

Leuchtturm Kloster St. Ottilien

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Mauch

Dipl.-Ing. Thomas Gobmaier

1 Abstract

Die energetische Sanierung einschließlich der Modernisierung der Energieversorgung des Klosterdorfs St. Ottilien mit Schule, Exerzitienhaus und Kloster führen zu einer Reduzierung der CO₂-Emissionen um 80 %.



Abbildung 1: *Kloster St. Ottilien*

Um das Potenzial zur Effizienzsteigerung und zur Nutzung regenerativer Energien festzustellen, wurden das Kloster, die Gebäude des zugehörigen Klosterdorfs und die Energieversorgung nach einer Ortsbegehung analysiert, energetisch bewertet und es wurde anhand des Dämmstandards der aktuelle Energieverbrauch berechnet [1]. Durch Maßnahmen, wie Dämmung der Dächer, Fassaden und Kellerdecken sowie Austausch der Fenster wurde ein Einsparpotenzial von ca. 40 % ermittelt, wodurch ca. 540 t CO₂ – Emissionen jährlich vermieden werden könnten. Als Übergangslösung sind im Bereich der Anlagentechnik bereits durch eine Ertüchtigung der Regelungstechnik Energieeinsparungen von ca. 30 % möglich. Eine gemeinsame Energiezentrale mit der Installation eines Nahwärmenetzes erweist sich als sinnvoll, da mit einer Hackschnitzelanlage heimische Energieträger aus dem Eigenanbau genutzt und rd. 80 % des Ölbedarfs substituiert werden können. Den Spitzenbedarf können die alten Kessel decken.

Da ca. 300 Großvieheinheiten, ca. 100 Schweine und ca. 3.000 Hühner ausreichend Substrat für den Betrieb eines Fermenters liefern und ergänzend aus dem Ackerbau genügend Mais und Getreide zur Verfügung stehen, sollte das Gesamtsystem durch eine KWK – Anlage zur Biogasnutzung ergänzt werden.

Die Investitionen für die bauliche Sanierung und die Kosten für die Erneuerung der Anlagentechnik amortisieren sich in ca. zehn Jahren.

2 Einleitung

Der Energiebedarf in Schulen liegt im Schnitt derzeit bei 200 kWh pro m² im Jahr (20 l Heizöl). Im Gebäudebestand der Bildungsgebäude werden 20 Mio. MWh/a, davon 2/3 für Schulgebäude verbraucht. Rund 20.000 Schulhäuser in Deutschland belasten die Haushalte erheblich. Im Impulskreis Energie [2] wurde vorgeschlagen in jedem Bundesland mindestens eine Schule auf den Energiebedarf von umgerechnet weniger als 3 l Heizöl pro m² und Jahr zu sanieren. Die Gebäude sollen rd. 80 % weniger CO₂ emittieren und die Betriebskosten erheblich absenken. Bei der Sanierung ist auf Substanzerhaltung, Behaglichkeitssteigerung, Betriebskostensenkung und gebäudetypische Sanierung zu achten. Wissenschaftliche Begleitung soll innovative Ideen und Erfahrungsaustausch zwischen den Objektteilnehmern dokumentieren, um die Konzepte schnell in die Praxis zu transferieren.

Diese Initiative wurde an die Mönche im Kloster herangetragen und stieß auf offene Ohren. Die Forschungsstelle für Energiewirtschaft (FfE) wurde beauftragt, ein Konzept zur Sanierung zu erarbeiten.

