

Effizienzrevolution im Kloster St. Ottilien

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Mauch

Geschäftsführer der
Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. und der
Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft mbH



1 Abstract

Das Kloster St. Ottilien liegt rund 40 km westlich von München und wurde 1884 gegründet. 2007 verzeichnete das Klosterdorf jährliche CO₂-Emissionen in Höhe von 2.500 Tonnen. Die damit verbundenen Umweltbedenken, aber auch die Kosten, veranlassten das Klosterdorf St. Ottilien dazu, seine CO₂-Emissionen durch eine Vielzahl von Maßnahmen zur Senkung des Verbrauchs fossiler Brennstoffe (rund 700.000 Liter Heizöl im Jahr) um 90 % zu reduzieren.

Es wurden ein umfangreiches Programm zur Wärmedämmung durchgeführt und ein hocheffizientes Fernwärmesystem installiert, das 45 Gebäude, einschließlich einer Schule und des Klosters selbst, versorgen kann. Eine thermografische Analyse des Gebäudebestands führte zu einer energieeffizienten Renovierung. Hierbei wurden Wärmedämmmaßnahmen durchgeführt, Fenster ausgetauscht sowie das Heizsystem und die Dampferzeugung gemessen und optimiert. Weiterhin wurden eine zentrale Wärmeversorgung mit zwei Holzpelletkesseln sowie eine mit Biogas arbeitende Kraftwärmekopplungsanlage installiert, die 90 % der Wärmeversorgung und 100 % der Stromversorgung des Klosters abdeckt.

Bis 2009 konnten so die CO₂-Emissionen auf etwa 500 Tonnen gesenkt werden, und 2010 ist nach der Inbetriebnahme der Biogasanlage ein Rückgang auf nur noch 250 Tonnen im Jahr zu verzeichnen. Durch ständige Modernisierungsmaßnahmen wird der Energiebedarf weiter zurückgehen, und es wird weniger Heizöl für Spitzenlasten benötigt. Dadurch werden die CO₂-Emissionen im Jahr 2020 gegen null gehen.

2 Einleitung

Warum wählten wir den Titel Energieeffizienzrevolution, da es doch in der Kirche kaum Revolutionen gab? Das Wort Revolution wurde dem spätlateinischen *revolutio* („das Zurückwälzen, die Umdrehung“) entlehnt, es wurde später auch allgemein für „Veränderung, plötzlicher Wandel, Neuerung“ gebräuchlich. Effizienz ist das Verhältnis zwischen Nutzen und Aufwand; die

durchschnittliche Energieeffizienz beträgt übrigens in der Bundesrepublik (Nutzenergie bezogen auf den Primärenergieaufwand) nur rd. 30 %. Das Schlagwort Effizienzrevolution wird im Zusammenhang mit einer Forderung nach schlagartiger Veränderung der vorhandenen Situation gerne verwendet. Es meint eigentlich, dass wir unseren Verbrauch stark reduzieren und den unvermeidbaren Bedarf möglichst nachhaltig mit geringster Belastung der begrenzt vorhandenen Ressourcen decken sollen. Dies ist für unsere Gesellschaft eine große Herausforderung, über die viel diskutiert wird.

Realisierbar wird diese jedoch erst dann, wenn man Hand anlegt, alle in Frage kommenden Aspekte kritisch prüft und die Lösungen gemeinsam umsetzt, wie dies am Beispiel St. Ottilien gezeigt werden kann.

Der Energiebedarf in Schulen liegt im Schnitt derzeit bei 200 kWh pro m² und Jahr (entspricht etwa 20 l Heizöl). Im Gebäudebestand der Bildungsgebäude werden insgesamt 20 Mio. MWh/a – davon 2/3 für Schulgebäude – verbraucht. Im Impulskreis Energie [1] wurde vorgeschlagen, in jedem Bundesland mindestens eine Schule so weit zu sanieren, dass ein Energiebedarf von umgerechnet weniger als 3 l Heizöl pro m² und Jahr resultiert. Die Gebäude sollen rd. 80 % weniger CO₂ emittieren und gleichzeitig die Betriebskosten erheblich absenken. Bei der Sanierung ist auf Substanzerhaltung, Behaglichkeitssteigerung, Betriebskostensenkung und gebäudetypische Sanierung zu achten. Hierbei sollen innovative Ideen und Erfahrungsaustausch zwischen den Objektteilnehmern dokumentiert werden, um die Konzepte schnell in die Praxis zu transferieren.

Diese Initiative wurde an die Mönche des Klosters St. Ottilien (**Abbildung 2-1**) herangetragen und stieß auf offene Ohren. Die Forschungsstelle für Energiewirtschaft (FfE) wurde beauftragt, ein Konzept zur Sanierung zu erarbeiten.



Abbildung 2-1: Kloster St. Ottilien

In **Abbildung 2-2** ist die Klosteranlage St. Ottilien maßstabsgetreu dargestellt. Aus versorgungstechnischer Sicht lässt sich das Klosterdorf in drei Einheiten gliedern: Das Kloster, das Rhabanus Maurus Gymnasium sowie das Exerzitenhaus. Kleinere Einheiten, wie Druckerei, Metzgerei, Gasthaus usw. wurden unabhängig von den Zentralen versorgt.

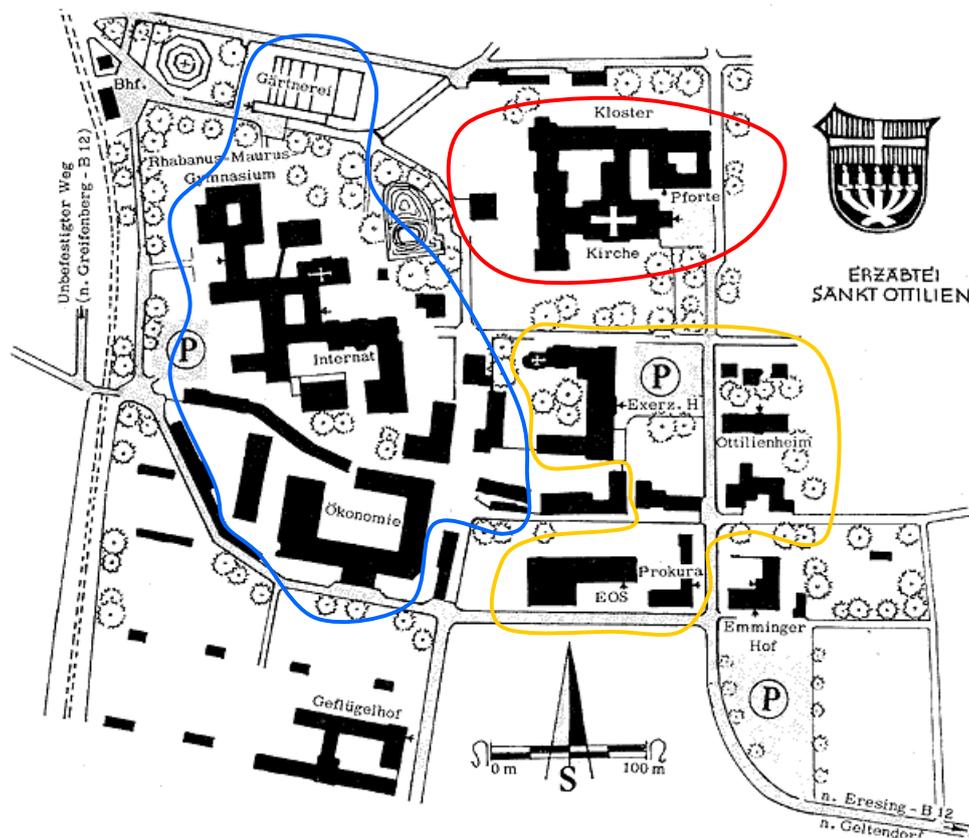


Abbildung 2-2: Die Klosteranlage St. Ottilien [2]

