

## **CO<sub>2</sub>-Verminderung St. Ottilien**

---

**Messung und Konzepterstellung zur  
Verminderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen**



# **CO<sub>2</sub>-Verminderung in St. Ottilien**

---

**Messung und Konzepterstellung zur  
Verminderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen**

**Auftraggeber:**

**Erzabtei St. Ottilien**

**FfE-Auftragsnummer:**

**KIStOtt-0001 / 544.4**

**Bearbeiter/in:**

**Dipl.-Ing. T. Gobmaier  
Dipl.-Ing. S. Krall  
Prof. Dr.-Ing. W. Mauch**

**Fertigstellung:**

**Juli 2009**

**Impressum:**

Endbericht  
der Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V.  
(FfE)  
Dieses Projekt wurde vom Bayerischen  
Landesamt für Umwelt (LfU) gefördert

*zum Projekt:*

CO<sub>2</sub>-Verminderung in St. Ottilien

Messung und Konzepterstellung zur  
Verminderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen

*Auftraggeber:*

Erzabtei 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](mailto:info@ffe.de)  
Internet: [www.ffe.de](http://www.ffe.de)

**Wissenschaftlicher Leiter:**

Prof. Dr.-Ing. U. Wagner

**Geschäftsführer:**

Prof. Dr.-Ing. W. Mauch

**Projekt-Manager:**

Dipl.-Phys. R. Corradini

## Inhalt

|            |  |           |
|------------|--|-----------|
| <b>1</b>   | <b>Einleitung .....</b>  | <b>1</b>  |
| <b>2</b>   | <b>Vorgehen .....</b>  | <b>3</b>  |
| <b>3</b>   | <b>Erstellung von Messstellenplänen .....</b>                  | <b>6</b>  |
| <b>4</b>   | <b>Empfehlungen für den Kesselbetrieb .....</b>                | <b>8</b>  |
| <b>5</b>   | <b>Ermittlung des Heizwärmebedarfs .....</b>                   | <b>13</b> |
| <b>5.1</b> | <b>Betrachtung der Spitzenlast.....</b>                        | <b>13</b> |
| <b>5.2</b> | <b>Aufteilung des Wärmeverbrauchs auf die Heizkessel .....</b> | <b>15</b> |
| <b>5.3</b> | <b>Ermittlung von Kennlinien.....</b>                          | <b>16</b> |
| <b>5.4</b> | <b>Heizkennlinien .....</b>                                    | <b>17</b> |
| <b>5.5</b> | <b>Jahresdauerlinie.....</b>                                   | <b>23</b> |
| <b>6</b>   | <b>Ermittlung der Einsparungen .....</b>                       | <b>25</b> |
| <b>6.1</b> | <b>Dampferzeugung .....</b>                                    | <b>25</b> |
| <b>6.2</b> | <b>Abschaltung Heizkessel .....</b>                            | <b>28</b> |
| <b>7</b>   | <b>Auswertung der Messdaten des Nahwärmenetzes .....</b>       | <b>31</b> |
| <b>7.1</b> | <b>Messung der Außentemperatur .....</b>                       | <b>31</b> |
| <b>7.2</b> | <b>Einsatz der Heizkessel.....</b>                             | <b>32</b> |
| <b>7.3</b> | <b>Betrieb des Pufferspeichers.....</b>                        | <b>39</b> |
| <b>7.4</b> | <b>Energiebilanz der Netzverluste .....</b>                    | <b>42</b> |
| <b>7.5</b> | <b>Heizwärmeverbrauch der Unterzentralen .....</b>             | <b>43</b> |
| <b>7.6</b> | <b>Gesamtverbrauch St. Ottilien.....</b>                       | <b>46</b> |
| <b>7.7</b> | <b>Ermittlung der CO<sub>2</sub>-Einsparungen .....</b>        | <b>47</b> |
| <b>7.8</b> | <b>Lufttemperaturen in der Heizzentrale.....</b>               | <b>48</b> |
| <b>7.9</b> | <b>Qualität der Messdaten.....</b>                             | <b>51</b> |
| <b>8</b>   | <b>Prüfung auf weitere Einsparmöglichkeiten .....</b>          | <b>52</b> |
| <b>8.1</b> | <b>Vorlauftemperatur des Nahwärmenetzes.....</b>               | <b>52</b> |
| <b>8.2</b> | <b>Leistungseinstellung Hackschnitzelkessel .....</b>          | <b>54</b> |

---

|            |  |           |
|------------|--|-----------|
| <b>8.3</b> | <b>Wärmeverlust in der Heizzentrale .....</b>                            | <b>54</b> |
| <b>8.4</b> | <b>Regelung der Heizölkessel .....</b>                                   | <b>54</b> |
| <b>8.5</b> | <b>Pufferspeicher Regelung .....</b>                                     | <b>54</b> |
| <b>8.6</b> | <b>Einstellung der Heizkennlinien.....</b>                               | <b>54</b> |
| <b>9</b>   | <b>Zusammenfassung .....</b>   | <b>56</b> |
| <b>10</b>  | <b>Literaturverzeichnis.....</b>   | <b>57</b> |
|            | <b>Anhang A: Messtechnische Anforderungen für die Ausschreibung.....</b> | <b>58</b> |

# Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen in St. Ottilien



## 1 Einleitung

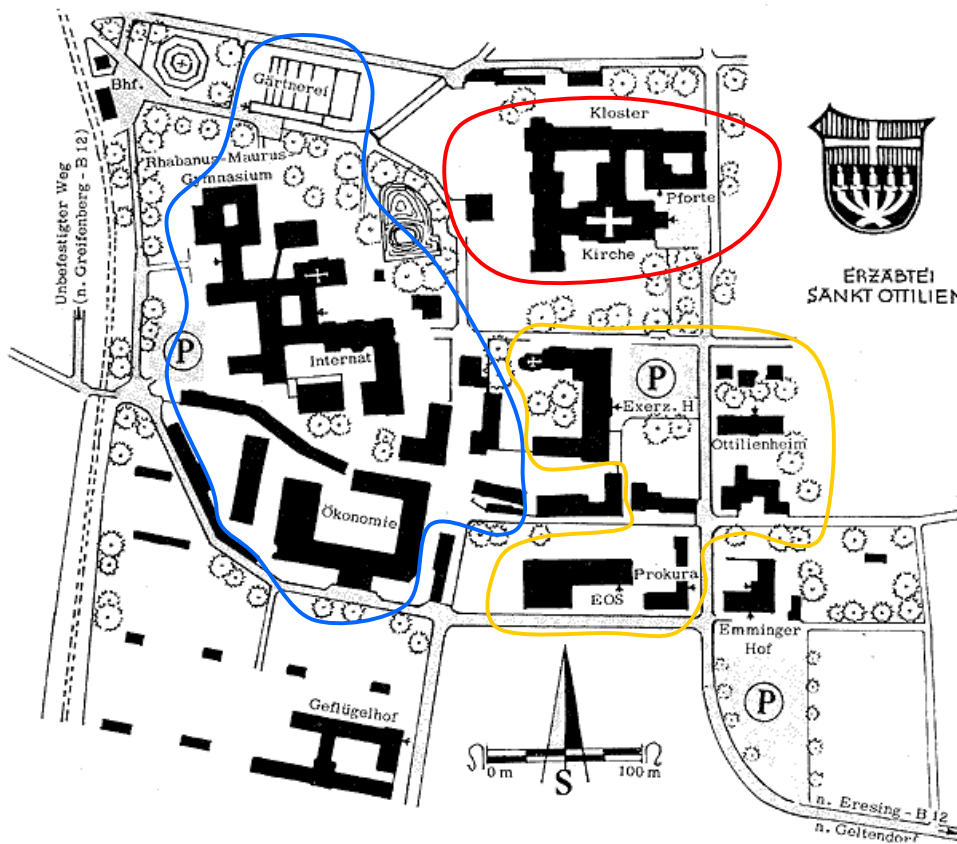
Das Klosterdorf St. Ottilien besteht insgesamt aus 45 Einzelgebäuden mit den Hauptgebäuden Kloster, Gymnasium und Exerzitienhaus. Die Gebäude wurden in unterschiedlichen Bauperioden erstellt. Die ältesten Gebäudeteile stammen aus dem 19. Jahrhundert. Die zuletzt erstellten Bauten aus dem Jahr 1970. Der wärmetechnische Zustand der Gebäude ist sehr unterschiedlich. Kloster, Exerzitienhaus und Gymnasium sind mit jeweils zwei Heizkesseln mit Leistungen zwischen 300 und 900 kW ausgestattet. Über Nahwärmeleitungen werden die weiteren umliegenden Gebäude, wie Schwimmbad, Metzgerei, Hofladen, verschiedene Wohnhäuser, Lager, Maschinenhallen, Malerei, Schreinerei, Feuerwehr und Druckerei versorgt. **Abbildung 1-1** zeigt einen Übersichtsplan mit farbiger Kennzeichnung der von den Nahwärmenetzen versorgten Gebäude.

Jährlich werden ca. 570.000 Liter Heizöl verbraucht. Ein Hackschnitzelkessel liefert zusätzlich 660.000 kWh/a. Die gesamte installierte Heizleistung beträgt 3,95 MW.

Es ist geplant, im Klosterdorf St. Ottilien den Energieverbrauch zu halbieren und die CO<sub>2</sub>-Emissionen um rd. 80 % zu reduzieren. Das Dorf soll dabei weitest möglich saniert werden, wobei bei der gebäudetypischen Sanierung der Denkmalschutz und die Substanzerhaltung im Vordergrund stehen. Mit der energetischen Sanierung des Klosterdorfs soll auch die Energieversorgung von Schule, Exerzitienhaus und Kloster erneuert werden.

Die Maßnahmenpakete sollen dabei einem ganzheitlichen Ansatz entsprechen und unter energiewirtschaftlichen und ökologischen Gesichtspunkten optimiert werden. Dies soll zu einer deutlichen CO<sub>2</sub>-Reduktion sowie letztlich zu einer deutlichen Einsparung der jährlichen Kosten für das Kloster führen. Die Maßnahmenpakete werden nicht gleichzeitig, sondern nacheinander in mehreren Schritten durchgeführt. So wird zuerst eine neue Heizzentrale mit einem verbindenden Wärmenetz gebaut, dann die

Heizzentralen modernisiert. Die Sanierung der Gebäudehüllen findet unabhängig vom Tausch der Heiztechnik zur selben Zeit statt.



**Abbildung 1-1:** Schema der Klosteranlage mit den von den drei Energiezentralen versorgten Gebieten /OTT 05/

Ziel dieses ersten Projektes war die möglichst genaue Erfassung des energetischen Ist-Zustands (Spitzen- und Grundlast, Jahresdauerlinie, Benutzungsstunden, Nutzungsgrad, ...), um Optimierungspotenziale im Bereich der Heiztechnik zu finden. Zusätzlich sollen mit diesen Grundlagen belastbare Lastgänge für die Auslegung der Wärmeerzeuger und der Wärmenetze ermittelt werden. So wurde die zur Umsetzung der weiterführenden Maßnahmen, wie Errichtung von Nahwärmenetz und Hackschnitzelkessel, notwendige Datenbasis erhoben und aufbereitet. Anhand des Vergleichs zwischen Ist-Zustand und des Zustands nach Umsetzung der ersten Einsparmaßnahmen wurden die Erfolge quantifiziert und weitere Potenziale identifiziert.

Zudem wurde der zukünftige Bedarf bei Berücksichtigung einer umfassenden Sanierung abgeschätzt und daraus die zu erwartenden CO<sub>2</sub>-Emissionen berechnet. Die Umsetzung der Optimierungspotenziale wurde wissenschaftlich begleitet und messtechnisch ausgewertet, um den Erfolg quantifizieren zu können und Aussagen über die Verbrauchscharakteristik machen zu können. Hierzu wurden Messstrategien für den Ist-Zustand und für die einzelnen Sanierungsschritte entwickelt, um mit möglichst geringem Aufwand Daten in der für eine Auswertung benötigten Detailtiefe zu erhalten.

