | | | | | | | | |
|--|-----------------------|-------------|---------------------|-----------------------------------|--------------------|-----------------------------------|--------------------|-------------------------------------|---------------------|---|---------------------|
| Betrachtungszeitraum T in Jahren | 15 | | Heizwert Heizöl | 10,08 | kWh/l | Preisänderungs-faktor Heizöl | 1,07 | Preisänderungs-faktor Hackschnitzel | 1,07 | Preisänderungs-faktor Biogas | 1 |
| Zinssatz | 7% | | Preis Heizöl | 0,6 | €/l | Barwertfaktor des Verbrauchs | 14,01869159 | Barwertfaktor | 14,01869159 | Barwertfaktor | 9,107914005 |
| Zinsfaktor q | 1,07 | | Preis Hackschnitzel | 0,016 | €/kWh | preisdynamischer Annuitätsfaktor | 1,539176982 | preisdynamischer Annuitätsfaktor | 1,539176982 | preisdynamischer Annuitätsfaktor | 1 |
| Annuität a | 0,109794625 | | Preis Biogas | 0,003 | € | | | | | | |
| | | | Ölkessel | | | Hackschnitzelanlage | | | | Biogasanlage | |
| | | | | | | | | | | Brennstoffzellen-KWK | |
| | | | | | | | | | | Brennstoffzellen-KWK + Hackschnitzelkessel | |
| | | | | | | | | | | Holzvergaser + Hackschnitzel + Spitzenlastkessel | |
| Kapitalgebundene Kosten | | | | | | | | | | | |
| Preisänderungsfaktor | r | 1 | | | | | | | | | |
| Barwertfaktor Instandhaltung | bIN | 9,107914005 | | | | | | | | | |
| preisdynamischer Annuitätsfaktor Instandhaltung | baIN | 1 | | | | | | | | | |
| Instandhaltungsfaktor nach VDI 2067 | fk | 0,02 | Hackschnitzelanlage | 0,06 | BHKW | 0,06 | Brennstoffzelle | 0,06 | Brennstoffzelle | 0,06 | Holzvergaseranlage |
| | | | Spitzenlastkessel | 0,02 | Biogasanlage | 0,06 | Biogasanlage | 0,06 | Hackschnitzelkessel | 0,06 | |
| | | | Öltank | 0,015 | Spitzenlastkessel | 0,02 | Spitzenlastkessel | 0,02 | Spitzenlastkessel | 0,02 | Spitzenlastkessel |
| | | | Nahwärmenetz | 0,01 | Öltank | 0,015 | Öltank | 0,015 | Öltank | 0,015 | Öltank |
| | | | | | Nahwärmenetz | 0,01 | Nahwärmenetz | 0,01 | Nahwärmenetz | 0,01 | Nahwärmenetz |
| | | | | | | | | | Biogasanlage | 0,06 | |
| | | | Lüftung Schwimmbad | 0,02 | Lüftung Schwimmbad | 0,02 | Lüftung Schwimmbad | 0,02 | Lüftung Schwimmbad | 0,02 | Lüftung Schwimmbad |
| Barwerte im ersten Jahr | A0 | € | 27.456 | Neubau Energiezentrale | 250.000 | Neubau Energiezentrale | 250.000 | Neubau Energiezentrale | 250.000 | Neubau Energiezentrale | 250.000 |
| | | | | Nahwärmenetz | 150.000 | Nahwärmenetz | 150.000 | Nahwärmenetz | 150.000 | Nahwärmenetz | 150.000 |
| | | | | Hackschnitzelanlage | 100.000 | | | Hackschnitzelanlage | 100.000 | Hackschnitzelanlage | 100.000 |
| | | | | | | Biogasanlage | 140.000 | Biogasanlage | 140.000 | | |
| | | | | | | BHKW | 450.000 | Brennstoffzelle | 1.800.000 | Brennstoffzelle | 1.800.000 |
| Heizkessel erneuern | | | 100.000 | | | | | | | | |
| Öltanks sanieren | | | 20.000 | Spitzenlastkessel | 50.000 | Spitzenlastkessel | 50.000 | Spitzenlastkessel | 50.000 | Spitzenlastkessel | 50.000 |
| | | | | 3 Unterzentralen | 275.000 | 3 Unterzentralen | 275.000 | 3 Unterzentralen | 275.000 | 3 Unterzentralen | 275.000 |
| Anpassen und erneuern MSR und Elektro | | | 20.000 | Rückbau der alten Energiezentrale | 100.000 | Rückbau der alten Energiezentrale | 100.000 | Rückbau der alten Energiezentrale | 100.000 | Rückbau der alten Energiezentrale | 100.000 |
| | | | | Öltank neu | 60.000 | Öltank neu | 60.000 | Öltank neu | 60.000 | Öltank neu | 60.000 |
| Sanierung Lüftung Schwimmbad | | | 100.000 | Sanierung Lüftung Schwimmbad | 100.000 | Sanierung Lüftung Schwimmbad | 100.000 | Sanierung Lüftung Schwimmbad | 100.000 | Sanierung Lüftung Schwimmbad | 100.000 |
| Barwerte der Ersatzbeschaffungen | A1 | € | 240.000 | | | | | | | | |
| Restwerte | Rw | € | 46.682 | Anpassen vorh. Netz | 15.000 | Anpassen vorh. Netz | 15.000 | Anpassen vorh. Netz | 15.000 | Anpassen vorh. Netz | 15.000 |