In St. Ottilien wurde in fünf Schrittfolgen nach Verbesserungspotenzialen gesucht:

- Vermeiden unnötigen Verbrauchs:
Unnötiger Verbrauch entsteht beispielsweise durch Überheizung von Räumen, technische Mängel, Leerlauf von Anlagen
- Senken des spezifischen Energieverbrauchs:
Wärmedämmung von Heizungsanlagen und Verteilsystemen sowie Raumumschließungsflächen
- Verbesserung der Wirkungs- und Nutzungsgrade:
Optimierte Brennereinstellung, Nutzung der Brennwertechnik, zweckmäßige Auslegung von Antrieben, Kraft-Wärme-Kopplung
- Energierückgewinnung:
Verbrennungsluftvorwärmung, Abwärmenutzung aus dem Rauchgas, mechanische Wohnungslüftung, Wärmepumpen zur Abwärmenutzung
- Nutzung regenerativer Energien:
Wärmepumpe, Biomasse-Systeme, solarthermische Erwärmung von Brauchwasser, Fotovoltaische Stromerzeugung

und dabei eine Vielzahl von Lösungsansätzen gefunden.

3 Durchführung

3.1 Gebäudesanierung

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 und den Denkmalschutz gestellt werden, können Außen-Dämmmaßnahmen nur eingeschränkt durchgeführt werden. Die größten Schwachstellen (z.B. Fenster, Dächer, Wärmebrücken etc.) sollten jedoch identifiziert und Abhilfemaßnahmen aufgezeigt werden. Erfahrungen zeigen, dass hier bei vergleichsweise geringen Investitionen oft bereits deutliche Energieeinsparungen möglich sind. Um die Betroffenen für dieses Thema zu sensibilisieren, wurden über 200 Wärmebildaufnahmen erstellt. Nachfolgende Bilder zeigen Schwachstellen sowie Effekte von Sanierungsmaßnahmen auf. Die beiden oberen Thermographien zeigen die Innenaufnahmen von teilsanierten Gebäuden. Links oben ist eine Decke zu sehen, deren vorderer Teil sich unter einem ausgebauten Dachgeschoß befindet; der hintere Teil des Dachgeschosses ist nicht ausgebaut und folglich auch nicht gedämmt. Das Bild rechts zeigt die Innenansicht zweier Fenster – das erneuerte Fenster rechts, das alte Fenster mit Einscheibenverglasung links.

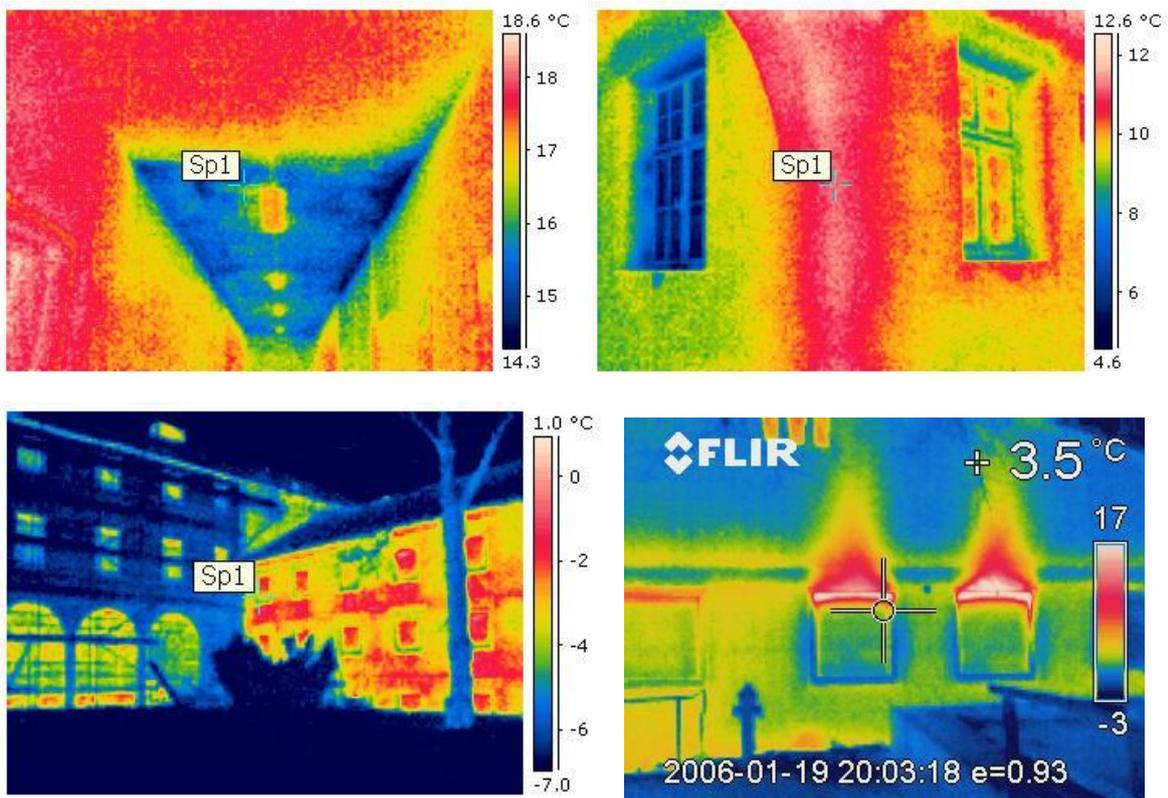


Abbildung 3-1: Ausgewählte Wärmebildaufnahmen des Klosters

Die beiden unteren Bilder sind Außenaufnahmen. Das Bild links zeigt den Vergleich zweier Gebäude gleichen Baualters. Der linke Teil wurde gerade saniert, der rechte befindet sich noch im Originalzustand; deutlich wird die Wärmestrahlung an die Umgebung. Das rechte Bild zeigt die Lüftungsverluste von gekippten Fenstern des Hallenbads. Bei einer Außentemperatur von -7 °C hat der Fenstersturz eine Temperatur von rd. 20 °C .

Der Gebäudekomplex des Rhabanus-Maurus-Gymnasiums wurde seit 1890 ständig erweitert, umgebaut und saniert. Bedingt durch das teilweise hohe Gebäudealter sind Bauschäden nahezu unvermeidlich. Bis dato wurden nur einzelne Gebäude bzw. Gebäudeteile saniert.