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

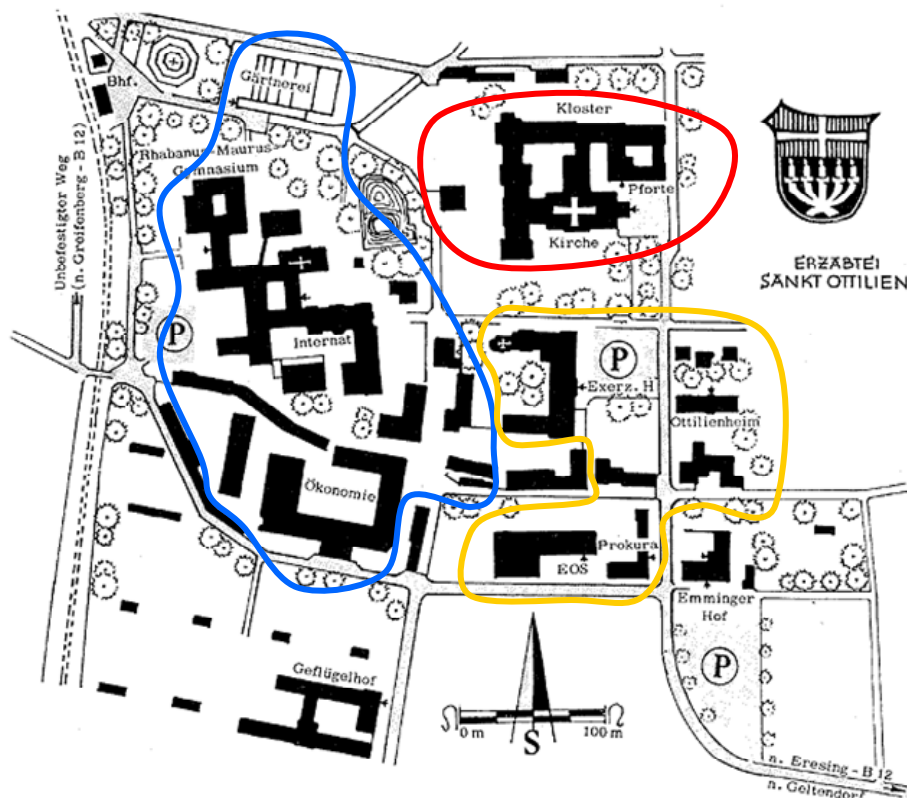


Abbildung 2: Die Klosteranlage St. Otilien /OTT/ /JAK 05/

3 Vorgehensweise

Klassischer Weise lassen sich die Methoden der Effizienzsteigerung in fünf Schrittfolgen gliedern:

- 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 Brennwerttechnik, 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.

Diese Aspekte wurden in St. Ottilien untersucht, dabei wurde eine Vielzahl von Lösungsansätzen gefunden.

4 Ist-Zustand

4.1 Gebäude

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 Außen-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 [3]. Um die Betroffenen für dieses Thema zu sensibilisieren wurden über 200 Wärmebildaufnahmen erstellt. Nachfolgende Bilder (**vgl. Abbildung 3**) 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 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.