Das Projekt wurde finanziell unterstützt vom Bayerischen Landesamt für Umwelt (LfU).

## 2 Vorgehen

### Erstellung von Messstellenplänen für die Sanierungsschritte

Zur möglichst umfassenden Erfassung des Energieverbrauchs wurden Messkonzepte für den Ist-Zustand und für das Nahwärmenetz entworfen. Bei dem Ist-Zustand lag der Fokus auf einer zeitlich hochaufgelösten Erfassung des Energieverbrauchs, um einen Wärmeverbrauchslastgang berechnen zu können.

Bei vorangegangenen Projekten hat sich gezeigt, dass die Standard-Einstellungen bei komplexen Anlagen selten einen optimalen Zustand erreichen. Zudem treten bei neuen Anlagen häufig Fehler, z. B. durch vertauschte oder falsch beschriftete Messleitungen, auf. Daher wurde bei dem Messkonzept für das Nahwärmenetz darauf geachtet, dass neben der Möglichkeit zur Bilanzierung der Verbraucher auch eine Erkennung und Analyse von Anlagenfehlern und Optimierungspotenzialen möglich ist.

### Messungen vor Sanierung

Zur Ermittlung des Verbrauchslastgangs wurden zeitlich hoch aufgelöste Messungen des Heizölverbrauchs an den Heizkesseln durchgeführt. Damit konnte der reale Endenergiebedarf erfasst werden, welcher um die Kesselwirkungsgrade bereinigt, den Nutzwärmebedarf inklusive der Verteilverluste ergibt. Durch die hohe zeitliche Auflösung konnten sowohl das Taktverhalten als auch das Zusammenspiel der Kessel analysiert werden.

Zur Messung des Heizölverbrauchs wurden im Jahr 2007 an allen Heizkesseln in den drei Heizzentralen Ölzähler eingebaut. Diese Zähler haben einen Impulsausgang (Ausnahme: Dampferzeuger Kloster), der nach dem Durchfluss von 1 l Heizöl einen Impuls abgibt. Dies ermöglicht die messtechnische Erfassung des zeitlichen Heizölverbrauchs jedes Heizkessels mit 1 Liter Genauigkeit. Je nach installierter Kesselgröße und Brennerstufe benötigen die Heizkessel 36 Sekunden bis 190 Sekunden für die Verbrennung von 1 l Heizöl. Ein Impuls entspricht dem Verbrauch von 10,08 kWh Heizöl (Heizwert  $H_i$ ).

**Tabelle 2-1** zeigt eine Zusammenfassung der installierten Heizkessel. Im Exerzitienhaus ist die Stufe 2 des Dampfkessels deaktiviert, da der auf Dampferzeugung umgerüstete Heißwasserkessel in diesem Schaltzustand die zulässigen Abgaswerte überschreiten würde.

**Tabelle 2-1:** Leistungen der installierten Kessel für Heizwärme und Dampferzeugung

| Ort            | Kessel    | Leistung in kW |                 |                 |
|----------------|-----------|----------------|-----------------|-----------------|
|                |           | Kessel         | Brenner Stufe 1 | Brenner Stufe 2 |
| Exerzitienhaus | 1 Dampf   | 290            | 200             | deaktiviert     |
|                | 2 Heizung | 675            | 330             | 670             |
|                | 3 Heizung | 460            | 290             | 460             |
| Schule         | 1 Heizung | 895            | 735             | 1018            |
|                | 2 Heizung | 720            | 345             | 735             |
|                | 3 Dampf   | 160            | 114             | -/-             |
| Kloster        | 1 Heizung | 670            | 303             | 506             |
|                | 2 Heizung | 370            | 191             | 328             |
|                | 3 Dampf   | 267            | 118             | 237             |

Die Heizkessel werden bei Inbetriebnahme des Wärmenetzes abgebaut. Die Dampferzeuger werden weiterhin benötigt. In einem weiteren Schritt (vgl. Kap. 6.1) wurde geprüft, ob und wie sich einzelne Dampferzeuger abschalten ließen.

Für die Messung wurden zwei zeitliche Auflösungen gewählt:

- 10 Sekunden für die Auswertung des Taktverhaltens der Kessel
- 2 Minuten für die Lastganganalyse

Die Messdaten wurden nach dem Auslesen plausibilisiert, um Messfehler und fehlende Werte erkennen und bilanzneutral weiterverarbeiten zu können.

Zur Erstellung von Heizkurven werden die Außentemperaturen der Messperiode benötigt. Da vor Ort keine stündliche Aufzeichnung der Temperatur erfolgt, musste eine repräsentative Wetterstation in der Nähe gefunden werden. Hier stehen für St. Ottilien zwei Wetterstationen des Agrarmeteorologischen Messnetz Bayern zur Verfügung. Die ca. 8,5 km südwestlich gelegene Wetterstation Westerschondorf (Nr.37) in der Gemeinde Finning und die ca. 13 km südwestlich gelegene Wetterstation (Nr. 61) der Stadt Landsberg am Lech. Der Vergleich von Temperaturschreibungen in St. Ottilien mit den Werten der Wetterstationen ergab, dass die Temperaturen der Wetterstation 61 in Landsberg am Lech trotz der etwas höheren Entfernung für St. Ottilien repräsentativer sind.

### **Ermittlung des Heizwärmebedarfs und Erstellung von Lastgängen**

Die Messdaten werden zu Lastgängen mit Viertelstundenwerten der Leistung umgerechnet. Die Lastgänge der einzelnen Energiezentralen werden zu einem Gesamtlastgang der Messperiode zusammengefasst.

Auf dieser Basis werden Jahreslastgänge erstellt. Ziel ist ein Gesamtlastgang mit Viertelstundenwerten für die einzelnen Heizzentralen und das gesamte zukünftige Fernwärmenetz.

### **Ermittlung von Einsparmöglichkeiten**

Neben der Umstellung von Heizöl auf Hackschnitzel gibt es bei einer großen und über Jahrzehnte gewachsenen Anlage immer auch weitere Einsparmöglichkeiten. Diese werden untersucht und soweit möglich monetär bewertet.

### **Auslesen und Auswerten der Messdaten nach dem Bau der neuen Energiezentrale**

Analog dem oben beschriebenen Vorgehen beim Auslesen, Validieren und Auswerten der Messdaten findet zusätzlich ein Vergleich des Verbrauchs vor und nach der Energiesparmaßnahme statt. Hierzu müssen klimatische Bedingungen, wie z. B. die Außentemperatur während der Messperioden berücksichtigt werden.

Die Einsparungen durch die Maßnahme werden durch Vergleich der Ergebnisse vor und nach Maßnahmendurchführung quantifiziert und sowohl energetisch als auch monetär (in Abhängigkeit des mittleren Heizölpreises) angegeben. Zusätzlich werden die vermiedenen CO<sub>2</sub>-Emissionen berechnet.

### **Prüfung auf weitere, einfach zu erschließende Einsparpotenziale**

Die Messdaten werden auf weitere Einsparpotenziale geprüft. Mögliche neue Maßnahmen werden analysiert und die Umsetzbarkeit geprüft.

**Betrachtung des energetischen Stands des Gymnasiums und Erstellung eines Maßnahmenkatalogs für die Sanierung**

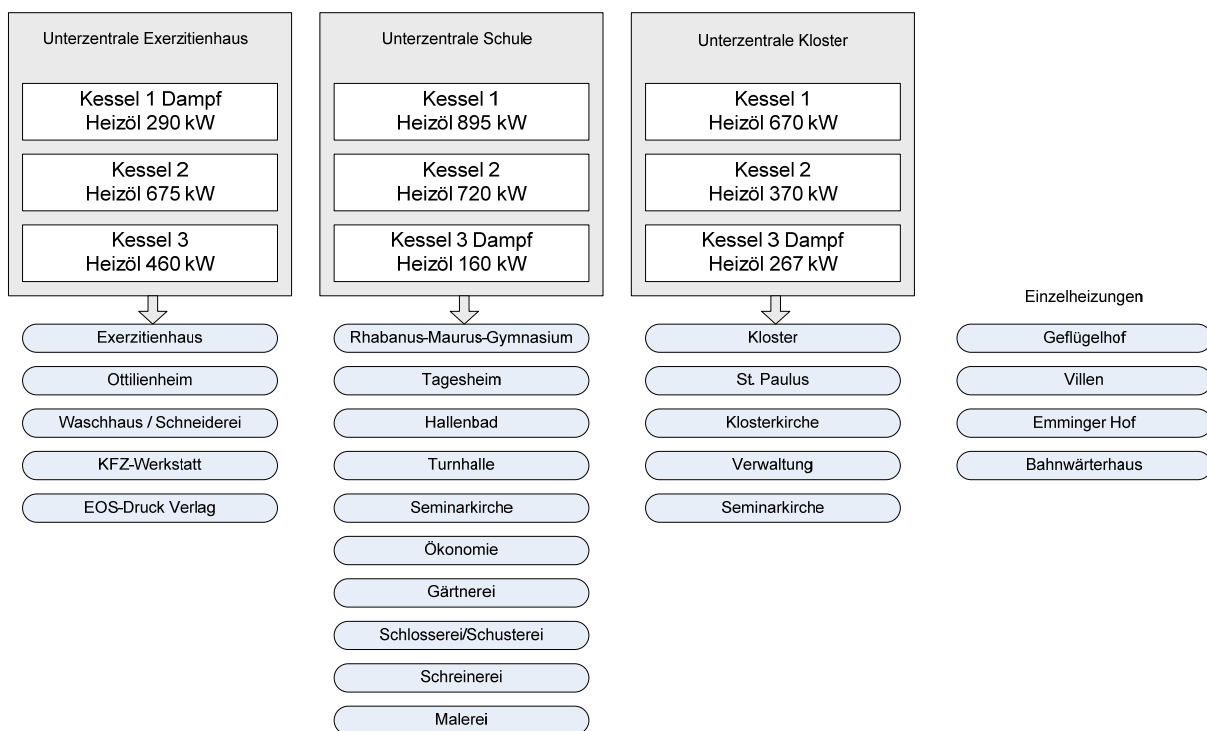
Um das Gymnasium nachhaltig sanieren zu können, wird der Ist-Zustand ermittelt. Daraufhin werden Maßnahmenpakete abgestimmt, welche neben einer Senkung des Energieverbrauchs auch eine Erhöhung der Behaglichkeit durch bessere Lüftung erbringen. In diesem Schritt wird auch die Feuchteproblematik der Wände betrachtet.

### 3 Erstellung von Messstellenplänen

Um Energiebilanzen bilden zu können, wurden für den Ist-Zustand und das neue Wärmenetz Messstellenpläne generiert. Dabei ist 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 reicht auch eine Schätzung. Bei dem neuen System wurden gleich in der Bauphase Wärmemengenzähler integriert.