Die Untersuchung der Gebäudesubstanz hat gezeigt, dass einige Gebäudeteile stark sanierungsbedürftig sind. Vor allem die feuchten Keller mit der Durchfeuchtung der Außenwände, zum Teil bis ins Erdgeschoss (aufsteigende Feuchte), sind ein Dauerproblem. Auch die Fasadenschäden durch undichte Regenfallrohre nehmen zu, wenn keine Sanierung erfolgt. [3]

Im Zuge der Energieoptimierung des Klosters St. Ottilien stand eine energetische Sanierung des Rhabanus-Maurus-Gymnasiums zur Debatte. Diese energetische Sanierung ist nur sinnvoll, wenn sie gemeinsam mit der Sanierung der Bausubstanz einhergeht. Der Zeitpunkt erschien günstig, da die Sanierung der Bausubstanz ohnehin zeitnah durchgeführt werden sollte und sich durch die gleichzeitige energetische und bauliche Sanierung Kosteneinsparungen ergeben.

Die Schäden bzw. Sanierungsvorschläge werden wie folgt kategorisiert:

„A“: Feuchte Keller/Wände: Perimeterdämmung bzw. Kelleraußenwanddämmung

„B“: Fasadenschäden: Dämmen und neu verputzen

„C“: Dämmung des Daches bzw. der obersten Geschossdecke

„D“: Lüftung (zentral bzw. dezentral)

„E“: Neue Fenster

Die folgende **Tabelle 3-1** enthält eine Kategorisierung und Priorisierung der Bauschäden.

Tabelle 3-1: Kategorisierung der Bauschäden/Sanierungsmaßnahmen (Beispiele) [3]

Gebäude	Schadenskategorie/Sanierungsvorschlag (A – E) (N=notwendig, E=empfohlen)
Altbau mit Tagesheim/Internat (1891)	AN, BN, CE, DE, EN
Küchentrakt (1962)	BN, CE, EN
Gymnasium (1961/1990)	AN, BN, CE, DE, EN,EE
Hallenbad (1973)	CN, DN, EE
Seminarkirche (1962)	EE

Allgemein wird empfohlen, alle Maßnahmen aus obiger Tabelle umzusetzen, wobei alle Maßnahmen, die Bauschäden betreffen, hohe Priorität haben. Die Maßnahmen zur wärmetechnischen Sanierung an Fassaden ohne Schäden (wie z. B. bei der Fassade „Gymnasium 1990“) haben ebenso wie der Einbau der Lüftungsgeräte mittlere Priorität.

Die folgende **Abbildung 3-2** zeigt einen Grundriss der Schule und gibt einen Lageüberblick über die notwendige Perimeterdämmung. In analoger Weise werden die notwendigen bzw. empfohlenen Maßnahmen für Fenstertausch und Außenwanddämmung dargestellt. Der Austausch von Fenstern sollte wegen der Feuchteproblematik nur in Verbindung mit dem Einbau von Lüftungsgeräten durchgeführt werden.



Abbildung 3-3: Nordfassade Gymnasium, altes Treppenhaus (mit Glasbausteinen)

Der niedrige Dämmstandard der Außenwände wird in der Abbildung 3-4 (rechtes Bild) deutlich.



Abbildung 3-4: Nordfassade Gymnasium, Treppenhaus [4]

Abbildung 3-5 zeigt einen Ausschnitt der Sanierung, den Gang zum Hallenbad vorher und nachher. Der Gang war zuvor ungedämmt und mit Glassteinen verglast. Da sich in dem Gang die Haartrockner für die Schüler befinden, ist eine Beheizung notwendig. Der stetige Feuchteintrag durch die Haartrocknung verursacht Schimmel, welcher durch elektrische Luftentfeuchter etwas eingedämmt wurde. Im Rahmen des Konjunkturpakets der Bundesregierung wurden folgende Sanierungsmaßnahmen durchgeführt:

- Einbau von Lüftungsgeräten im Schwimmbad sowie Umkleiden und Eingangsbereich und auch im Gang zu Schule,
- Drainage, Abdichtung und Dämmung des Fundaments (Perimeterdämmung),
- Erneuerung und Dämmung des Daches,
- Fenstertausch,
- Wärmedämmung der Fassade.



Abbildung 3-5: Ungedämmter Gang zum Hallenbad mit Glasbausteinen und nach der Sanierung

3.2 Energieversorgung vor dem Umbau

Um Energiebilanzen bilden zu können, wurden für den Ist-Zustand und das neue Wärmenetz Messstellenpläne generiert. Dabei war es wichtig, die größten Verbraucher komplett zu erfassen. Aus Kostengründen wurden im alten System nur die Heizkessel in den drei Unterzentralen betrachtet. Durch den im Vergleich zu den Heizzentralen geringen Leistungsbedarf der beim Bau des Wärmenetzes zusätzlich angeschlossenen Gebäude wäre eine Messung in Anbetracht des Aufwands nicht sinnvoll gewesen - hier reichte auch eine Schätzung. Bei dem neuen System wurden gleich in der Bauphase Wärmemengenzähler integriert. [5]

Abbildung 3-6 zeigt eine schematische Darstellung des ursprünglichen Zustands. In den drei Heizzentralen waren je zwei Kessel für den Heizbetrieb und ein Dampfkessel für die Küche verbaut. Über kleine Wärmenetze wurden umliegende Gebäude versorgt. Um den Verbrauch und dessen zeitliche Auflösung erfassen zu können, wurden an jedem Heizkessel Ölzähler und Messaufnehmer installiert. Der Energieverbrauch des Dampfkessels im Kloster konnte wegen der räumlichen Entfernung zu den Heizkesseln nicht erfasst werden.

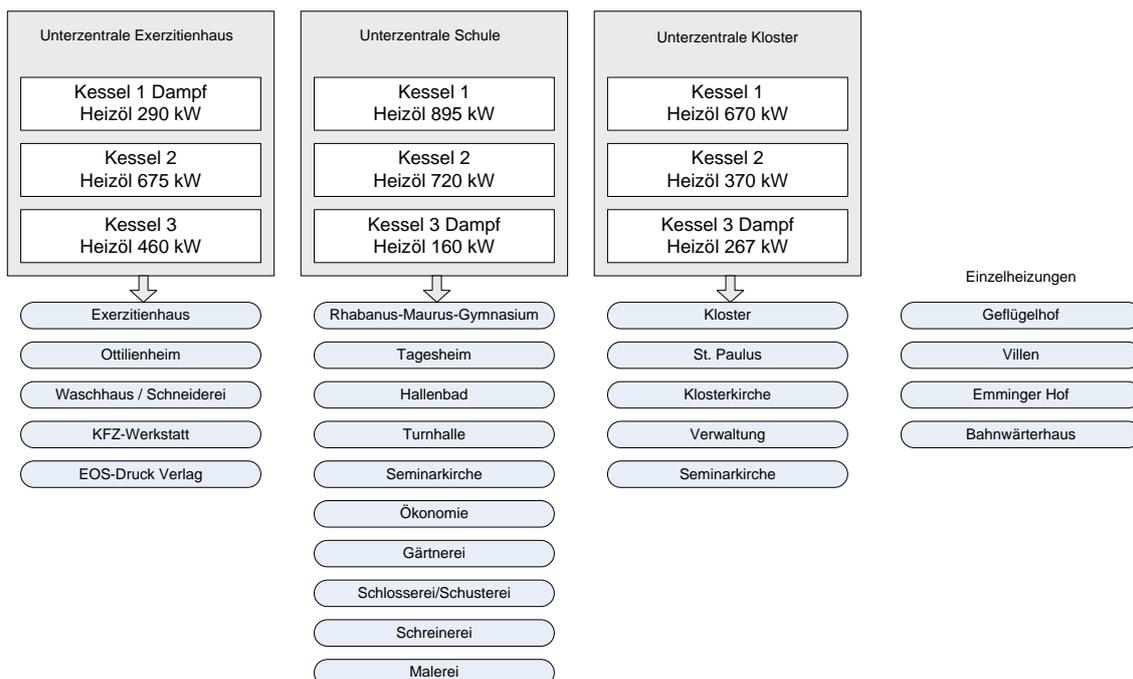


Abbildung 3-6: Schema der Wärmeerzeugung vor dem Umbau [5]