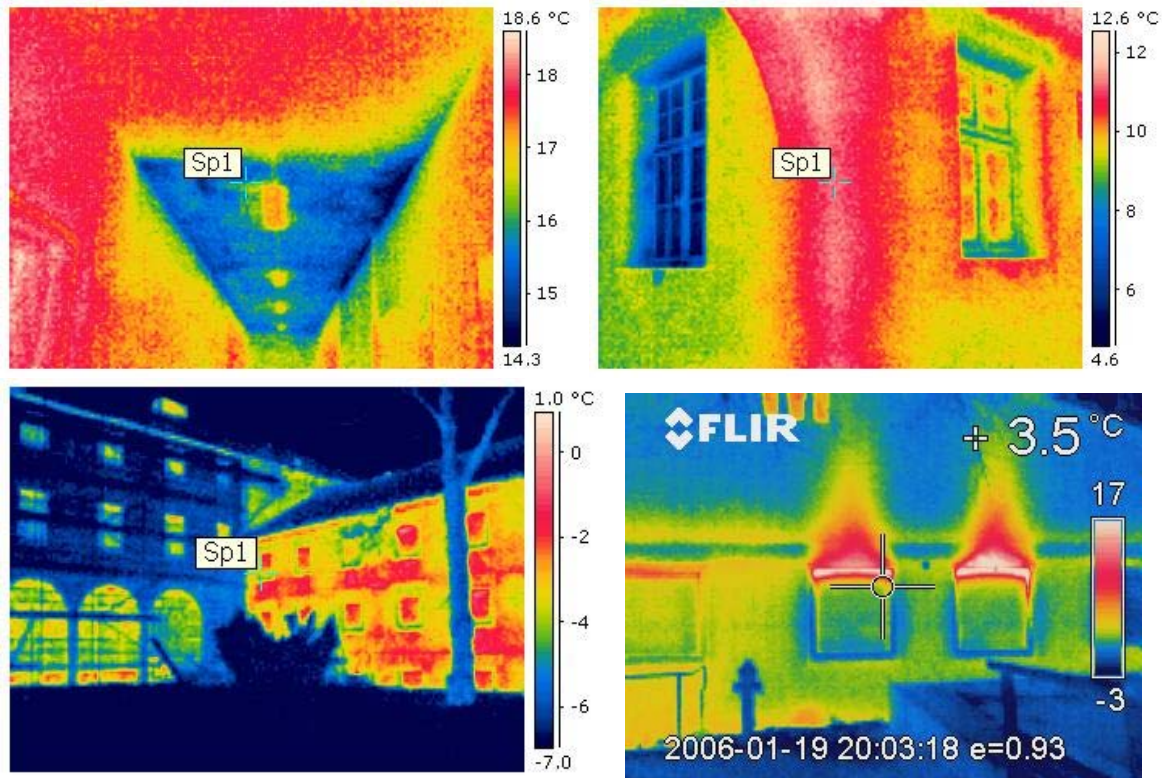


Abbildung 3: Ausgewählte Wärmebildaufnahmen des Klosters

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 .

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: Zweisheibenverglasung
- C: saniertes Fenster

3. Dach:

- A: Eine komplette Sanierung ist sofort erforderlich (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 1** sind auszugsweise die Ergebnisse der Ortsbegehung nach oben beschriebenem Schema am Beispiel der Schule zusammengestellt.

Tabelle 1: *Beurteilung der Gebäudesubstanz des Gymnasiums St. Ottilien*

Gebäude	Gebäudeteil	Details	Fenster				Fassade				Dach	Keller
			Nord	Süd	West	Ost	Nord	Süd	West	Ost		
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	B	
	Altbau etwa 1959		A	C		A	B	B		B	B	
	Gang zur Seminarkirche		B	B	B	B	B	B	B	B	B	
	Festsaaltrakt 1959		B		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	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	

4.2 Energietechnik

Die drei Heizzentralen haben eine gesamte installierte Leistung von 3,9 MW. Um bei Ausfall eines Kessels weiterhin heizen zu können, sind in jeder Heizzentrale zwei Kessel installiert. **Bild 4** zeigt die Aufteilung der Kesselleistungen und des Verbrauchs auf die einzelnen Heizzentralen.

Die Heizzentrale des Gymnasiums hat von allen Versorgungssystemen den höchsten Brennstoffverbrauch mit etwa 260.000 l Heizöl pro Jahr. Danach folgen die Heizzentrale Exerzitienhaus mit ungefähr 200.000 l Heizöl und schließlich die Heizzentrale Kloster mit etwa 180.000 l pro Jahr. Insgesamt ergibt sich daraus ein jährlicher Brennstoffverbrauch von rund 640.000 l Heizöl pro Jahr für die Klosteranlage. Das entspricht einem Endenergieverbrauch von 6,4 Mio. 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 7,3 Mio. kWh Energie im Jahr.