#### Vor dem Umbau

**Abbildung 3-1** 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.



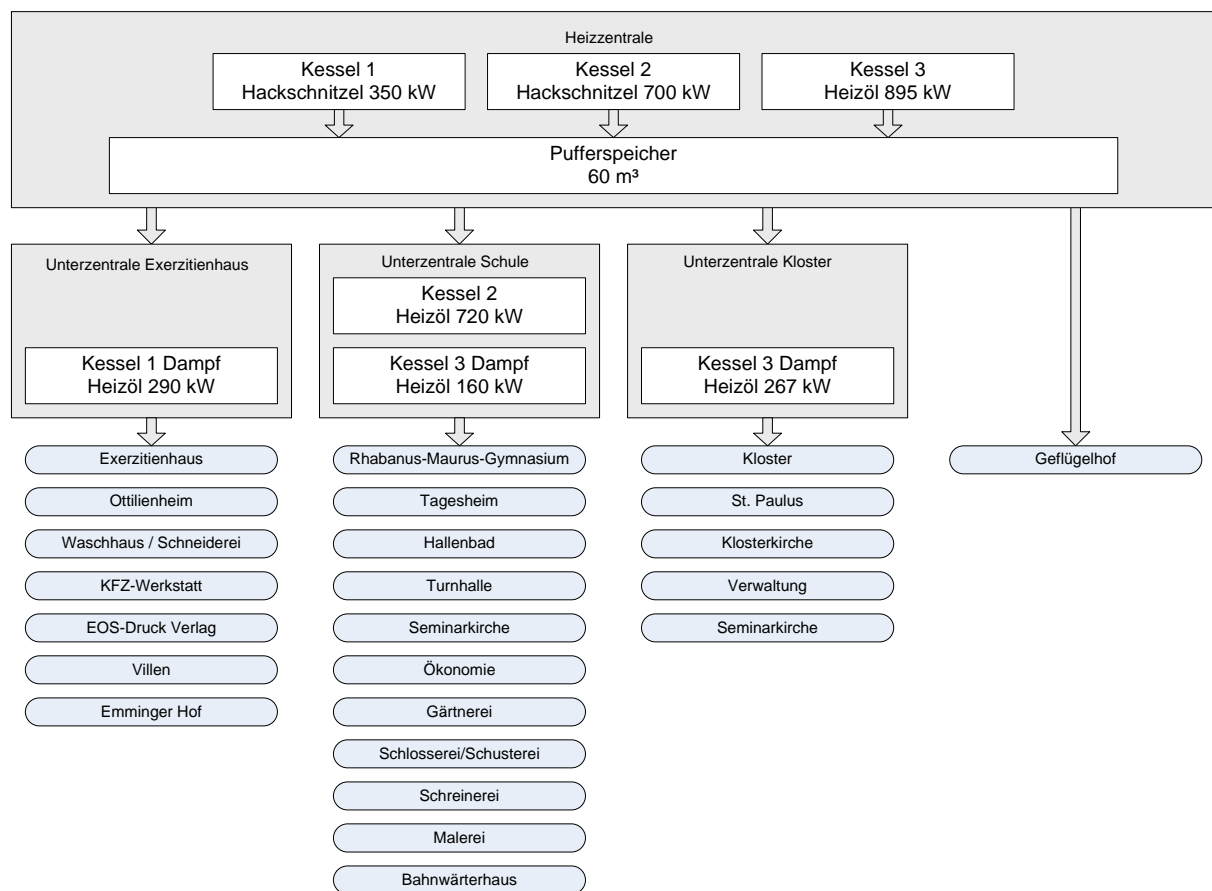
**Abbildung 3-1:** Schema der Wärmeerzeugung vor dem Umbau

#### Wärmenetz

Um bereits im frühen Stadium der Planung sicherzustellen, dass für die Auswertung der Anlagendaten genug Messstellen vorhanden sind, wurde ein Text mit Empfehlungen für die Ausschreibung erstellt (siehe Anhang A)

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 3-2**). 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.

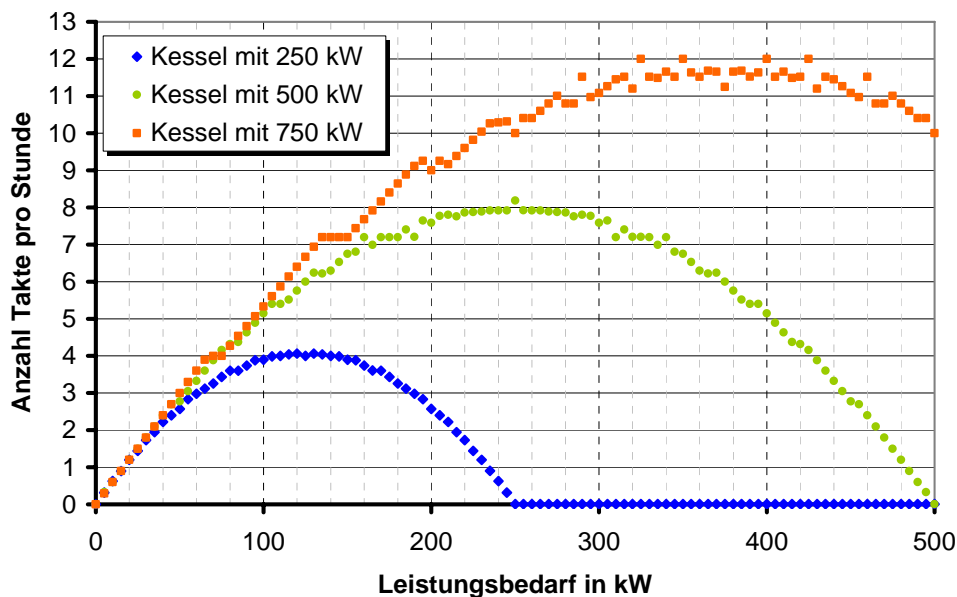


**Abbildung 3-2:** Schema der Wärmeerzeugung nach dem Umbau

## 4 Empfehlungen für den Kesselbetrieb

Bei der Auslegung der Wärmeversorgung werden in vielen Planungsschritten Sicherheitszuschläge gemacht, um eine Unterversorgung mit Wärme generell ausschließen zu können. So führt die Überdimensionierung von Heizkörpern zu einem augenscheinlich höheren Leistungsbedarf des Wärmeerzeugers. Um z. B. auch zukünftige Erweiterungen der Gebäude realisieren zu können, wird schließlich auch die Leistung des Heizkessels um einen Sicherheitszuschlag erhöht. So sind in den meisten Gebäuden überdimensionierte Heizsysteme zu finden. Dies führt zu geringen Kesselaufzeiten und häufigem Ein- und Ausschalten der Kessel (Takten).

**Abbildung 4-1** zeigt das Taktverhalten für drei beispielhafte Heizkessel verschiedener Leistung in Abhängigkeit des Wärmebedarfs. Hierzu wurde jeweils der Betrieb eines Kessels simuliert und der Leistungsbedarf variiert. Beträgt der Leistungsbedarf weniger als die Hälfte der Kesselleistung, so taktet der Heizkessel bei steigendem Heizwärmebedarf häufiger, da er aufgrund seiner zu hohen Leistung abschalten muss. Beträgt der Leistungsbedarf mehr als die Hälfte der Kesselleistung, so läuft der Kessel in mehr als der Hälfte der Zeit. Je höher der Leistungsbedarf, desto seltener muss der Kessel ausschalten, er taktet weniger. So ergibt sich bei einem von Null bis Volllast variierten Leistungsbedarf eine sinusförmige Kurve der Takthäufigkeit.



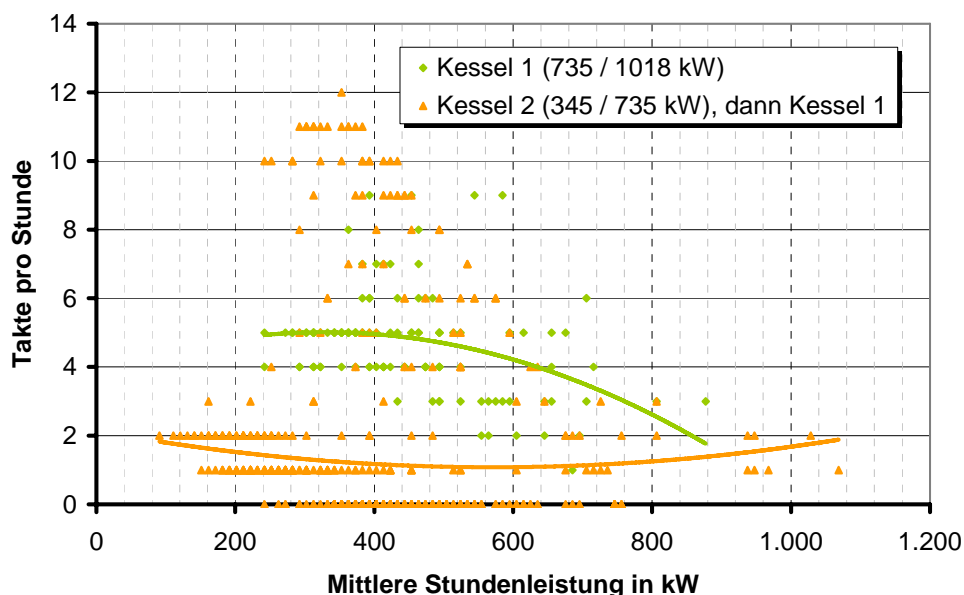
**Abbildung 4-1:** *Beispielhafter Zusammenhang zwischen Takthäufigkeit und Leistungsbedarf*

Die maximale Häufigkeit des Taktens ist von der Kesselleistung, dem Volumenstrom durch den Kessel und der Art des Verteilers bzw. der nachgeschalteten Anlagen abhängig. Je länger es nach dem Einschalten des Kessels dauert, bis das erwärmte Wasser wieder über den Rücklauf zum Kessel zurück kommt, desto länger läuft der Kessel.

Hat man die Wahlmöglichkeit zwischen mehreren Heizkesseln verschiedener Leistung zur Heizwärmebereitstellung, so empfiehlt sich immer die Wahl des Kessels mit der kleinsten Leistung, sofern dieser Kessel die maximal benötigte Leistung bereitstellen kann.

### Heizzentrale Schule

**Abbildung 4-2** zeigt das Taktverhalten in der Heizzentrale Schule als Streudiagramm. Die Punkte stellen die Taktvorgänge pro Stunde in Abhängigkeit der mittleren Leistung dar. Hierbei wird unterschieden zwischen dem Betrieb nur mit Kessel 1 und dem Betrieb mit einer Folgeschaltung von Kessel 2 und Kessel 1. Läuft nur Kessel 1, so gibt es maximal 9 Takte pro Stunde. Laufen beide Kessel, so gibt es bis zu 12 Taktvorgänge. Dabei muss aber beachtet werden, dass bei der Folgeschaltung häufig kein Taktungsvorgang pro Stunde stattfindet. Der Kessel 2 kann bei Leistungen im Bereich von 345 kW bis 735 kW durch Umschalten zwischen den Leistungsstufen ohne Abschaltung durchlaufen. Die hohen Taktraten entstehen, sobald Kessel 1 zuschaltet.



**Abbildung 4-2:** *Taktverhalten der Kessel in der Heizzentrale Schule*

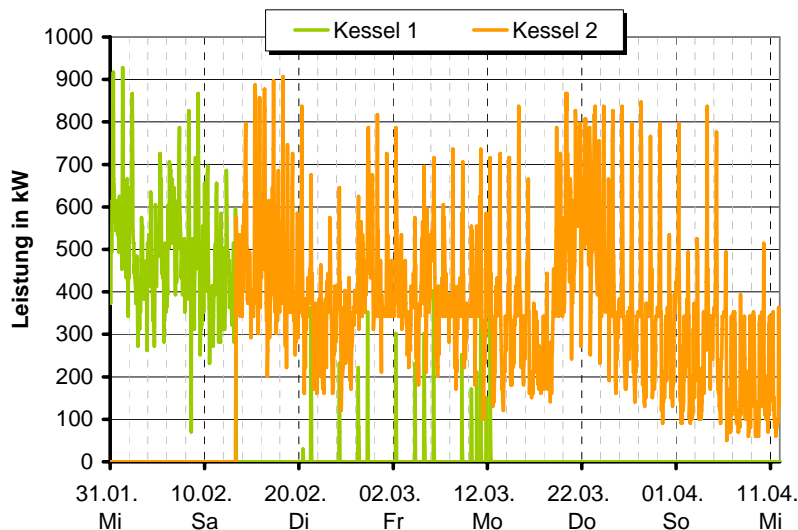
Die farbigen Kurven zeigen die Trendlinien des jeweiligen Taktverhaltens. Da Kessel 2 die geringste Leistung hat (345 kW bei Stufe 1), taktet er im Mittel weniger als Kessel 1 (735 kW bei Stufe 1).