In jeder Heizzentrale waren zwei Heizkessel für Heizwärme- und Warmwassererzeugung installiert. Um bei Ausfall eines Kessels die Wärmeversorgung weiterhin gewährleisten zu können, waren beide Kessel etwa gleich groß dimensioniert und liefen parallel. So fielen an beiden Kesseln Wärmeverluste (Oberflächen- und Abgasverluste durch Warmhalten des Kesselwassers) sowie Anfahrverluste (beim Ausblasen des Kessels vor dem Start) an. Bei umfangreichen Messungen zeigte sich, dass die Regelung in allen Heizzentralen nur unzureichend oder gar nicht funktionierte. Beispielsweise takteten im Exerzitienhaus die Kessel zeitweise im Minutentakt und arbeiteten gegeneinander, d.h. wenn ein Kessel abschaltete, lief der andere an. Wenn Kessel 2 nachts die Temperatur absenkte, versuchte Kessel 3, diese Temperaturabsenkung durch längere Laufzeiten auszugleichen (siehe **Abbildung 3-7**).

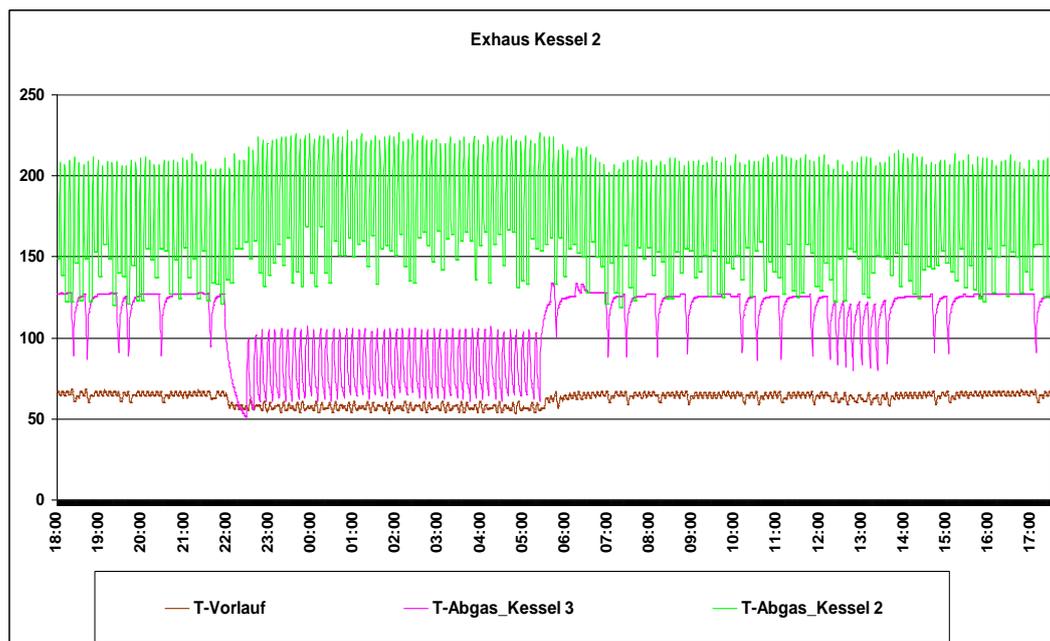


Abbildung 3-7: Abgastemperaturen von Kessel 2 und Kessel 3 im Exerzitienhaus

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. Da jeder Anfahr- und Stoppvorgang zu erhöhten Emissionen von Treibhausgasen führt, ist diese Betriebsweise nicht nur aus ökonomischen, sondern auch aus ökologischen Gesichtspunkten schlecht. Um den parallelen Lauf von zwei Heizkesseln zu vermeiden, gibt es zwei Möglichkeiten:

- Aufbau einer Kesselfolgesteuerung.
Ist dies nicht möglich, so kann stattdessen eine externe Steuerung beide Kessel so steuern, dass ein Kessel nur Grundlast, und der andere Kessel die Spitzenlast abdeckt
- Abschaltung eines Kessels.
Sind die Kessel so ausgelegt, dass ein Kessel für die meiste Zeit im Jahr ausreicht, so ist die günstigste Methode die Abschaltung und hydraulische Trennung des anderen Kessels.

In **Abbildung 3-8** sind die Wirkungsgradkennlinien eines parallelen Kesselbetriebs (rote Linie) und eines alternierenden Kesselbetriebs (grüne Linie) dargestellt. Da die beiden Kessel auf Grund der Überdimensionierung über den größten Teil der Betriebszeit bei sehr niedrigen Auslastungen betrieben wurden, lagen die durchschnittlichen Wirkungsgrade bei 50 bis 70 %, wenn die Kessel ohne übergeordnete Kesselsteuerung parallel arbeiteten. Allein die Abschaltung des größeren Kessels bei geringem Bedarf bewirkte eine Effizienzsteigerung um 20 bis 30 %. Durch diese Umschaltung

zwischen den Kesseln konnte gegenüber dem parallelen Betrieb ca. 10 % bis 12 % des jährlichen Heizölbezugs eingespart werden. Mit der Abschaltung von je einem Kessel pro Unterverteilung konnten ca. 127.000 EUR pro Jahr eingespart werden.

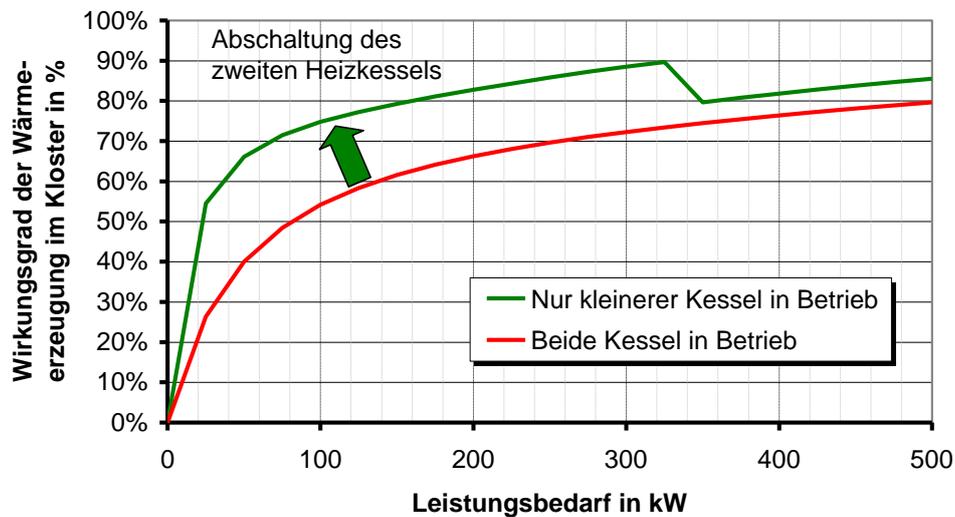


Abbildung 3-8: Vergleich des Wirkungsgrads von verschiedenen Kesselfahrweisen [5]

3.3 Neue Energieversorgung

Für das Wärmenetz wurde eine Energiezentrale mit zwei Hackschnitzelkesseln neu gebaut. Der Heizkessel 1 aus der Schule wurde als Spitzenlastkessel in die Heizzentrale umgesiedelt. Der Heizkessel 2 in der Schule wurde als Reservekessel für einen Ausfall des Wärmenetzes beibehalten. Die Heizkessel 2 und 3 im Exerzitienhaus, sowie 1 und 2 im Kloster wurden demontiert. Die drei Kessel der Heizzentrale speisen in einem Pufferspeicher ein, welcher das Wärmenetz versorgt (siehe **Abbildung 3-9**). Um die bestehenden Unterzentralen und Wärmenetze behalten zu können, werden diese von der Heizzentrale versorgt. Nur zu den bisher dezentral versorgten Gebäuden Geflügelhof, Gasthaus Emminger Hof und zum Bahnwärterhaus wurden neue Leitungen gelegt.