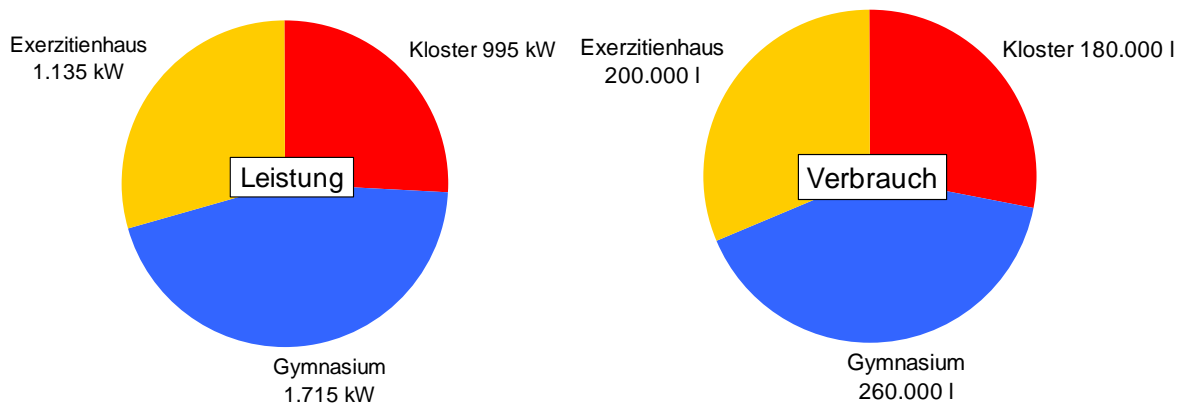


Abbildung 4: Aufteilung der Leistung und des Energiebedarfs

5 Analyse des Verbrauchs

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. Beispielsweise takteten im Exerzitienhaus die Kessel zeitweise im Minutentakt und arbeiten gegeneinander (**Abbildung 5**), 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.

