

Leuchtturmprojekt

Wärmeversorgungs- konzept Kloster St. Ottilien

Durch Dämmmaßnahmen und einzelne, intelligent verknüpfte Technologien, soll die Einsparung von bis zu 2 100 t CO₂ erreicht werden. Ein Wärmekonzept für das Kloster St. Ottilien, nahe des Ammersees, ermöglicht dieses Ziel. Die Ertüchtigung der Kesselsteuerung sowie der Bau eines Nahwärmenetzes sind erste Schritte. Dabei wurden alle Energieversorgungspunkte auf den Prüfstand gestellt. Die Autoren stellen das Wärmekonzept vor.

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

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 und energetisch bewertet. Zusätzlich 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 rd. 40 % ermittelt, wodurch rd. 540 t CO₂-Emissionen jährlich vermieden werden können.

Als Übergangslösung sind im Bereich der Anlagentechnik bereits durch eine Ertüchtigung der Regelungstechnik Energieeinsparungen von rd. 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 rd. 300 Großvieheinheiten, rd. 100 Schweine und rd. 3 000 Hühner ausreichend Substrat für den Be-

trieb 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 rd. 10 Jahren.

Allgemeines

Der Energiebedarf in Schulen liegt im Schnitt derzeit bei 200 kWh/m² im Jahr (20 t 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 t 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. Eine wissenschaftliche Begleitung soll innovative Ideen und den Erfahrungsaustausch zwischen den Objektteilnehmern dokumentieren, um die Konzepte schnell in die Praxis zu transferieren.



Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Mavch (l.), Geschäftsführer, und Thomas Göbmaier, wissenschaftlicher Mitarbeiter, der Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. (FE), München



Bild 1. Benediktiner Kloster St. Ottilien im Landkreis Landsberg am Lech

Diese Initiative wurde an die Mönche im Kloster Ottilien (Bild 1) herangetragen und stieß auf offene Ohren. Die Forschungsstelle für Energiewirtschaft (FfE) wurde beauftragt, ein Konzept zur Sanierung zu erarbeiten.

In Bild 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 Exerzitienhaus. Kleinere Einheiten (z.B. Druckerei, Metzgerei, Gasthaus) werden von den Zentralen versorgt.

Vorgehensweise

Die Methoden der Effizienzsteigerung lassen sich in 5 Schrittfolgen gliedern:

- Vermeiden unnötigen Verbrauchs: Unnötiger Verbrauch entsteht beispielsweise durch Überheizung von Räumen, technische Mängel und Leerlauf von Anlagen.
- Senken des spezifischen Energieverbrauchs: Wärmedämmung von Heizungsanlagen und Verteilsystemen sowie Raumumschließungsflächen.
- Verbesserung der Wirkungs- und Nutzungsgrade: Optimierte Brenneinstellung, Nutzung der Brennwerttechnik, zweckmäßige Auslegung von Antrieben, Kraft-Wärme-Kopplung.
- Energierückgewinnung: Verbrennungsluftvorwärmung, Abwärmennutzung aus dem Rauchgas, mechanische Wohnungslüftung, Wärmepumpen zur Abwärmennutzung.
- 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.