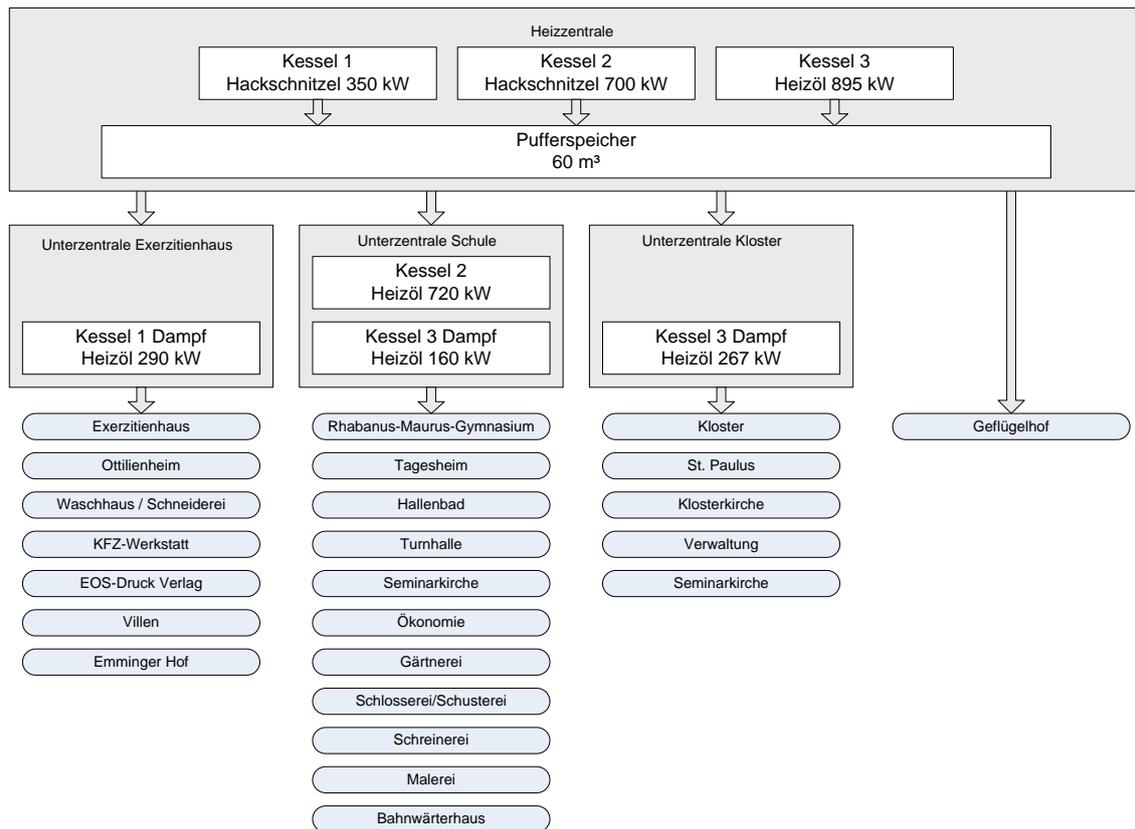


Abbildung 3-9: Schema der Wärmeerzeugung nach dem Umbau [5]

Da die maximale Heizleistung erheblichen Einfluss auf die Investitionskosten (ggf. Kauf eines zusätzlichen Kessels) hat, sollen messtechnische Untersuchungen neben der Ausweisung von Einsparpotenzialen auch Auskunft über die Dimensionierung der zu erstellenden Nahwärmeversorgung geben. Hierzu wurde eine, von der Außentemperatur abhängige, asymmetrische Sigmoidfunktion so angepasst, dass sie den gemessenen Tagesmittelwerten des Wärmeverbrauchs entsprach. Den einzelnen Tagen wurde wegen der großen thermischen Speichermassen der alten Gebäude eine gewichtete mittlere Außentemperatur über die letzten 4 Tage zugewiesen. Dies ergibt eine Auslegungsleistung von ca. 2 MW. Bei linearer Interpolation ergäbe sich eine Heizleistung von rd. 2,5 MW. Klar wird in jedem Fall, dass die bisherige Auslegung mit rd. 4 MW erheblich überdimensioniert war.

Um eine unwirtschaftliche Überdimensionierung des Grundlastkessels zu vermeiden, musste die Bedarfsreduktion durch die stetige Sanierung der Gebäude bedacht werden. Die geordnete Jahresdauerlinie in **Abbildung 3-10** zeigt den maximalen Leistungsbedarf sowie die minimale Leistung im gesamten Zeitbereich eines Jahres sowie die Deckungsmöglichkeit durch verschiedene Techniken. Die rote Linie zeigt den zu erwartenden Bedarf nach einer vollständigen Sanierung aller Gebäude. Da der Leistungsbedarf durch die in den kommenden Jahren geplante Sanierung erheblich reduziert werden soll, ist bereits heute eine optimale Dimensionierung des Fernwärmesystems zu planen.