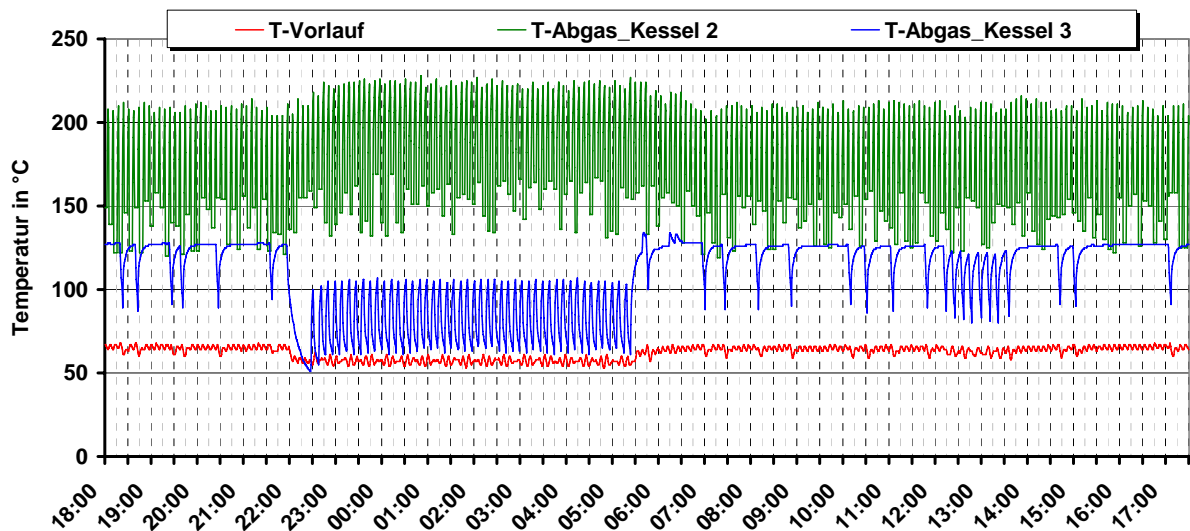


Abbildung 5: Abgastemperaturen von Kessel 2 und Kessel 3 im Exerzitienhaus

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. **Abbildung 6** zeigt den Nutzungsgrad von zwei gegeneinander arbeitenden Kesseln im Vergleich zu einem Kessel. Da die beiden Kessel auf Grund der Überdimensionierung über den größten Teil der Betriebszeit bei sehr niedrigen Auslastungen betrieben werden, liegen die durchschnittlichen Wirkungsgrade bei 50 bis 70 %, wenn die Kessel ohne übergeordnete Kesselsteuerung parallel arbeiten. Allein die Abschaltung des größeren Kessels bei geringem Bedarf bewirkt eine Effizienzsteigerung von 20 bis 30 %. Dies kann manuell oder durch eine übergeordnete Kesselsteuerung erreicht werden.

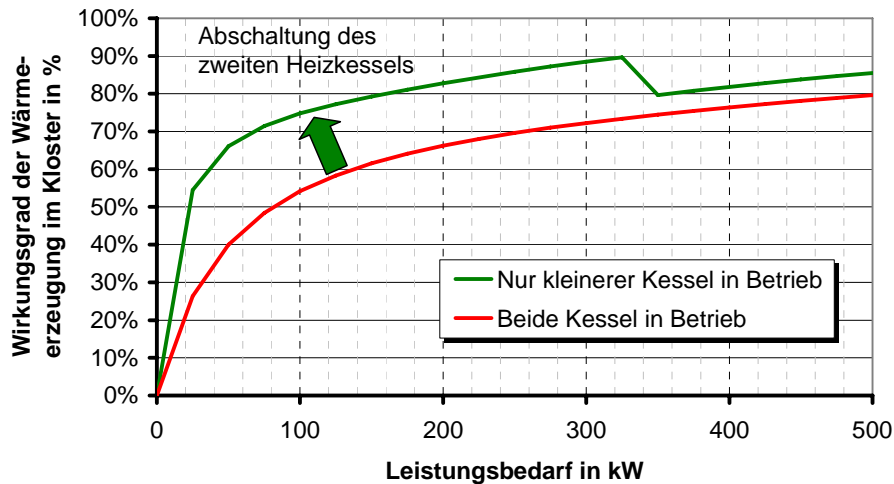


Abbildung 6: Wirkungsgrad zweier Wärmeerzeuger bei unterschiedlicher Einsatzweise

Als Sofortmaßnahme wurde vorgeschlagen, jeweils einen Kessel sofort abzuschalten und diesen auch hydraulisch vom Netz zu trennen, um Wärmeverluste zu vermeiden. In einem weiteren Schritt sollte die Steuerungen bzw. Regelungen der einzelnen Heizkessel überprüft und deren Zusammenspiel genauer abgestimmt werden.

Zur Versorgung der drei Großküchen ist in jeder Heizzentrale ein Dampferzeuger installiert. Die Analyse des Heizölverbrauchs zur Dampferzeugung zeigte den erwarteten Zusammenhang zwischen Betriebszeiten (Wärmebedarf in den Küchen) und Zeiten ohne Betrieb, zu denen die Dampferzeuger nur die im Dampfnetz auftretenden Verluste kompensieren. Es zeigte sich, dass zwischen 25 und ca. 70 % des Heizölbedarfs zur Dampferzeugung nur zur Deckung der Wärmeverluste verwendet werden. Zur Verringerung dieser Verluste wurden Zeitschaltuhren installiert, welche die Dampferzeuger nachts abschalten. In **Abbildung 7** ist der über mehrere Wochen gemittelte Dampfbedarf der Werktage ohne und mit Nachtabschaltung dargestellt. Allein die Abschaltung von 20:00 Uhr bis 6:00 Uhr in der Schule bringt eine Einsparung von ca. 2.000 EUR/a.