Ist-Zustand

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

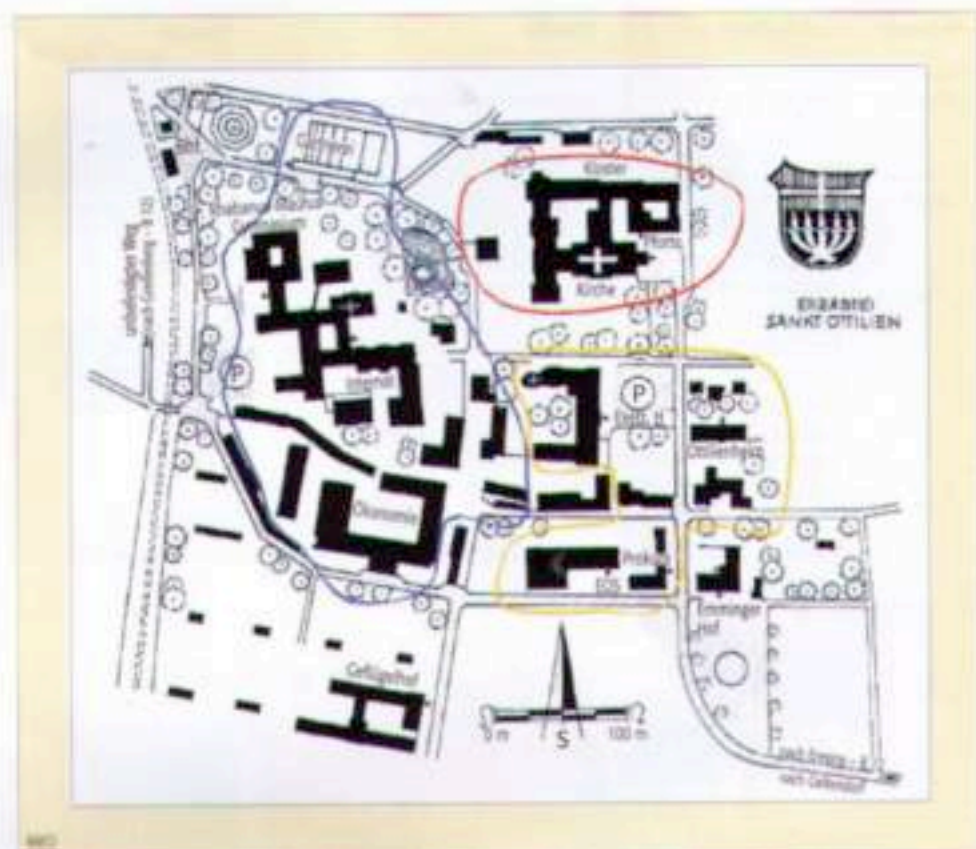


Bild 2. Klosteranlage St. Ottilien aufgeteilt in 3 Energieversorgungseinheiten

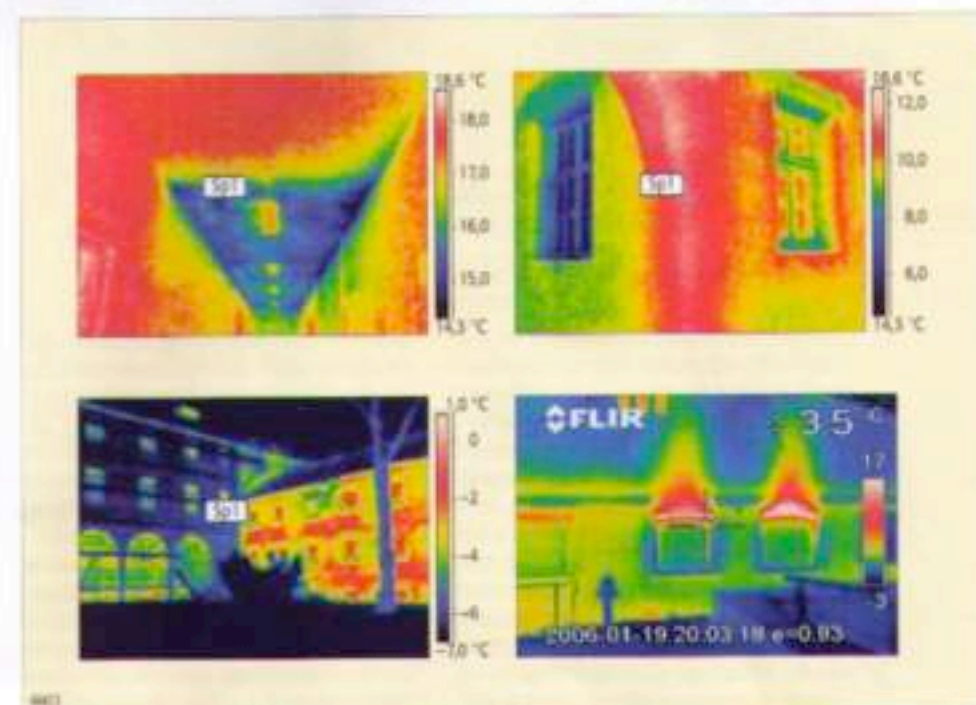
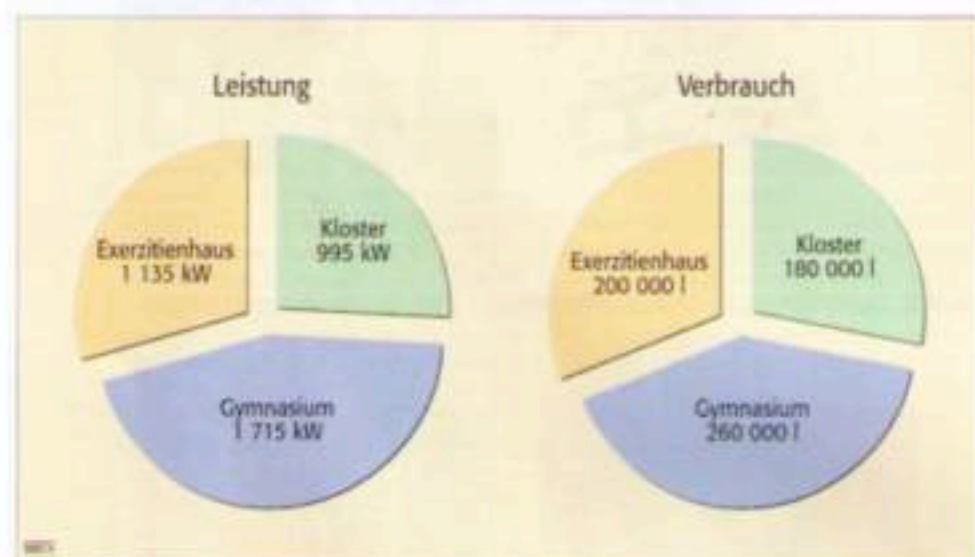