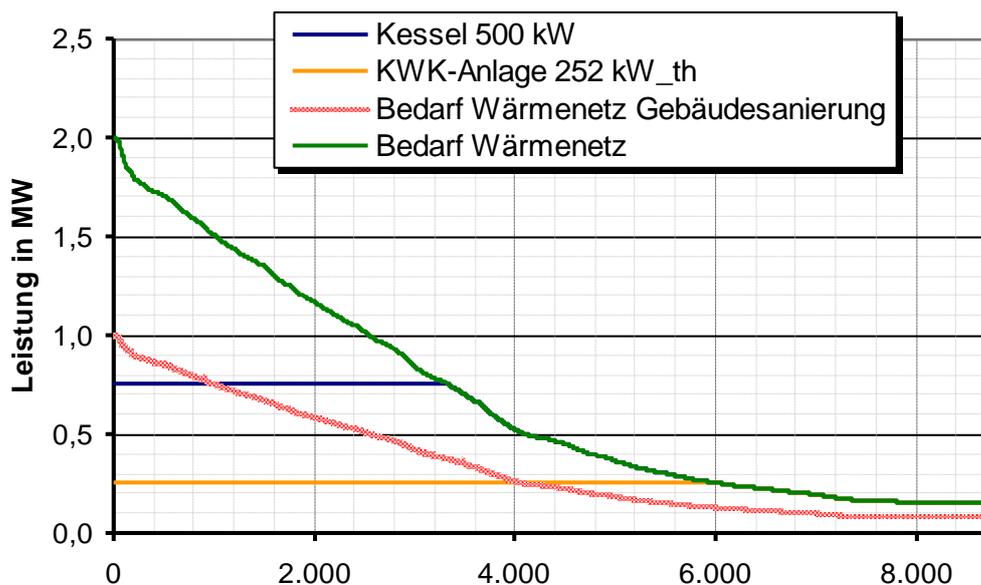


Abbildung 3-10: Dauerlinie des Heizenergiebedarfs vor und nach der Sanierung

3.4 Biogasanlage

Neben den aus eigenen Wäldern gewinnbaren Hackschnitzeln gibt es in St. Ottilien weitere, bisher ungenutzte Biomasse. Sie wird von ca. 320 Großvieheinheiten in Form von Gülle und Mist und auf 280 ha landwirtschaftlich genutzter Fläche in Form von Mais, Gras und Getreide erzeugt. Diese Biomasse kann in einer Biogasanlage zur gekoppelte Wärme- und Stromerzeugung (KWK) genutzt werden. Gegen den Einsatz von Futtermitteln zur Energiegewinnung in St. Ottilien gab lange Zeit große Bedenken. Deshalb führten wir im Rahmen einer Studienarbeit eine Wirtschaftlichkeitsberechnung einer Biogasanlage durch. Es wurden unterschiedliche Szenarien entwickelt, die vom reinen Einsatz von Grassilage und den tierischen Produkten Gülle und Mist über eine Veränderung der Bodenbewirtschaftung im Kloster bis hin zu einem zusätzlichen Kauf von Mais und gleichzeitiger Änderung der Bodenbewirtschaftung reichten. Für die einzelnen Szenarien ergaben sich dann unterschiedliche Mengen an nutzbarer Energie für die Erzeugung von Wärme und Strom. Aus der nutzbaren Energiemenge konnten die elektrischen und thermischen Leistungen von für die jeweiligen Einsatzstoffe geeigneten Biogasanlagen ermittelt werden (siehe **Tabelle 3-2**).

Tabelle 3-2: Betrachtete Szenarien und Einsatzstoffe für die Biogasanlage [6]

Szenariengruppe, Szenario	Einsatzstoffe für Biogasanlage	Nutzbare Energiemenge [kWh]	Elektrische Leistung [kW]	Nutzbare thermische Leistung [kW]
Status Quo				
Szenario 1	Grassilage, Gülle, Mist	1.415.219	83	86
Änderung Anbau				
Szenario 2	Grassilage, 5 ha Mais statt Raps, Gülle, Mist	1.688.819	99	102
Szenario 3	Grassilage, 5 ha Mais statt Raps, 30 ha Weizen-Ganzpflanzensilage (GPS)	2.759.819	161	167
Zukauf + Änderung Anbau				
Szenario 4	Grassilage, 5 ha Mais statt Raps, 1.500 t zugekaufter Silomais, Gülle, Mist	3.398.819	198	206
Szenario 5	Grassilage, 5 ha Mais statt Raps, 1.000 t zugekaufter Silomais, Gülle, Mist	2.828.819	165	172
Szenario 6	Grassilage, 5 ha Mais statt Raps, 500 t zugekaufter Silomais, Gülle, Mist	2.258.819	132	137

In Abbildung 3-11 ist die potenzielle Stromerzeugung der jeweiligen Varianten dargestellt. Variante 4 wurde so dimensioniert, dass der gesamte Strombedarf von St. Ottilien selbst gedeckt werden kann.

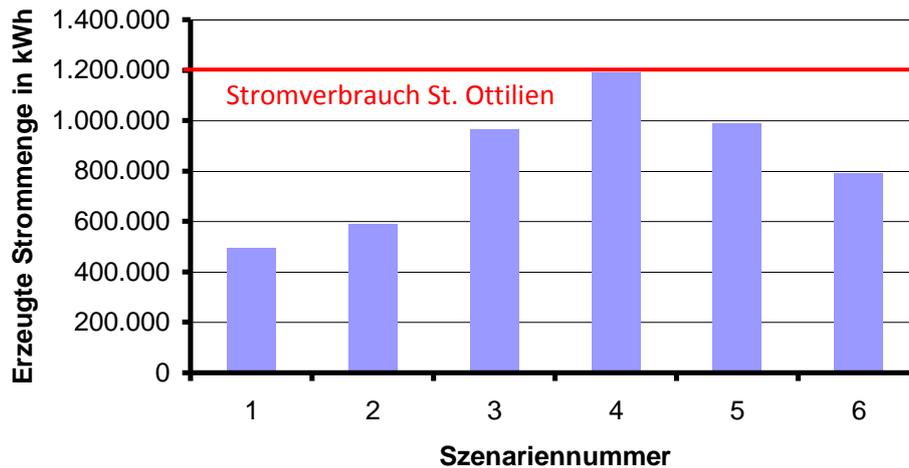


Abbildung 3-11: Erzeugte Strommenge bei den einzelnen Szenarien [6]

Über spezifische Kosten von Biogasanlagen und die Aufteilung der Gesamtkosten auf einzelne Kostenblöcke wurden anschließend die Ausgaben für die Biogasanlagen bei den unterschiedlichen Szenarien ermittelt. Mit verschiedenen Methoden der Wirtschaftlichkeitsberechnung wurde die Rentabilität der einzelnen Szenarien geprüft. Bei den verwendeten Methoden handelt es sich um die Kapitalwertmethode, die Annuitätenmethode und die Methode des internen Zinsfußes. Neben den Investitions- und Wartungskosten für die Biogasanlage fallen Kosten für die verwendeten Einsatzstoffe an. Außerdem verbraucht die Biogasanlage Strom, der vom Energieversorger bezogen wird. Zusätzlich fallen Versicherungs- und Arbeitskosten an. Einnahmen können durch den Verkauf von erzeugtem Strom mit der Vergütung nach den Erneuerbare Energien Gesetz, die eingesparte Menge an Hackschnitzeln und Öl aufgrund der Wärme, die von der Biogasanlage geliefert werden kann und dem Wert als Dünger, den die in der Biogasanlage eingesetzten Substrate nach der Vergärung haben, erzielt werden. Die Gegenüberstellung der Einnahmen und Ausgaben bei den verschiedenen Szenarien liefert das Ergebnis, dass sich bei allen Szenarien die Investition in eine Biogasanlage lohnt. Dies liegt vor allem an der ganzjährigen Wärmeabnahme für Warmwasserbereitung und das Schwimmbad.

Die Verzinsung des eingesetzten Kapitals erstreckt sich von ca. 31 % bis 42 %. Die Amortisationszeit ist mit 2,6 Jahren bis zu 3,6 Jahren sehr kurz. Die annuitätischen Gewinne betragen je nach Szenario zwischen ca. 70.000 € und 180.000 €. In **Abbildung 3-12** sind die annuitätischen Einnahmen und Ausgaben bei den verschiedenen Szenarien gegenübergestellt. Die annuitätischen Gewinne ergeben sich als Differenz dieser beiden Positionen. Sie sind in **Abbildung 3-12** als Pfeil dargestellt. Aus der Aufschlüsselung der Einnahmen und Ausgaben ist zu erkennen, dass die größten Kosten die Investitionskosten und die Substratkosten darstellen. Die größten Einnahmen werden durch den Stromerlös sowie die Einsparung von Hackschnitzeln und Öl erzielt.