Im Messzeitraum trat eine maximale Leistung von 1.200 kW zum Ende der Nachtabenkung auf. Bei einer Außentemperatur von -16 °C wird für die Schule eine maximale Tagesmittelleistung von 1.100 kW geschätzt.

Um die Takthäufigkeit möglichst zu reduzieren wird folgendes Vorgehen empfohlen:

- Tagesmitteltemperatur größer 0 °C: Nur Kessel 2 angeschaltet (345 kW bis 735 kW)
- Tagesmitteltemperatur kleiner 0 °C: Nur Kessel 1 angeschaltet (735 kW bis 1018 kW)
- Tagesmitteltemperatur kleiner -9 °C: Kessel 1 als Grundlastkessel, Kessel 2 als Spitzenlastkessel

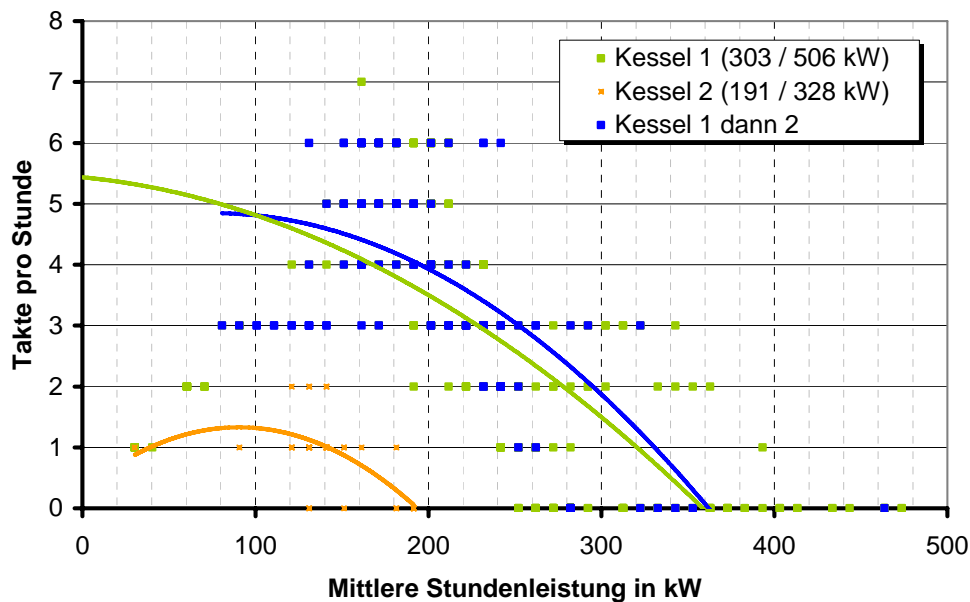
Die Heizungssteuerung der Schule ermöglicht beim Betrieb von zwei Kesseln die Bestimmung eines Führungskessels. **Abbildung 4-3** zeigt die Leistung der zwei Heizkessel im Messzeitraum. Vom 31.01. bis zum 13.02. lief nur Kessel 1. Danach wurden auch Kessel 2 eingeschaltet. Als Führungskessel wurde bis zum 20.02. Kessel 1 bestimmt, ab dem 26.02. wurde Kessel 2 als Führungskessel gewählt. Diese Umschaltung sollte dazu führen, dass der jeweilige Führungskessel die Grundlast bereitstellt, um das Takten von zwei Kesseln zu vermeiden. Dies ist in den Messaufzeichnungen allerdings nicht zu beobachten.



**Abbildung 4-3:** Leistung der Kessel 1 und 2 in der Heizzentrale Schule

### Heizzentrale Kloster

Das Taktverhalten der Heizzentrale Kloster ist in **Abbildung 4-4** dargestellt. Die geringste Takthäufigkeit hat der Kessel 2. Ab ca. 190 kW läuft Stufe 1 durchgehend, nur unterhalb dieser Leistung gibt es Schaltvorgänge. Läuft nur Kessel 1, so ist die Taktzahl wegen der höheren Kesselleistung mehr als dreifach so hoch. Laufen Kessel 1 und Kessel 2 in Folgeschaltung, so ergibt sich eine ähnlich hohe Taktzahl wie wenn nur Kessel 1 laufen würde.



**Abbildung 4-4:** Taktverhalten der Kessel in der Heizzentrale Kloster

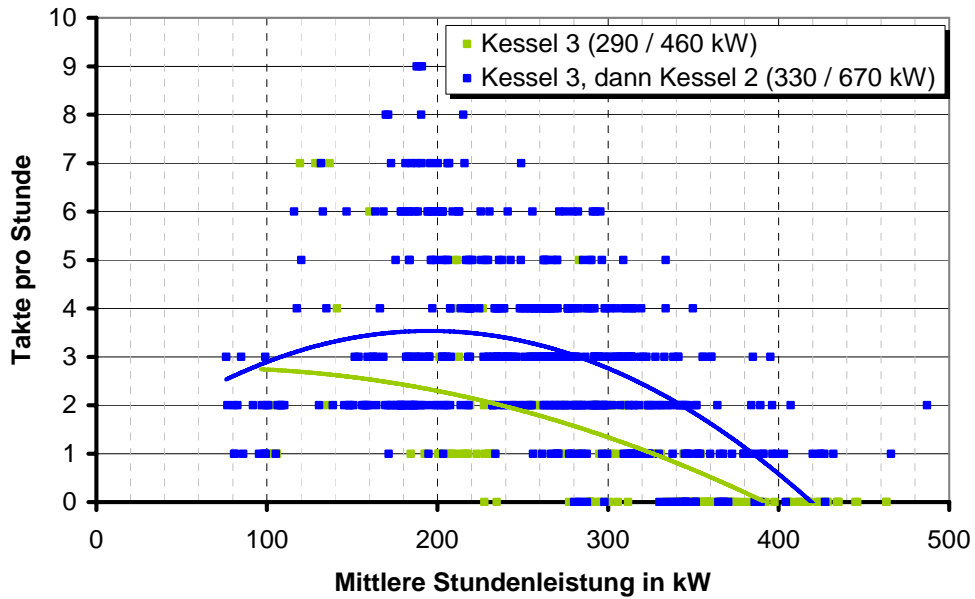
Die farbigen Trendlinien geben den Zusammenhang aus **Abbildung 4-1** gut wieder. Auch hier hat der Kessel mit der geringsten Leistung die geringste Takthäufigkeit.

Im Messzeitraum trat eine maximale Leistung von 473 kW zum Ende der Nachtabsenkung auf. Bei einer Außentemperatur von  $-16\text{ °C}$  wird für das Kloster eine maximale Tagesmittelleistung von 320 kW geschätzt.

Um die Takthäufigkeit möglichst zu reduzieren wird vorgeschlagen, dass nur Kessel 2 betrieben wird. Die maximale Leistung des Kessels (328 kW) reicht für den geschätzten Wärmebedarf aus. Allerdings können dabei längere Aufheizzeiten nach der Nachtabsenkung auftreten. Daher kann es sinnvoll sein, bei Tagesmitteltemperaturen unter  $-10\text{ °C}$  von Kessel 2 auf Kessel 1 umzuschalten.

### Heizzentrale Exerzitenhaus

In **Abbildung 4-5** ist das Taktverhalten der Heizzentrale im Exerzitenhaus dargestellt. Beim Betrieb von Kessel 3 allein wird seltener getaktet als beim Betrieb mit beiden Heizkesseln. Dies liegt daran, dass beide Heizkessel ohne übergreifende Steuerung betrieben werden, so dass jede Kesselsteuerung für sich allein agiert und ein- bzw. ausschaltet. Die Trendlinien zeigen diesen Zusammenhang ebenfalls deutlich.



**Abbildung 4-5:** *Taktverhalten der Kessel in der Heizzentrale Exerzitenhaus*

Im Messzeitraum trat eine maximale Leistung von 487 kW zum Ende der Nachtabsenkung auf. Bei einer Außentemperatur von  $-16\text{ °C}$  wird für das Exerzitenhaus eine maximale Tagesmittelleistung von 550 kW geschätzt.

Um die Takthäufigkeit möglichst zu reduzieren wird empfohlen, bei Tagesmitteltemperaturen bis  $-5\text{ °C}$  nur Kessel 3 laufen zu lassen, bei Temperaturen darunter nur Kessel 2.

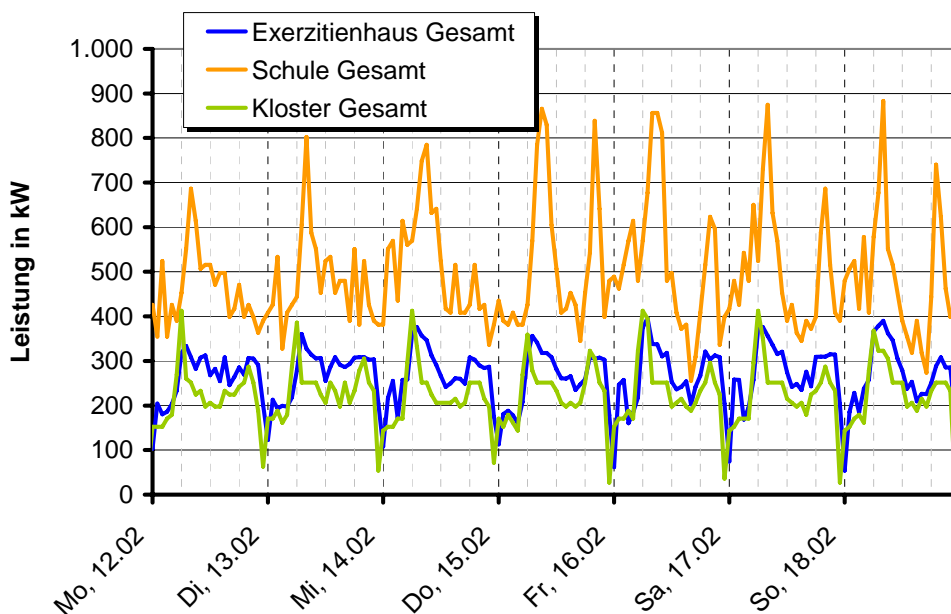
## 5 Ermittlung des Heizwärmebedarfs

Der Heizölverbrauch in den drei Heizzentralen wurde über einen Zeitraum von ca. einem Jahr zeitlich hochaufgelöst erfasst. Der Heizölverbrauch wurde über mittlere Kesselnutzungsgrade auf den Wärmeverbrauch der Gebäude umgerechnet. Der Hack-schnitzelkessel hat keine kontinuierliche erfassende Messeinrichtung, sondern erfasst die Wärmelieferung mit seiner internen Regelung. Da der Kessel ohne Modulation durchläuft, konnte dessen Energielieferung als konstantes Band in die Berechnung des Heizwärmebedarfs miteinbezogen werden.

### 5.1 Betrachtung der Spitzenlast

Zur Aufstellung einer synthetischen Heizkennlinie wurden die einzelnen Wärmebedarfskurven statistisch untersucht. Dabei zeigte sich, dass der Verlauf des Heizwärmebedarfs auch von den Außentemperaturen der vergangenen Tage abhängig ist. Dies liegt vor allem an der unterschiedlichen thermischen Speichermasse.