Bild 3. Ausgewählte Wärmebildaufnahmen des Klosters

eingeschränkt durchgeführt werden. Die größten Schwachstellen (z.B. Fenster, Dächer, Wärmebrücken) 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

Gebäude	Gebäudeteil	Details	Fenster				Fassade				Dach
			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
		Ostrakt	B	B	B	B	B	B	B	B	B
		Übergang		B	B	B			B	B	B
Schule	Bau 1989 Altbau rd. 1959 Gang zur Seminarkirche Festsaaltrakt 1959 Küche Verbindungsbau 1959 Internat, St. Katharina Seminarkirche Saalbau 1959 Turnhalle Schwimmbad		C	C	C	C	B	B	B	B	B
			A	C		A	B	B		B	B
			B	B	B	B	B	B	B	B	B
			B		B	B	B		B	B	B
			A	A		A	B	B		B	B
			B	B	B		B	B	B		B
			A	A	A	A	A	A	A	A	B
			B	B	B	B	B	B	B	B	B
					C	A			B	B	B
			B	B	B	B	B	B	B	B	C
	A	C	C	C	B	B	B	B	B		

Tafel 1. Beurteilung der Gebäudesubstanz des Gymnasiums St. Ottilien

Bild 4. Aufteilung der Leistung und des Energiebedarfs

Thema zu sensibilisieren, wurden über 200 Wärmebildaufnahmen erstellt. Bild 3 illustriert Schwachstellen sowie Effekte von Sanierungsmaßnahmen. Die beiden oberen Thermographien stellen die Innenaufnahmen von teilsanierten Gebäuden dar. 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 veranschaulicht die Innensicht zweier Fenster – das erneuerte Fenster rechts, das alte Fenster mit Einscheibenverglasung links.

Die beiden unteren Bilder sind Außenaufnahmen. Das Bild links ist ein 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 stellt die Lüftungsverluste von gekippten Fenstern des Hallenbads dar. Bei einer Außentemperatur von $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ hat der Fenstersturz eine Temperatur von rd. $20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Die Gebäude des Klosterdorfes weisen unterschiedliche Zustände der Bausubstanz und des Wärmedämmstandards auf. Beispielsweise ist ein Teil des Exerzitienhauses (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 (Fenster, die Fassade, das Dach und die Kellerdecke) nach ihrem Zustand eingeteilt.

1. Fenster:

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

2. 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).

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 Tafel 1 sind auszugsweise die Ergebnisse der Ortsbegehung anhand des beschriebenen Schemas, am Beispiel der Schule, zusammengestellt.

Energietechnik

Die 3 Heizzentralen haben eine gesamte installierte Leistung von 3,9 MW. Um bei Ausfall eines Kessels weiterhin heizen zu können, sind in jeder Heizzentrale 2 Kessel installiert. Bild 4 verdeutlicht die Aufteilung der Kesselleistungen und des Verbrauchs auf die einzelnen Heizzentralen.