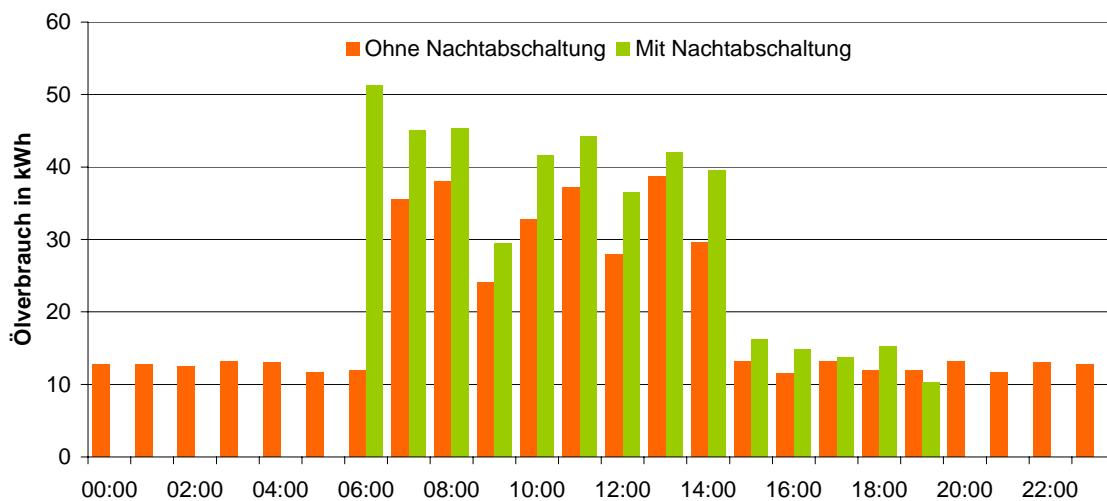


Abbildung 7: Lastgang des Dampfbedarfs Schule ohne und mit Nachtabschaltung

Eine Reduzierung des Dampfbedarfs könnte z.B. die Vorwärmung des Geschirrs in Wärmeschränke mit Heißwasser oder verbrauchernah aufgestellte Schnelldampferzeuger ermöglichen. Selbst eine Umstellung der Spülmaschinen auf elektrische Beheizung ist durch die hohen Wärmeverluste des Dampfnetzes ökologisch und ökonomisch sinnvoll. Eine Zusammenlegung der drei Küchen zu einer Großküche ist aus organisatorischen Gründen leider kaum zu realisieren.

6 Dimensionierung der Nahwärmeversorgung

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 8** (links) zeigt den maximalen Leistungsbedarf sowie die minimale Leistung im gesamten Zeitbereich eines Jahres sowie die Deckungsmöglichkeit durch verschiedene Techniken. Das rechte Bild 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.

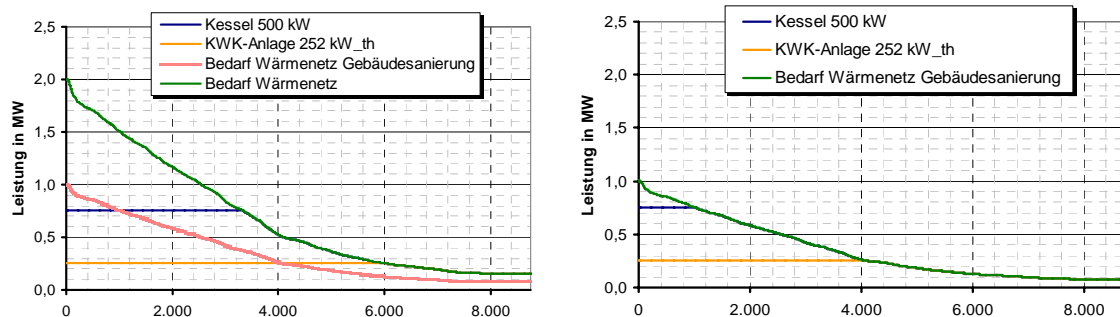


Abbildung 8: Dauerlinie des Heizenergiebedarfs vor und nach der Sanierung

7 Zusammenfassung

Die Sanierung der Klosteranlage St. Ottilien kann in drei Schritten erfolgen. Als Erstes müssen die defekten Gebäudeteile zur Erhaltung der Bausubstanz erneuert und gleichzeitig gedämmt werden. Danach können weitere bauliche Maßnahmen zur energetischen Sanierung nach und nach durchgeführt werden. Parallel dazu sollte die Energieversorgung umgebaut werden. Mit der Sanierung der Liegenschaften in den kommenden Jahren kann der Bedarf um 30 bis 50 % reduziert werden.