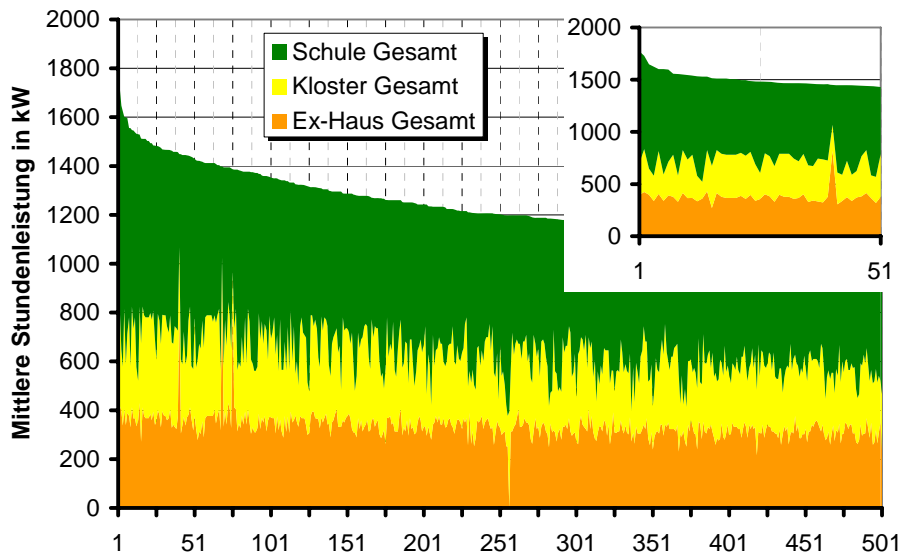
Würde zur Ermittlung der Höchstlast von jeder Heizzentrale die maximale Stundenlast gebildet und dann aufsummiert, so ergäbe sich ein unrealistischer hoher maximaler Heizwärmebedarf, da die Verbrauchsspitzen nicht zur selben Zeit auftreten. So beginnt die morgendliche Aufheizphase im Kloster gegen 6:00 Uhr (siehe **Abbildung 5-1**), im Exerzitienhaus zwischen 6:00 bis 7:00 Uhr und in der Schule erst gegen 8:00 Uhr. Daher ist die Aufsummierung aller Heizzentralen mit nachfolgender Maximumsbetrachtung sinnvoller.



**Abbildung 5-1:** Wärmeverbrauch der drei Heizzentralen

In **Abbildung 5-2** ist die sortierte Dauerlinie der 500 verbrauchsstärksten Stunden dargestellt. Die maximale in einer Stunde aufgetretene Leistung beträgt 1.772 kW. Dies stellt jedoch eine singuläre Verbrauchsspitze über eine Stunde dar. Nach der fünften

Stunde der sortierten Dauerlinie treten nur noch Werte kleiner 1.600 kW auf, nach der 20. Stunde nur noch Werte kleiner 1.500 kW.



**Abbildung 5-2:** *Sortierte Dauerlinie der 500 Stunden mit dem höchsten Wärmebedarf im Jahr 2007*

In der Betrachtung nicht enthalten sind Verbraucher, die heute noch nicht an eine der drei Heizzentralen angeschlossen sind sowie die Verluste des zukünftigen Nahwärmenetzes.

Die Verbrauchsspitzen werden in dem neuen Wärmeverteilsystem durch den Pufferspeicher mit 55 m<sup>3</sup> abgedeckt. Bei einer Abkühlung um 10 K kann der Speicher eine Stunde lang die Leistung von ca. 637 kW abgeben, bei einer Entnahmelistung von 1.000 kW kann ca. 37 Minuten diese Leistung bereitstellen. Die beiden Hackschnitzelkessel (700 und 300 kW) können zusammen mit dem Speicher eine Stundenleistung von ca. 1.600 kW bereitstellen. Mit einer stärkeren Auskühlung des Speichers sind höhere Leistungen oder längere Nutzungszeiten des Speichers möglich.

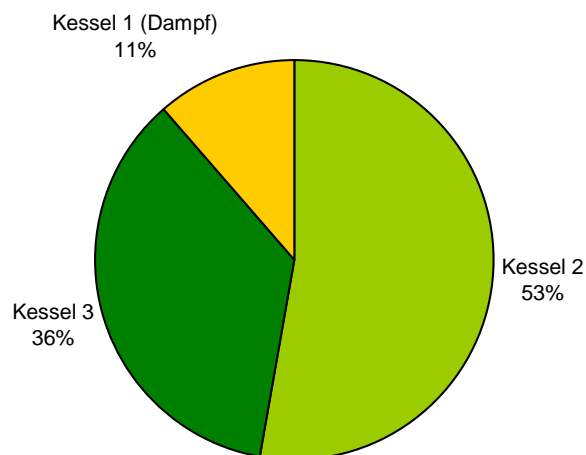
Wird in einem Nahwärmenetz bei Verbrauchsspitzen (z. B. morgens) weniger Wärme eingespeist als die Verbraucher nachfragen, so verlängert sich die Aufheizphase der Verbraucher entsprechend der Versorgungslücke, doch es wird in den Gebäuden nicht kalt. Die Ausnutzungsdauer und somit der Nutzungsgrad der Wärmeerzeuger liegen dann etwas höher.

Da Verbrauchsspitzen über den Speicher gedeckt werden können, ist für die Bestimmung der mindestens benötigten Wärmeleistung die Betrachtung der mittleren Tagesverbräuche besser geeignet.

## 5.2 Aufteilung des Wärmeverbrauchs auf die Heizkessel

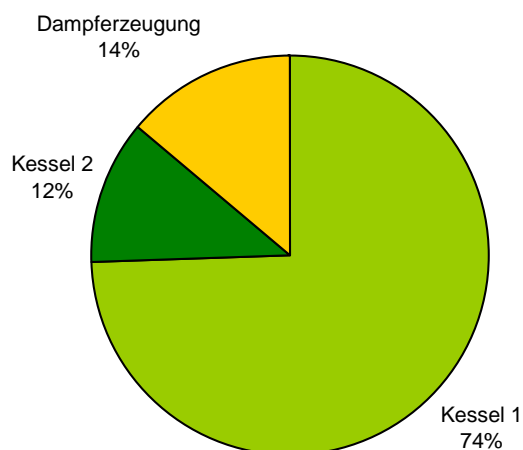
An jedem Heizkessel wurde von dem Betriebspersonal ein Ölzähler installiert. Mit Ausnahme des Dampfkessels im Kloster konnten alle Zähler über einen Impulsausgang messtechnisch erfasst werden. Die Verbräuche des Dampfkessels im Kloster wurden über Aufschreibungen ermittelt, und um die zur Warmwasserbereitung im Sommer benötigte Energie bereinigt. So konnte bei jeder Heizzentrale die Energie getrennt nach Dampf und Heißwasser ermittelt werden.

Im Exerzitienhaus wurden ca. 11 % der Energie (ca. 217 MWh im langjährigen Mittel) zur Dampferzeugung genutzt. Der Rest (ca. 1.700 MWh) wurde für Warmwasser- und Heizwärmebereitstellung genutzt (vgl. **Abbildung 5-3**).



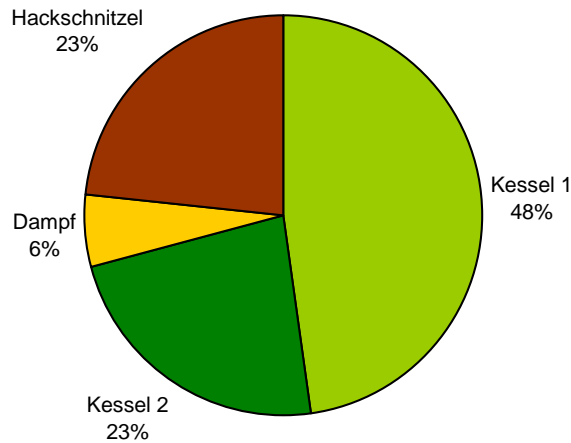
**Abbildung 5-3:** Aufteilung des Heizölverbrauchs auf die Wärmeerzeuger im Exerzitienhaus

**Abbildung 5-4** zeigt, dass im Kloster ca. 14 % (ca. 236 MWh) des Heizöls für die Dampferzeugung genutzt wurden, die restlichen 1.465 MWh für Warmwasser und Heizung.



**Abbildung 5-4:** Aufteilung des Heizölverbrauchs auf die Wärmeerzeuger im Kloster

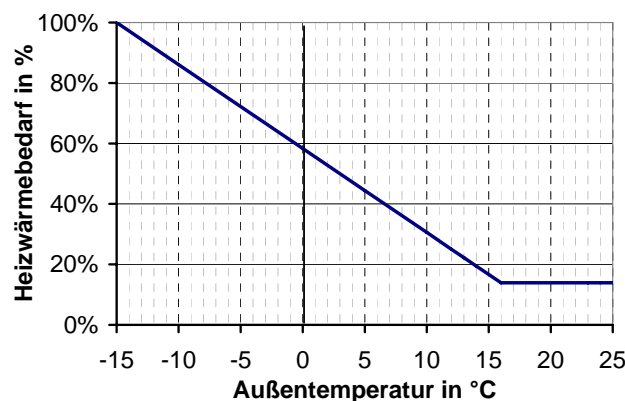
In der Schule ist der energetische Anteil zur Dampferzeugung in **Abbildung 5-5** mit 6 % (ca. 160 MWh) geringer als in den anderen Heizzentralen, was an den geringeren Verlusten der Dampferzeugung liegt. Zusätzlich zu den Ölheizungen wurden auch ca. 65 MWh durch die Hackschnitzelheizung bereitgestellt. Für Heizwärme und Warmwasser wurden in langjährigen Durchschnitt ca. 2.630 MWh (Heizöl und Hackschnitzel) verwendet.



**Abbildung 5-5:** Aufteilung des Heizölverbrauchs auf die Wärmeerzeuger in der Schule

### 5.3 Ermittlung von Kennlinien

Heizkennlinien zeigen eine von der Außentemperatur abhängige Größe, z.B. die zur Beheizung von Räumen benötigte Vorlauftemperatur oder die benötigte Leistung des Heizkessels. In **Abbildung 5-6** ist eine beispielhafte Heizkennlinie dargestellt. Bei Außentemperaturen über 16 °C wird nur der Warmwasserbedarf gedeckt, dementsprechend bleibt der Leistungsbedarf konstant. Sinkt die Außentemperatur unter die Heizgrenztemperatur von 16 °C, dann muss zunehmend geheizt werden. Bei der Auslegungstemperatur von -15 °C wird schließlich die gesamte Leistung des Heizkessels benötigt.



**Abbildung 5-6:** Lineare Heizkennlinie

Die Modellierung einer linearen Heizkurve zeigt bei hohen und niedrigen Temperaturen Abweichungen. Gründe hierfür sind:

- Bei hohen Außentemperaturen sinkt der Warmwasserbedarf, da z. B. kühler geduscht wird oder zum Händewaschen kühleres Wasser genutzt wird
- Bei niedrigen Außentemperaturen wird wegen der fühlbaren Kälte weniger gelüftet bzw. gekippte Fenster werden geschlossen. Die Lüftungswärmeverluste nehmen mit sinkender Außentemperatur nicht mehr linear zu.
- Bei Außentemperaturen unter  $-5\text{ °C}$  kann die Luft nur noch wenig Wasserdampf aufnehmen. Dadurch nimmt das Wettergeschehen ab, es gibt seltener Wolken und weniger Wind. Der Heizwärmebedarf nimmt nicht mehr linear mit sinkender Außentemperatur zu.

Daher ist eine Sigmoidfunktion für die Modellierung einer Heizkurve besser geeignet als eine lineare Heizkurve /GEI02 S. 3 ff/.