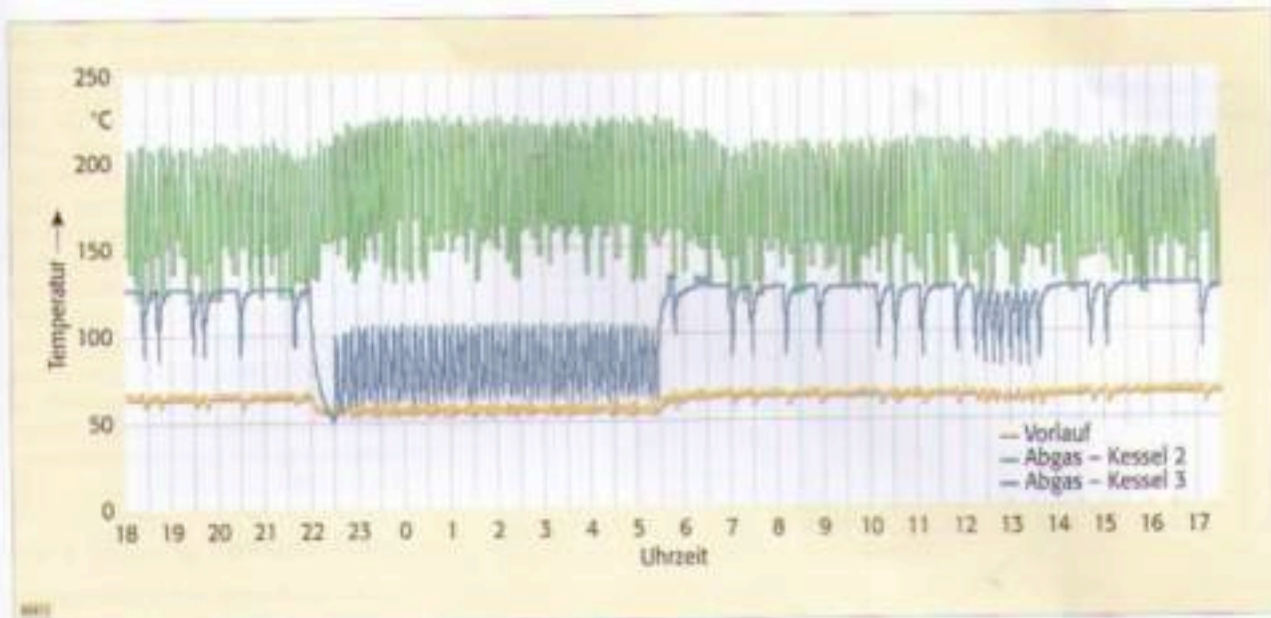


Bild 5. Abgastemperaturen von Kessel 2 und Kessel 3 im Exerzitienhaus.

Die Heizzentrale des Gymnasiums hat von allen Versorgungssystemen den höchsten Brennstoffverbrauch mit jährlich rd. 260 000 l Heizöl. Danach folgt die Heizzentrale Exerzitienhaus mit ungefähr 200 000 l Heizöl und schließlich die Heizzentrale Kloster mit rd. 180 000 l/a. Insgesamt ergibt sich daraus ein jährlicher Brennstoffverbrauch von rd. 640 000 l Heizöl 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 jährlich rd. 1 000 Schüttraummeter (Stm) Holzhackschnitzel, dies entspricht rd. 900 000 kWh/a. Damit verbraucht das Klosterdorf St. Ottilien rd. 7,3 Mio. kWh/a.

Analyse des Verbrauchs

Bei umfangreichen Messungen zeigte sich, dass bereits durch die Ertüchtigung der Heizkesselregelung 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 (Bild 5), das heißt, wenn ein Kessel abschaltet, läuft der andere an. Wenn Kessel 3 nachts die Temperatur absenkt, gleicht diese Tem-