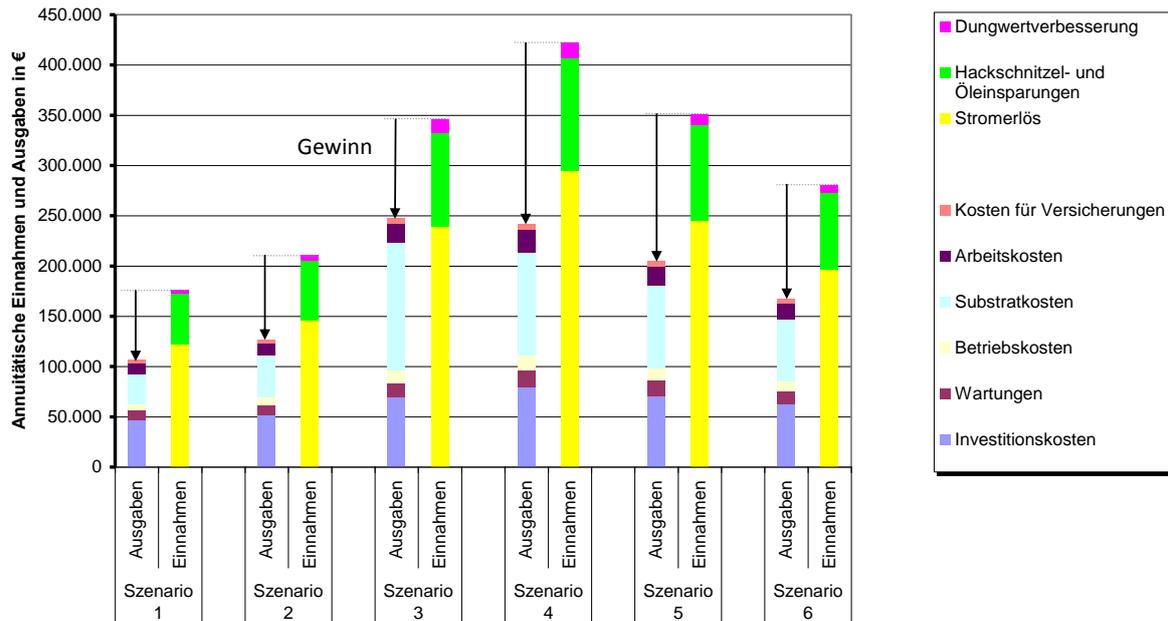


Abbildung 3-12: Einnahmen und Ausgaben bei den verschiedenen Szenarien [6]

Letztendlich waren diese Berechnungen für alle Beteiligten sehr überzeugend, so dass ein mit Biogas betriebenes Blockheizkraftwerk (BHKW) realisiert wurde. Dessen Leistung übertrifft die in den Szenarien betrachtete bei Weitem. Die 2010 fertiggestellte Anlage verfügt über eine elektrische Leistung von 250 kW und einer thermischen Leistung von 310 kW. Schon jetzt kann dadurch eine Strommenge von mehr als 1,5 Mio. kWh pro Jahr bereitgestellt werden, was den Eigenverbrauch der Klosteranlage übertrifft.

In einer dritten Stufe soll die Kombination BHKW und Biogasanlage auf eine elektrische Leistung von 500 kW erweitert werden (620 kW thermisch). Diese Erweiterung wird voraussichtlich bis 2014 abgeschlossen sein.

4 Ergebnisse

In **Abbildung 4-1** ist die über je eine Stunde gemittelte Leistung in kW kumuliert über alle Heizkessel dargestellt. Die maximale Leistung beträgt 2,36 MW. Der steile Anstieg im Bereich der höchsten Leistung ist auf Anlagentests zurück zu führen. Das Bild zeigt, dass schon im ersten Jahr ca. 70 % der in der Messperiode benötigten Wärme von 3.834 MWh regenerativ von den Hackschnitzelkesseln bereitgestellt wurden. Allein Kessel 2 generierte fast die Hälfte der benötigten Wärme. Unter der vereinfachten Annahme, dass die Hackschnitzel CO₂-frei sind, wurden damit ca. 1.136 t CO₂ in der Messperiode vom 01.12.2008 bis 03.04.2009 eingespart.

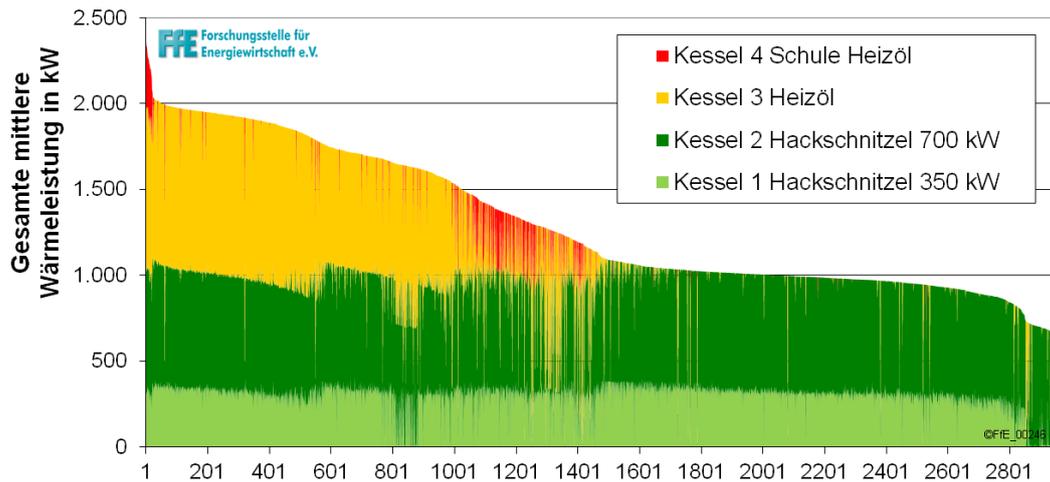


Abbildung 4-1: Sortierte Dauerlinie des Heizkesseleinsatzes

Abbildung 4-2 zeigt die voraussichtliche Dauerlinie im Jahr 2014. Nach einer entsprechenden Erweiterung wird die Biogasanlage eine thermische Leistung von rd. 620 kW erbringen können. Der Heizöleinsatz wird über einen großen Zeitraum verdrängt. Da in den kommenden Jahren viele Gebäude energetisch komplett saniert werden, wird sich der Spitzenbedarf im Winter weiter reduzieren, sodass dann die Ölheizung nur noch als Notaggregat eingesetzt werden wird.