Die symmetrische Sigmoidfunktion entspricht einer integrierten Gaussverteilung. Obwohl die Parameter einer symmetrischen Sigmoidfunktion den mittleren Bereich der Heizkurve gut wiedergeben, genügt die Funktion nicht allen Messwerten. Für hohe Temperaturen sollte der Knick stärker ausgeprägt sein, bei niedrigen Temperaturen wäre eine schwächere Krümmung besser. Dieses Problem kann mittels einer asymmetrischen Sigmoidfunktion gelöst werden, welche über einen weiteren Parameter durch Steigung bzw. Stauchung angepasst werden kann.

## 5.4 Heizkennlinien

Für jede Heizzentrale wurden aus den Messwerten die Parameter einer Heizkennlinie als asymmetrische Sigmoidfunktion berechnet. Die stündlichen Verbräuche haben z. B. durch Wind oder Sonne eine zu hohe Streuung, um eine Heizkennlinie zu erzeugen. Daher wurden die Stundenwerte zu Tageswerten zusammengefasst. Durch die thermische Trägheit der Gebäude zeigt der Heizwärmebedarf auch eine Abhängigkeit von den Bedingungen der letzten Tage, so führt beispielsweise ein Kälteeinbruch nicht zu einer sofortigen Erhöhung des Heizwärmebedarfs, sondern erst nach einigen Stunden. Daher wird bei der Erstellung der Heizkurven mit einer mittleren 3-Tages Außentemperatur gearbeitet.

### Exerzitien-Haus

**Abbildung 5-7** zeigt die ermittelte Heizkennlinie (asymmetrische Sigmoidfunktion) des Exerzitien-Hauses, die der Berechnung zugrunde liegenden Tageswerte (grün) und die Stundenwerte (grau). Während die Stundenwerte durch die hohe Streuung nur in einem großen Band um die Kennlinie liegen, gibt die Kennlinie die Tageswerte gut wieder. Für Temperaturen bis  $-5\text{ °C}$  sind Tageswerte vorhanden, für Temperaturen bis  $-10\text{ °C}$  sind Stundenwerte vorhanden. Es ergibt sich ein maximaler Heizwärmebedarf von ca. 390 kW.

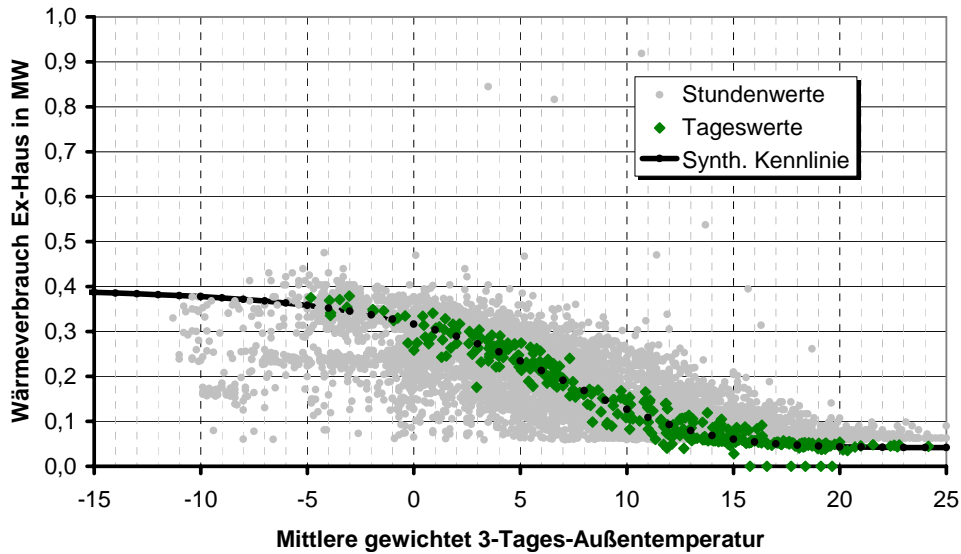


Abbildung 5-7: Heizkennlinie für das Exerzitenhaus

Wird die Kennlinie nicht über sortierten Temperaturen aufgetragen, sondern über dem zeitlichen Verlauf der mittleren 3-Tages-Außentemperatur, so erhält man den synthetischen Lastgang des Heizwärmebedarfs. In **Abbildung 5-8** sind die Außentemperatur, der mittlere gemessene Tagesenergieverbrauch des Exerzitenhauses und der synthetische Heizwärmeverbrauch dargestellt. Schön ist dabei zu erkennen, wie der Energiebedarf den fallenden bzw. steigenden Außentemperaturen folgt. Die Abweichungen zwischen gemessenem und synthetischem Verbrauch sind durch nicht berücksichtigte Einflüsse, wie z. B. Sonnenschein und Wind verursacht. Dennoch zeigen die Kurven eine hohe Übereinstimmung.

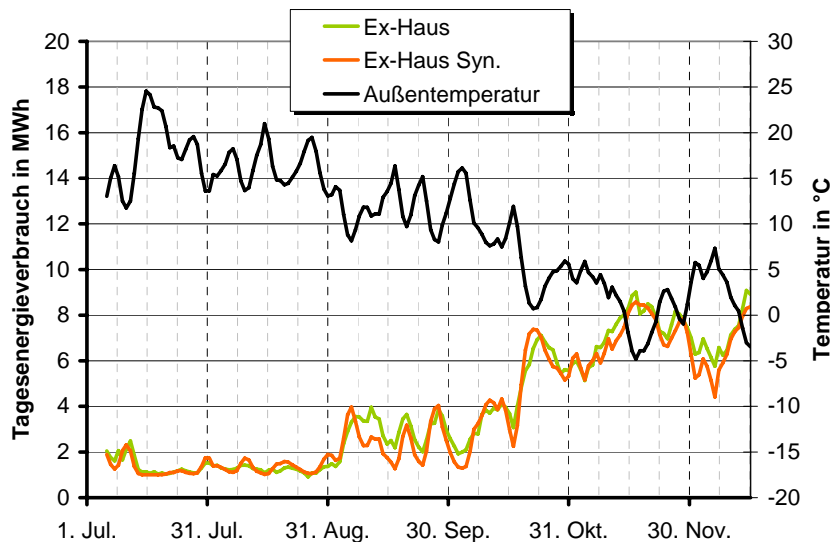


Abbildung 5-8: Vergleich der Messwerte mit der berechneten Kennlinie

### Kloster

Die synthetische Heizkennlinie des Klosters ist in **Abbildung 5-9** dargestellt. Es ergibt sich ein maximaler Heizwärmebedarf von ca. 420 kW. Bei den Stundenwerten ist auffällig, dass es keine Stundenwerte größer als 412 kW gibt. Dies liegt daran, dass nur Kessel 2 eingeschaltet war und viele Stunden mit maximaler Leistung lief.

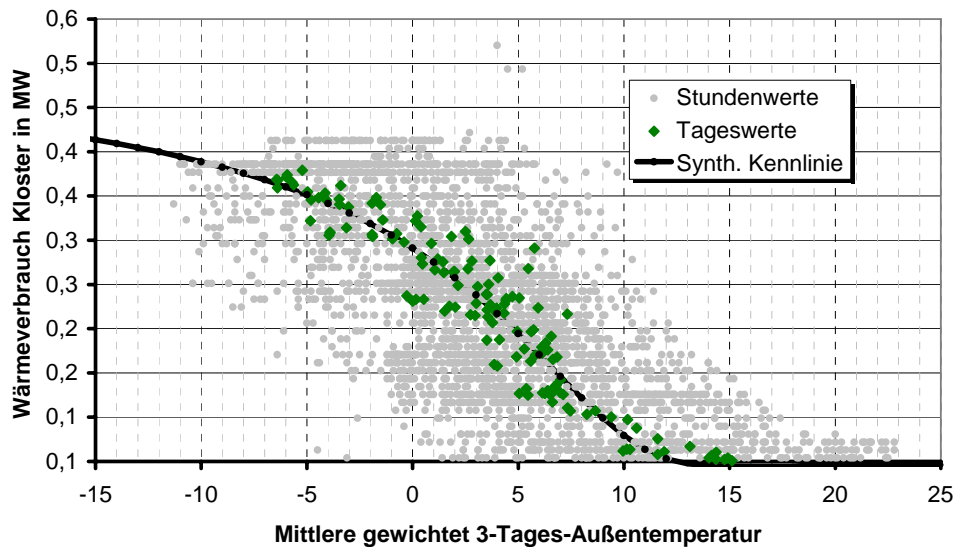


Abbildung 5-9: Heizkennlinie für das Kloster

In **Abbildung 5-10** sind der mittlere gemessene Tagesenergieverbrauch des Klosters und der synthetische Heizwärmeverbrauch dargestellt.

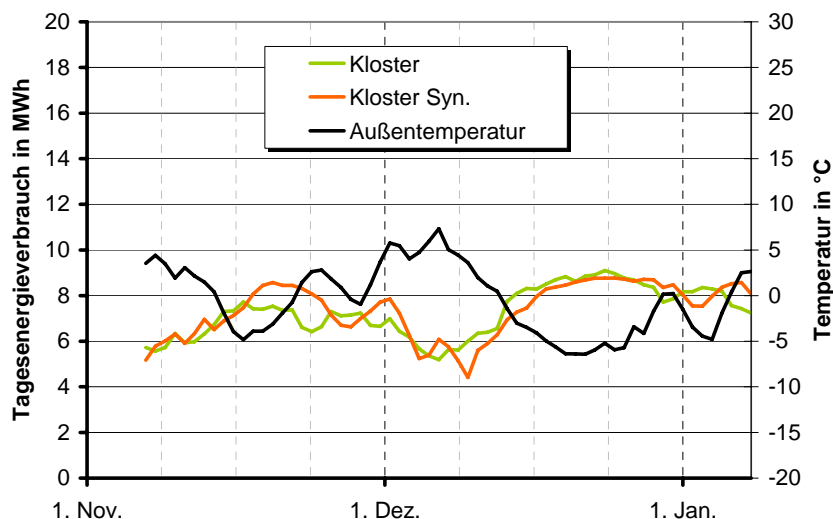
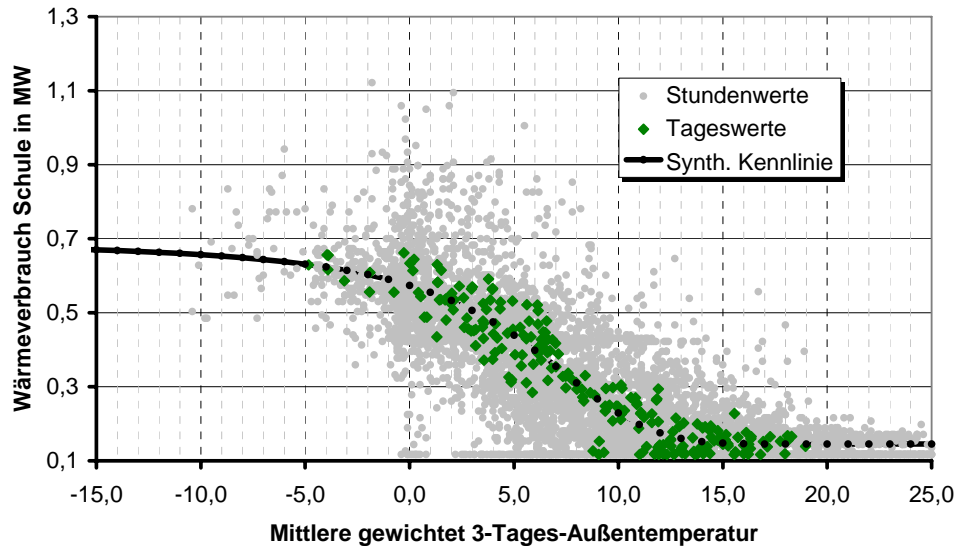