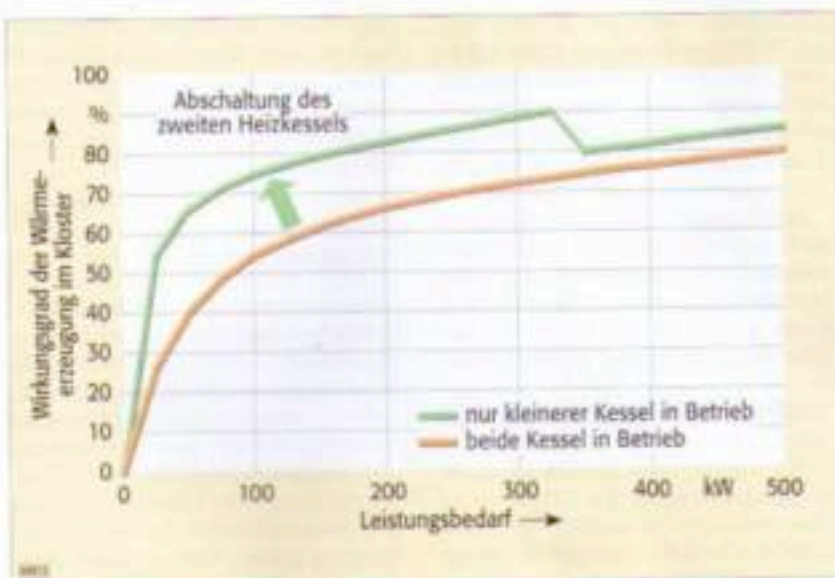


Bild 6. Wirkungsgrad zweier Wärmeerzeuger bei unterschiedlicher Einsatzweise

peraturabsenkung Kessel 2 durch längere Laufzeiten aus.

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. Bild 6 stellt den Nutzungsgrad von 2 gegeneinander arbeitenden Kesseln im Vergleich zu einem Kessel dar. 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.

Als Sofortmaßnahme wurde vorgeschlagen, jeweils einen Kessel sofort abzuschalten und diesen auch

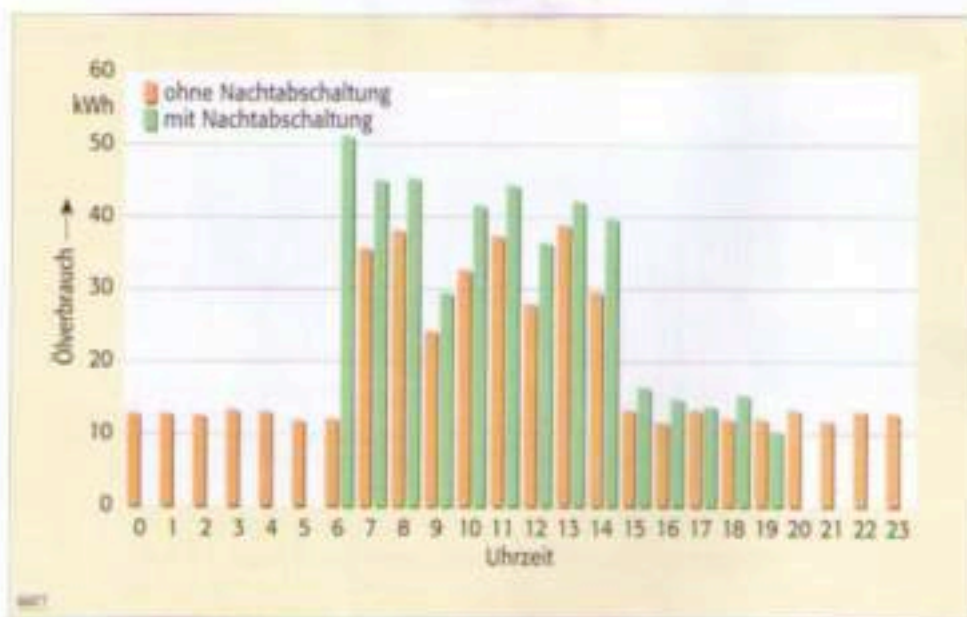


Bild 7. Lastgang des Dampfbedarfs Schule ohne und mit Nachtabschaltung

hydraulisch vom Netz zu trennen, um Wärmeverluste zu vermeiden. In einem weiteren Schritt sollten die Steuerungen bzw. Regelungen der einzelnen Heizkessel überprüft und deren Zusammenspiel genauer abgestimmt werden.

Zur Versorgung der 3 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 rd. 70 % des Heizölbedarfs zur Dampferzeugung nur für die Deckung der Wärmeverluste verwendet werden. Zur Verringerung dieser Verluste wurden Zeitschaltuhren installiert, welche die Dampferzeuger nachts abschalten. In Bild 7 ist der über mehrere Wochen gemittelte Dampfbedarf der Werktag ohne und mit Nachtabschaltung dargestellt. Allein die Abschaltung von 20:00 Uhr bis 6:00 Uhr in der Schule bringt eine Einsparung von rd. 2 000 €/a.