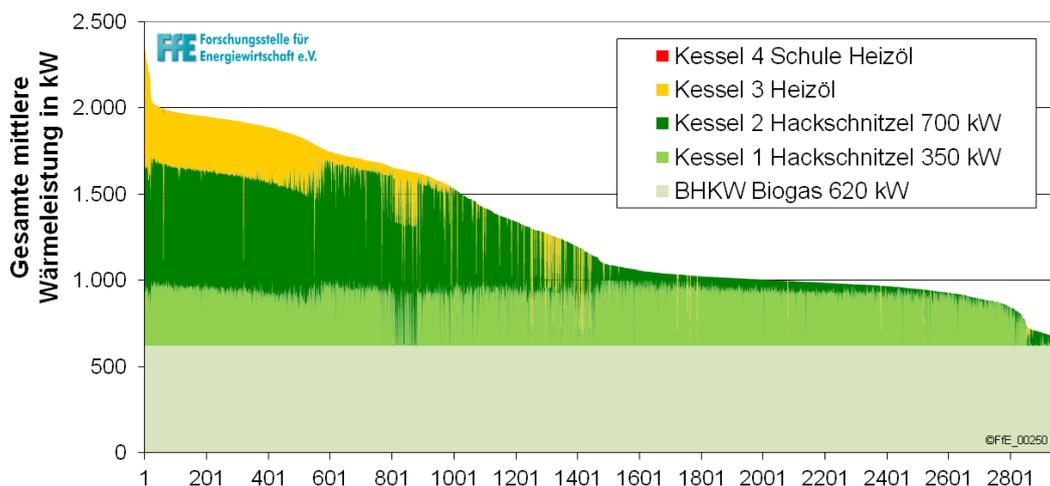


Abbildung 4-2: Sortierte Dauerlinie des voraussichtlichen Energieeinsatzes in 2014

Abbildung 4-3 zeigt den Energieträgereinsatz für Wärmeerzeugung in St. Ottilien seit 2007, mit Abschätzung bis zum Jahr 2014.

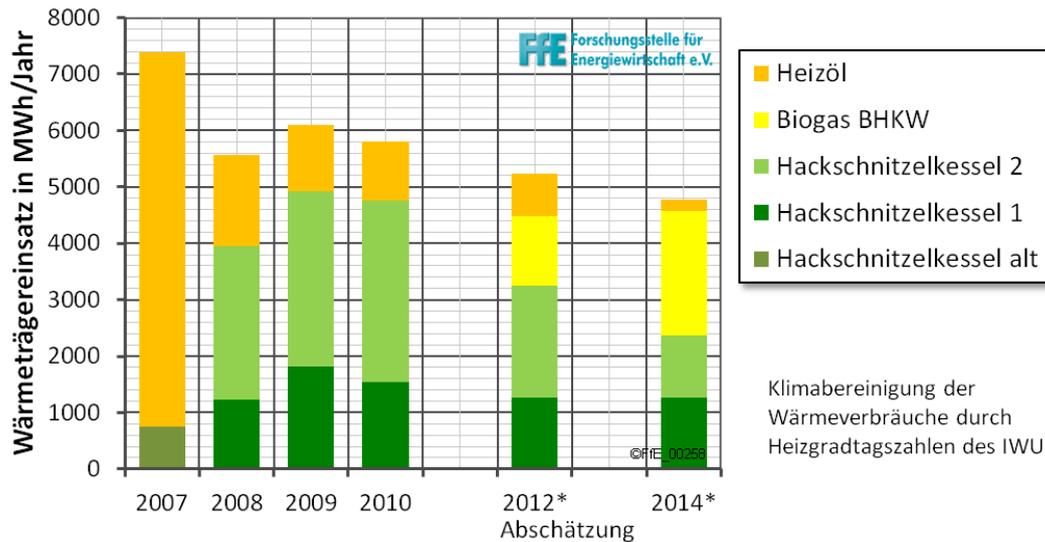


Abbildung 4-3: *Energieträgereinsatz für Wärmeerzeugung in St. Ottilien mit Abschätzung bis zum Jahr 2014*

Die Abbildung zeigt zum einen die deutliche Reduktion der eingesetzten Gesamtmenge an Energieträgern von 2007 bis 2014, was sowohl durch den geringeren Verbrauch sanierter Gebäude als auch durch effizientere Anlagen bedingt ist. Zum anderen ist deutlich der Wechsel vom fossilen Energieträger Heizöl zu den erneuerbaren Energieträgern Holz und Biogas zu erkennen. Bereits heute lassen sich 90 % der Wärmeversorgung und 100 % der Stromversorgung aus regenerativen Energieträgern decken.

5 Fazit

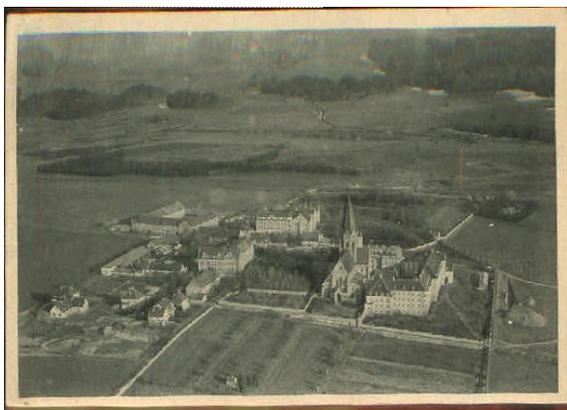
Mit den durchgeführten Maßnahmen verfügt das Kloster St. Ottilien über eines der fortschrittlichsten Energiekonzepte. Es kann damit auch als Grundkonzept für andere Dörfer und Gemeinden gesehen werden, insbesondere auch dann, wenn bei der Sanierung Aspekte des Denkmalschutzes beachtet werden müssen.

Vor diesem Hintergrund wurde das Energiekonzept St. Ottilien erst kürzlich für den europäischen Energiepreis „ManagEnergy Local Energy Action Award 2011“ nominiert. Mit diesem Preis werden jedes Jahr herausragende im Bereich erneuerbare Energien und Energieeffizienz ausgezeichnet, mit Schwerpunkt auf lokaler und regionaler Ebene. Die diesjährige Preisverleihung fand am 13. April 2011 in Brüssel statt, die Auszeichnung wurde mir von EU-Kommissar Günther Oettinger übergeben.

Dieses Beispiel zeigt anschaulich, wie eine ressourcenschonende Energienutzung unter gleichermaßen rationalen wie auch rationellen Gesichtspunkten umgesetzt werden kann. Ein bewusster Umgang mit Energie in allen Bereichen der Gesellschaft kann den Weg hin zu einer neuen Energierationalität ebnen.

Nachfolgend eine Auswahl an Bildern des Klosters und der neu installierten Anlagen:







6 Literatur

- [1] Hogrefe, J.; Bradke, H.: Impulskreis Energie in der Initiative Partner für Innovation – Abschlussbilanz. ISBN 978-3-8167-7234-7, Fraunhofer IRB Verlag, 2006
- [2] Erzabtei St. Ottilien, www.ottilien.de , 01.12.2005
- [3] Mauch, W.; Höpler, K.: Energetische Sanierung und innovative Energieversorgung in der Erzabtei St. Ottilien. Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. (FfE), 2006.
- [4] Gobmaier, Thomas Dipl.-Ing.; Köll, Lorenz, Dipl.-Ing.; Mauch, Wolfgang Prof. Dr.-Ing.: Bauphysikalische Analyse der Schule in St. Ottilien. München: Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. (FfE), 2009
- [5] Gobmaier, Thomas Dipl.-Ing.; Krall, Sybille; Mauch, Wolfgang Prof. Dr.-Ing.: CO₂-Verminderung in St. Ottilien - Messung und Konzepterstellung zur Verminderung der CO₂-Emissionen. München: Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. (FfE), 2009
- [6] Seiler, Johannes: Ökonomische und ethische Betrachtung einer Biogasanlage in St. Ottilien - Studienarbeit. München: TU München, 2008