Die neue Energieversorgung sollte die Nutzung aller vorhandener Biomasse aus eigener Produktion beinhalten und zu einer kostengünstigen und ökologischen Lösung führen. Die Nutzung der Biomasse ist nur in Verbindung mit dem Neubau einer Energiezentrale möglich, da dadurch die verschiedenen Techniken integriert werden können. Eine günstigste Möglichkeit, die gleichzeitig die Nutzung der gesamten zur Verfügung stehenden Biomasse ermöglicht, ist eine Hackschnitzelheizung in Verbindung mit einer Biogasanlage. Biogaserzeugung aus Gülle und Mist von 300 Großvieheinheiten, ca. 100 Schweinen und ca. 3.000 Hühnern, ergänzt durch zusätzliche Energieträger, wie Mais und Weizen können die KWK-Anlage ganzjährig beliefern. Neben der Optimierung der Energieversorgung wird die Umstellung auf Biomasse zu einer nachhaltigen und kostengünstigen Lösung führen. Der Spitzenbedarf kann durch zwei Spitzenlastkessel (Ölkessel aus dem Bestand) bedeckt werden. Durch die Nahwärmeversorgung der drei großen Liegenschaften, Schule, Exerzitienhaus und Kloster, kann eine Grundlast von ca. 250 kW über nahezu 8.000 Stunden erreicht werden. Diese eignet sich in idealer Weise für Kraft-Wärme-Kopplung.

St. Ottilien verfolgt das Ziel, 80 % der CO₂-Emissionen einzusparen. Mit dem Bau der Nahwärmeversorgung wurde bereits begonnen und ausgewählte Liegenschaften wurden bereits saniert. Das Kloster trägt dadurch zur Schonung der begrenzt verfügbaren fossilen Rohstoffe, wie Erdöl und Erdgas bei. Es verringert dadurch die Abhängigkeit von Energieimporten. Biomasse führt durch das dezentrale Vorkommen, vor allem im ländlichen Bereich, zu einer Unabhängigkeit und Eigenständigkeit von fossilen Energieträgern. Es fördert durch die Wertschöpfung in der Region die dezentrale Gewinnung von Energie aus Biomasse im ländlichen Raum. Die Ausgaben für die Energie verbleiben in der Region. Dies fördert die Regionalentwicklung, da dort der Kreislauf der Wertschöpfung geschlossen bleibt, getreu dem Motto: "Aus der Region, für die Region". Es fördert zudem den Erhalt und die Schaffung von Arbeitsplätzen. Der Leuchtturm St. Ottilien ist auf einem guten Weg.

Literatur:

[1] Mauch, W.; Höpler, K.: Energieoptimierung Kloster St. Ottilien (Machbarkeitsstudie zur energetischen Sanierung der Erzabtei St. Ottilien), Forschungsstelle für Energiewirtschaft, 2007

[2] Hogrefe, J.; Bradke, H.: Impulskreis Energie in der Initiative Partner für Innovation – Abschlussbilanz. ISBN 978-3-8167-7234-7, Fraunhofer IRB Verlag, 2006

[3] Lilleike, J.; Schmittinger, C.: Potenzialabschätzung – Ermittlung des energetischen Einsparpotenzials durch wärmetechnische Sanierung von Wohngebäuden in Bayern. Verbundprojekt ISOTEG, FfE 2002