Eine Reduzierung des Dampfbedarfs könnte beispielsweise durch Vorwärmung des Geschirrs in Wärmeschranken mit Heißwasser oder verbrauchernah aufgestellte Schnelldampferzeuger ermöglicht werden. Selbst eine Umstellung der Spülmaschinen auf elektrische Beheizung ist durch die hohen Wär-

meverluste des Dampfnetzes ökologisch und ökonomisch sinnvoll. Eine Zusammenlegung der 3 Küchen zu einer Großküche ist aus organisatorischen Gründen leider kaum zu realisieren.

Dimensionierung der Nahwärmeversorgung

Da die maximale Heizleistung erheblichen Einfluss auf die Investitionskosten hat (gegebenenfalls Kauf eines zusätzlichen Kessels), 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 rd. 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 Bild 8 (l.) stellt den maximalen Leistungsbedarf dar, die minimale Leistung im gesamten Zeitbereich eines Jahres sowie die Deckungsmöglichkeit durch verschiedene Techniken. Das rechte Bild weist den zu erwartenden Bedarf nach einer vollständigen Sanierung aller Gebäude aus. 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.

Zusammenfassung

Die Sanierung der Klosteranlage St. Ottilien kann in 3 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 vorhandenen Biomasse aus eigener Produktion beibehalten 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 günstige Möglichkeit ist eine Hackschnitzelheizung in Verbindung mit einer Biogasanlage, die gleichzeitig die Nutzung der gesamten zur Verfügung stehenden Biomasse ermöglicht. Biogaserzeugung aus Gülle und Mist, 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 2 Spitzenlastkessel (Ölkessel aus dem Bestand) gedeckt werden. Durch die Nahwärmeversorgung der 3 großen Liegenschaften, Schule, Exerzitienhaus und Kloster, kann eine Grundlast von rd. 250 kW über

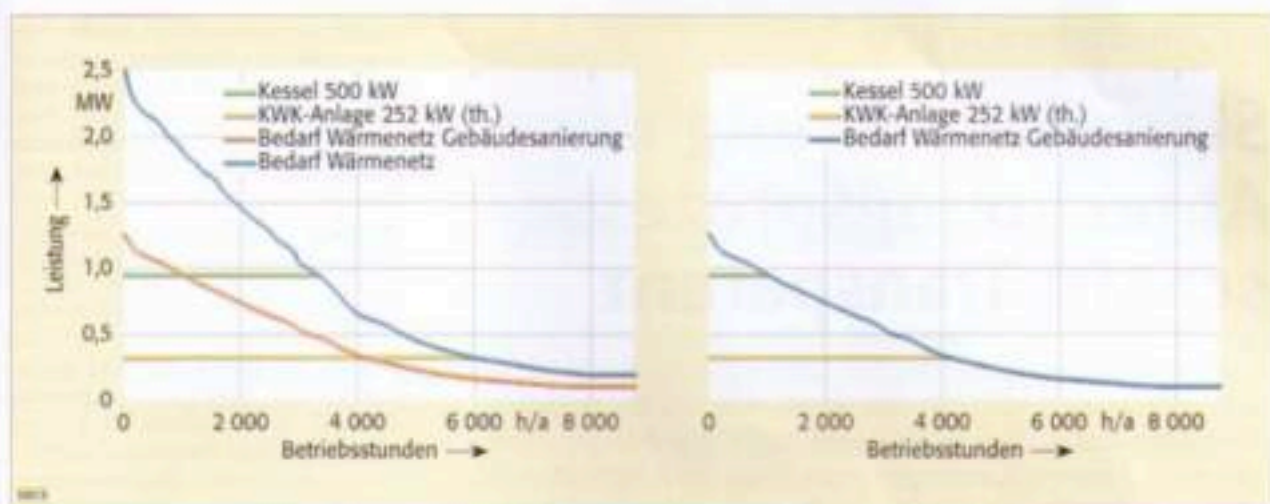


Bild 8. Dauerlinie des Heizenergiebedarfs vor (l.) und nach der Sanierung

nahezu 8000 h 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 (z.B. Erdöl und Erdgas) bei. Es verringert 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.

Schrifttum

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

[2] Hogrefe, J.; Bradke, H.: Impuls-kreis 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.

tgobmaier@ffe.de

www.ffe.de

Arbeits

FÜLL MA' DEN BODEN. FÜMA BODEN.



füma boden und füma rapid von CEMEX: hochwertige selbstverdichtende Verfüllbaustoffe für den Leitungsbau. Sie ermöglichen schnellsten Einbaukomfort, hervorragende Bettungseigenschaften und sind dabei dauerhaft wieder lösbar. Manchmal ist die Qualität von CEMEX eben unsichtbar.