Abbildung 5-10: Vergleich der Messwerte mit der berechneten Kennlinie

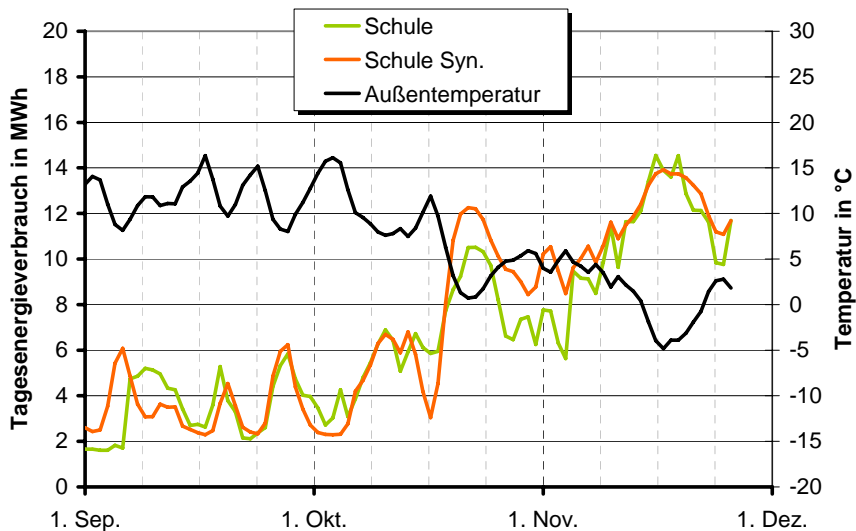
## Schule

Die synthetische Heizkennlinie der Schule ist in **Abbildung 5-11** dargestellt. Es ergibt sich ein maximaler Heizwärmebedarf von ca. 620 kW. Die maximale Leistung der Kessel von ca. 1,6 MW wird kaum benötigt.



**Abbildung 5-11:** Heizkennlinie für die Schule

Der mittlere gemessene Tagesenergieverbrauch der Schule wird zusammen mit dem synthetischen Heizwärmeverbrauch in **Abbildung 5-12** dargestellt.



**Abbildung 5-12:** Vergleich der Messwerte mit der berechneten Kennlinie

### Synthetische Gesamt-Heizkennlinie

Die Aufsummierung der drei Heizkennlinien von Exerzitenhaus, Schule und Kloster ergibt die Gesamt-Heizkennlinie in **Abbildung 5-13**. Der maximale Heizwärmebedarf bei  $-16\text{ °C}$  beträgt  $1.430\text{ kW}$ . In dem Bild ist auch die auf Basis höherer Temperaturen geschätzte Heizkennlinie eingezeichnet. Um keinen zu niedrigen Bedarf für die Tage mit geringer Außentemperatur (für die keine Messwerte vorhanden waren) zu schätzen, wurde eine nahezu lineare Heizkennlinie angenommen. Die asymmetrische Sigmoidfunktion ergibt einen deutlich geringeren Wert. Betrachtet man den Temperaturbereich von  $0\text{ °C}$  bis  $-5\text{ °C}$ , so zeigt sich sowohl an den Tageswerten als auch an den Stundenwerten, dass die neue Heizkennlinie deutlich besser zu den Messwerten passt.

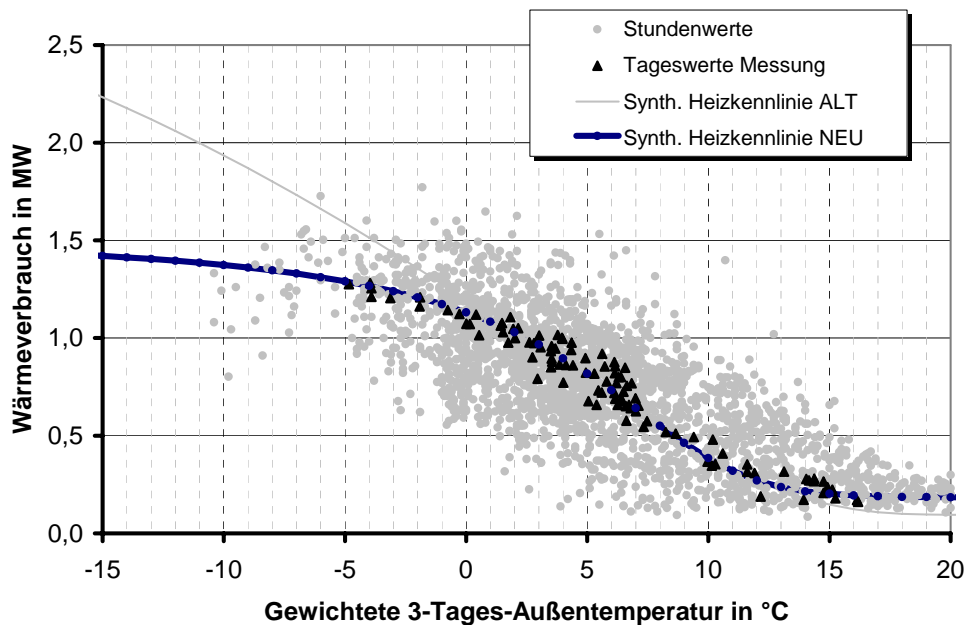
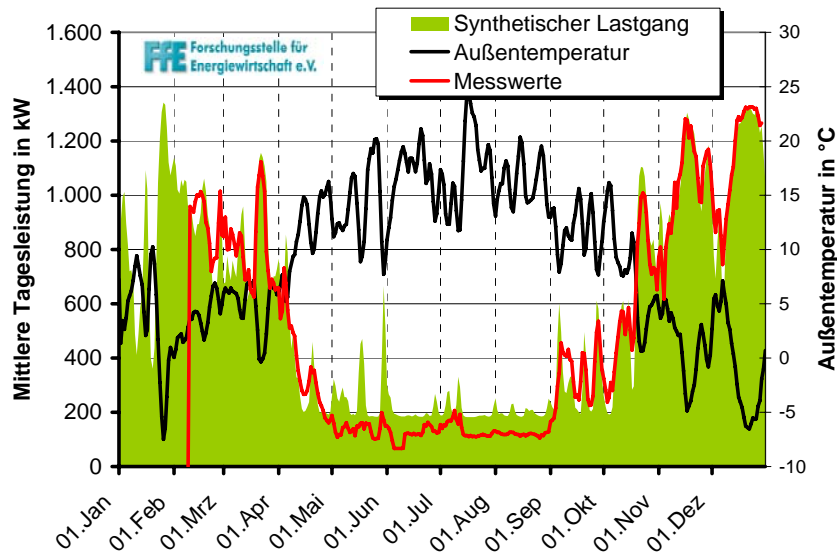


Abbildung 5-13: Gesamt-Heizkennlinie der drei Energiezentralen

Zur Validierung des synthetischen Lastgangs sind in **Abbildung 5-14** der gemessene Lastgang und der synthetische Lastgang gegenübergestellt. Als Basis für den synthetischen Lastgang wurden die Außentemperaturen von Landsberg am Lech 2007 gewählt (grüne Fläche). Ab dem 10. Februar liegen Messwerte für die drei Energiezentralen (rote Linie) vor. Die Übereinstimmung ist bis auf die Sommermonate sehr gut. In den Sommermonaten wurde im Kloster der Heizkessel abgeschaltet, die Warmwasserbereitung wurde von der nicht vermessenen Dampferzeugung übernommen. Daher fehlt der Warmwasserbedarf des Klosters im Sommer bei der Messung. In der synthetischen Heizkennlinie ist dieser Wärmebedarf enthalten.

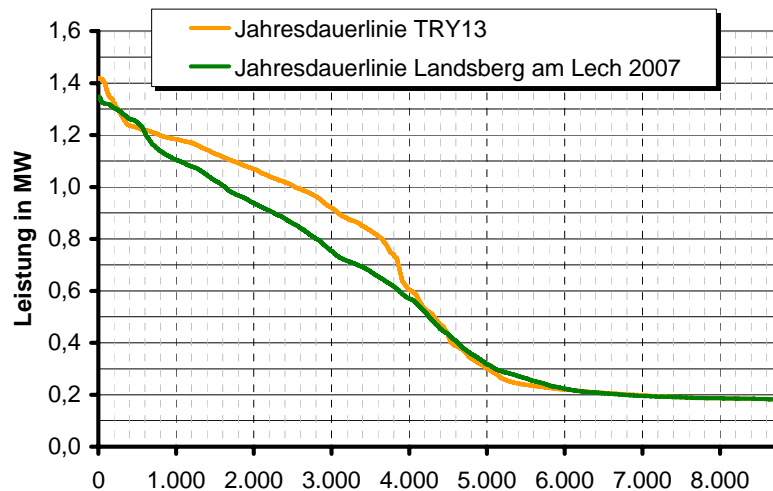


**Abbildung 5-14:** Vergleich zwischen gemessenem und synthetischem Lastgang

## 5.5 Jahresdauerlinie

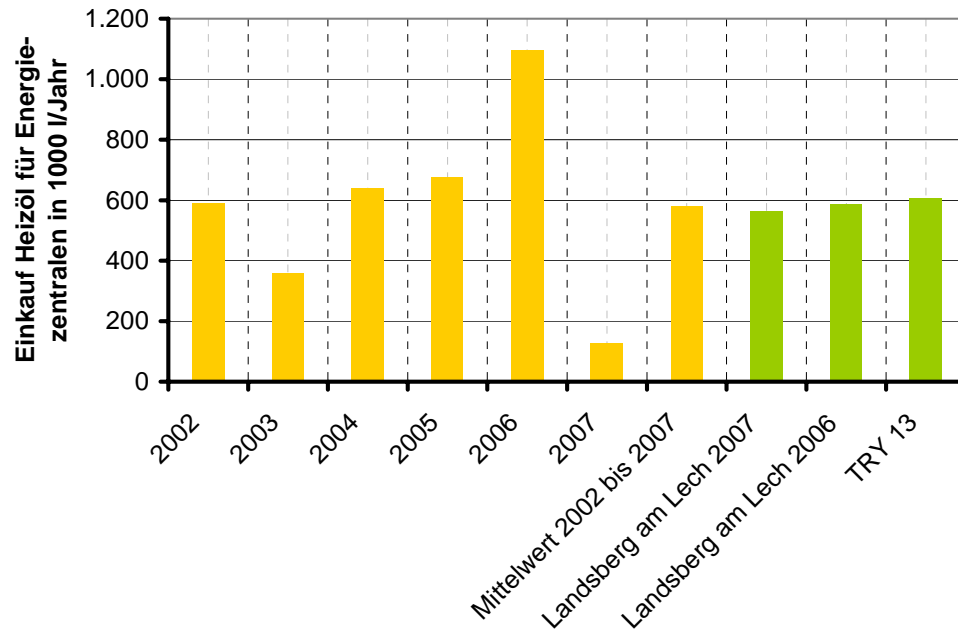
Eine Dauerlinie ist die nach abfallender Höhe und Häufigkeit ihrer Werte geordnete graphische Darstellung einer Größe. Aus der Dauerlinie lässt sich ablesen, wie lange ein bestimmter Wert der dargestellten Größe während der betrachteten Zeitspanne auftritt. Die Informationen über die zeitliche Abfolge der Werte geht dabei verloren. Bei einer Jahresdauerlinie beträgt die betrachtete Zeitspanne ein Jahr. Die Darstellung basiert in der Regel auf Monats-, Tages-, Stunden-, Halbstunden- oder Viertelstundenmittelwerten. Die Darstellung ist speziell für energetische Leistungsgrößen, wie den elektrischen oder thermischen Leistungsbedarf, geeignet. Die Fläche unter der Funktion entspricht dann der Energiemenge.