| | | | | Anpassen MSR und Elektro | 20.000 | Anpassen MSR und Elektro | 20.000 | Anpassen MSR und Elektro | 20.000 | Anpassen MSR und Elektro | 20.000 |
| Summe der Barwerte | A0+A1-Rw | € | 220.774 | | 1.120.000 | | 1.610.000 | | 2.960.000 | | 3.060.000 |
| Annuität | (A0+A1-Rw)*a | €/a | 24.240 | | 122.970 | | 176.769 | | 324.992 | | 335.972 |
| Barwert der Instandhaltungskosten | fk*A0*bIN | € | 43.718 | | 103.830 | | 371.603 | | 1.109.344 | | 1.163.991 |
| Annuität der Instandhaltungskosten | fk*A0*bIN*a | €/a | 4.800 | | 11.400 | | 40.800 | | 121.800 | | 127.800 |
| Annuität der kapitalgebundenen Zahlungen | €/a | | 29.040 | | 134.370 | | 217.569 | | 446.792 | | 463.772 |
| Verbrauchsgebundene Kosten | | | | | | | | | | | |
| Wärmeerzeugung | kWh/a | | 4.303.566 | Hackschnitzelkessel | 1.350.000 | BHKW | 1.872.000 | Brennstoffzelle | 1.440.000 | Brennstoffzelle | 1.440.000 |
| | | | | Spitzenlastkessel | 2.953.566 | Spitzenlastkessel | 2.431.566 | Spitzenlastkessel | 1.350.000 | Hackschnitzelkessel | 1.350.000 |
| | | | | | | | | | Spitzenlast | 1.513.566 | Spitzenlast |
| Energieverbrauch | kWh/a | | 4.781.740 | Hackschnitzelkessel | 1.588.235 | BHKW | 3.820.408 | Brennstoffzelle | 3.428.571 | Brennstoffzelle | 3.428.571 |
| | l/a | | 474.379 | Spitzenlastkessel | 325.569 | Spitzenlastkessel | 270.174 | Spitzenlastkessel | 315.649 | Hackschnitzel | 1.588.235 |
| | | | | | | | | | Spitzenlast | 166.839 | Spitzenlast |
| verbrauchsgebundene Zahlungen im ersten Jahr | €/a | | 284.627 | Hackschnitzelkessel | 25.412 | BHKW | 11.461 | Brennstoffzelle | 10.286 | Brennstoffzelle | 10.286 |
| | | | | Spitzenlastkessel | 195.342 | Spitzenlastkessel | 162.104 | Spitzenlastkessel | 189.389 | Hackschnitzel | 25.412 |
| | | | | | | | | | Spitzenlast | 100.104 | Hackschnitzelkessel |
| | | | | | | | | | | | Spitzenlast |
| Annuität der verbrauchsgebundenen Zahlungen | €/a | | 438.092 | | 339.779 | | 260.969 | | 301.789 | | 203.476 |
| Betriebsgebundene Auszahlungen | | | | | | | | | | | |
| Wartungskosten | | | 0,02 | Hackschnitzelkessel | 0,02 | BHKW | 0,02 | Brennstoffzelle | 0,02 | Brennstoffzelle | 0,02 |
| | | | | Spitzenlastkessel | 0,02 | Spitzenlastkessel | 0,02 | Spitzenlastkessel | 0,02 | Hackschnitzel | 0,02 |
| | | | | | | Biogasanlage | 0,02 | Biogasanlage | 0,02 | Biogasanlage | 0,02 |
| | | | | | | | | | Spitzenlastkessel | 0,02 | Spitzenlastkessel |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | 0,05 | Lüftung Schwimmbad | 0,05 | Lüftung Schwimmbad | 0,05 | Lüftung Schwimmbad | 0,05 | Lüftung Schwimmbad | 0,05 |
| betriebsgebundene Zahlungen im ersten Jahr | €/a | | 7.000 | | 8.000 | | 17800 | | 44800 | | 46800 |
| Preisänderungsfaktor | r | 1 | | | | | | | | | |
| Barwertfaktor Betrieb | bV | 9,107914005 | | | | | | | | | |
| preisdynamischer Annuitätsfaktor Betrieb | baB | 1 | | | | | | | | | |
| Annuität der betriebsgebundenen Zahlungen | €/a | | 7.000 | | 8.000 | | 17.800 | | 44.800 | | 46.800 |
| Sonstige Auszahlungen | | | | | | | | | | | |
| Annuität der sonstigen Auszahlungen | €/a | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 |
| Einzahlungen | | | | | | | | | | | |
| Vergütungen für Stromerzeugung | | | | | | | | | | | |
| Stromerzeugung | kWh/a | | | | | | 1.440.000 | | 2.000.000 | | 2.000.000 |
| EEG-Vergütungssätze | Grundvergütung ct/kWh | | | | | | 9,61 | | 9,61 | | 9,61 |
| | Biomasse-Bonus | | | | | | 6 | | 6 | | 6 |
| | KWK-Bonus | | | | | | 2 | | 2 | | 2 |
| | Technologiebonus | | | | | | 2 | | 2 | | 2 |
| | gesamt | | | | | | 17,61 | | 19,61 | | 19,61 |
| Annuität der Einzahlungen | €/a | | 0 | | 0 | | 253.584 | | 392.200 | | 392.200 |
| Gesamtannuität | €/a | | -474.132 | | -482.149 | | -242.754 | | -401.181 | | -321.848 |