Zur Bestimmung des Deckungsgrads verschiedener Heizkessel wurden mit der synthetischen Heizkennlinie Jahresdauerlinien generiert. Um den Temperatureinfluss verschiedener Jahre zu zeigen, wurden die Temperaturen der Wetterstation von Landsberg am Lech 2007 und die Temperaturen des Test-Referenzjahrs 13 (Alpenvorland) zugrunde gelegt. Während in **Abbildung 5-15** beide Jahresdauerlinien etwa dieselbe Grundlast von 200 kW zeigen, sind die Leistungen der 800sten bis 4.000sten Stunde bei den TRY-13 Werten höher, was an niedrigeren Außentemperaturen in diesen Stunden liegt. Auch die Spitzenlast bei TRY-13 ist höher, da die niedrigste Temperatur im TRY-13 Jahr bei  $-21^{\circ}\text{C}$  liegt, während in Landsberg am Lech lediglich  $-15^{\circ}\text{C}$  gemessen wurde.



**Abbildung 5-15:** Jahresdauerlinien des mittleren Heizwärmebedarfs für die Temperaturen der Wetterstation Landsberg am Lech und das Test-Referenz-Jahr TRY-13

Das Integral der einzelnen Werte der Jahressauerlinie ergibt den Jahresenergieverbrauch. Zur Kontrolle, ob die Berechnung zu niedrige oder hohe Leistungen und somit Verbrauchswerte ergibt, wurde der berechnete Jahresenergieverbrauch mit dem Heizölbezug verglichen. **Abbildung 5-16** zeigt den Heizölbezug der Jahre 2002 bis 2007 (orange) und den auf Basis der Heizkennlinien berechneten äquivalenten Heizölverbrauch (grün).



**Abbildung 5-16:** Validierung der Ergebnisse mit dem Heizölbezug (bei grünen berechneten Werten wurde der alte Hackschnitzelkessel berücksichtigt)

Durch die großen Heizöltanks ist jedoch eine Vorratshaltung möglich, wodurch die Bildung von Jahresverbräuchen schwierig ist. So wurde beispielsweise im Jahr 2006 deutlich mehr Heizöl eingekauft als in den vorherigen Jahren. Dafür wurde 2007 wiederum deutlich weniger Heizöl gekauft.

Ein Vergleich der grün eingezeichneten berechneten Werte mit den Jahren 2004, 2005 oder dem Mittelwert 2002/2007 zeigt, dass die berechneten Heizkennlinien tendenziell etwas höher liegen. Daraus folgt, dass tendenziell eher mit zu hohen als zu niedrigen Verbrauchswerten gerechnet wurde. Die berechneten Verbräuche wurden um den Hackschnitzelkessel und den Ölverbrauch für die Dampferzeuger korrigiert, um ein vergleichbares Ergebnis zu erhalten.

## 6 Ermittlung der Einsparungen

### 6.1 Dampferzeugung

Jede Heizzentrale hat für den Küchenbetrieb (Spülmaschinen, Kochen/Garen, Tellervorwärmung) einen Dampferzeuger. Dampferzeuger haben prinzipiell einen geringeren Nutzungsgrad als Heizwärmeerzeuger, da durch die höhere Mediumstemperatur das Rauchgas heißer ist und somit weniger Wärme genutzt werden kann. Hierzu kommt, dass die Leitungen der Kondensatrückführung teilweise ungedämmt sind, wodurch ganzjährig Wärmeverluste entstehen.

So wurde in einem ersten Schritt geprüft, ob eine Umstellung von Dampf auf elektrische Wärmebereitstellung bzw. die Nutzung von Heizungswasser möglich ist, um zumindest in einer Unterzentrale den Dampferzeuger abbauen zu können. Dies hätte auch den Vorteil, dass die nach dem Wegfall der Heizkessel zu groß dimensionierten Heizöltanks auch entfernt werden könnten.

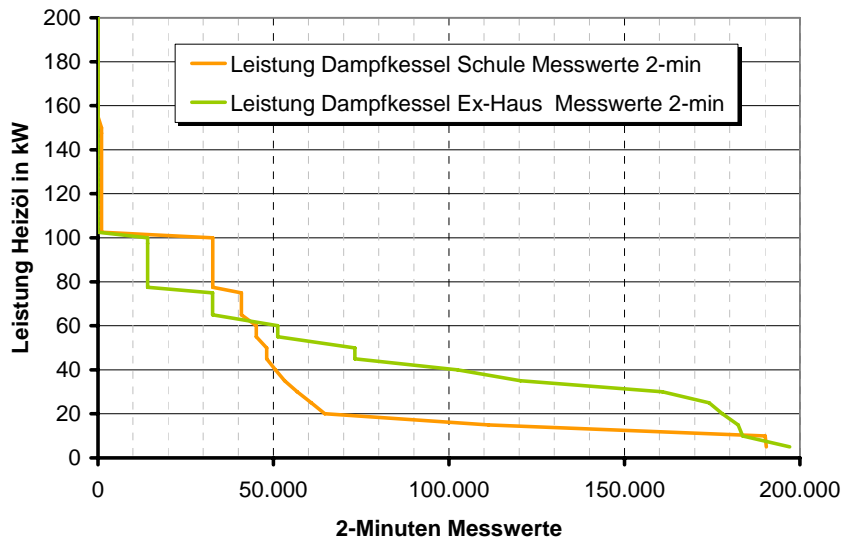
**Tabelle 6-1** zeigt eine Liste der Dampfverbraucher mit Leistung und Betriebszeiten. Die grün hinterlegten Felder sind Schätzwerte auf Basis ähnlicher Anlagen. Die Wärmeschränke könnten auch mit Heizungswasser betrieben werden, da sie nur Temperaturen um ca. 30°C benötigen. Durch ihr Alter tritt stellenweise ein wenig Dampf aus. Dies ist bei Dampf unproblematisch, würde aber bei Heizungswasser zu erhöhtem Aufwand bei der Abdichtung führen.

**Tabelle 6-1:** Auflistung der Dampfverbraucher in den Unterzentralen

| Gebäude       | Raum-Nutzung  | Dampfverbraucher (z.B. Spülmaschine) | Hersteller (z.B. AEG) | Typ (z.B. K800 R2) | Dampfbedarf (lt. Typenschild) | Betriebszeit (von ... bis Uhr) | Baujahr | Leistung in kW |
|---------------|---------------|--------------------------------------|-----------------------|--------------------|-------------------------------|--------------------------------|---------|----------------|
| Kloster       | Küche         | Kochkessel 60 l                      | ELWA 95-5038          | 2106 D             | 37 kg                         | 700 bis 1800                   | 1995    | 22,9           |
| Kloster       | Küche         | Kochkessel 30 l                      | ELWA 95-5093          | KKS 30-D           | 22 kg                         | 700 bis 1800                   | 1996    | 13,6           |
| Kloster       | Küche         | Wärmeschrank                         | ELWA 95-5047          | C54-10417          | 11 kg                         | 700 bis 1800                   | 1995    | 6,8            |
| Kloster       | Nebenraum     | Wärmeschrank                         | MALAG                 | ohne Typenschild   | 11 kg                         | 700 bis 1800                   |         | 6,8            |
| Kloster       | Nebenraum     | Lüftungsanlage Luftheritzer          |                       |                    | 1,5 kg                        | selten im Winter               |         | 0,9            |
| Kloster       | Nebenraum     | Spülmaschine (Korbtransport)         | MEIKO K 200 VAP       | GG76 515           | 35 kW                         | 3/d mit je 15'                 | 1991    | 35,0           |
| Kloster       | Sauna         | 3 Heizkörper                         |                       |                    | 0,5 kg                        | Winter                         |         | 0,3            |
| Kloster       | Unterküche    | Kochkessel 200 l                     | ohne Typenschild      |                    | 40 kW                         | pro Woche 3h                   |         | 40,0           |
| Kloster       | Unterküche    | Warmwasser (nur im Sommer)           | Heider                | Robo 800 l         |                               |                                |         |                |
| Kloster       | Unterküche    | Warmwasser (nur im Sommer)           | Heider                | Robo 800 l         |                               |                                |         |                |
| Exerzitenhaus | Küche         | Kochkessel mit 2x 80l                |                       |                    | 31+31 kW                      | 700 bis 1800                   |         | 62,0           |
| Exerzitenhaus | Küche         | Kochkessel mit 2x 150l               |                       |                    | 41+41 kW                      | 700 bis 1800                   |         | 82,0           |
| Exerzitenhaus | Küche         | Wärmeschrank                         |                       |                    | 11 kg                         | 700 bis 1800                   |         | 6,8            |
| Exerzitenhaus | Teeküche 1.OG | Spülmaschine Haubenmodell            | HOBART AMX70E         | 86310860           | 15 kW nachmittags             | 700 bis 1800                   | 2000    | 15,0           |
| Exerzitenhaus | Keller        | Warmwasser (nur im Sommer)           | Heider                | Robo 800 l         |                               |                                |         |                |
| Exerzitenhaus | Keller        | Warmwasser (nur im Sommer)           | Heider                | Robo 800 l         |                               |                                |         |                |
| Schule        | Küche         | Kochkessel 80l +150 l                |                       |                    | 31+41 kW                      | 700 bis 1500                   |         | 72,0           |
| Schule        | Küche         | Wärmeschrank                         | ELWA 92-1657          | Z36545             | 7 kg                          | 700 bis 1500                   | 1992    | 4,3            |
| Schule        | Küche         | Spülmaschine                         | MEIKO K 200 VAP       | GG83 047           | 35 kW                         | 2/d mit je 45'                 | 1992    | 35,0           |

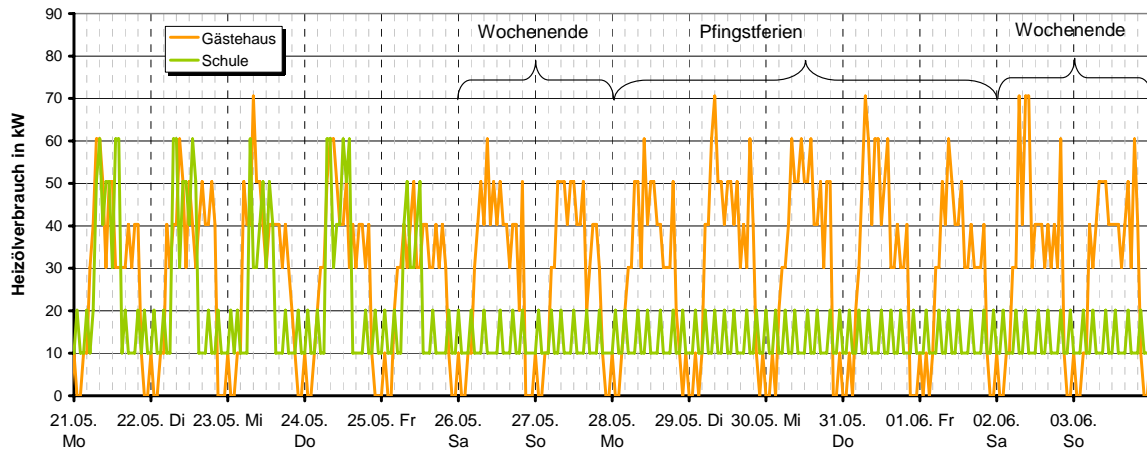
Die Spülmaschinen könnten auch mit Heizungswasser betrieben werden, würden allerdings je nach Fahrweise eine elektrische Nachheizung benötigen. Problematisch wäre der Austausch der Kochkessel. Da nicht mehr alle Hersteller der Anlagen existieren, ist bei einem Umbau kaum Unterstützung durch den Hersteller zu erwarten. Es hat sich gezeigt, dass eine Vermeidung des Dampfbedarfs kaum möglich ist. Um die Dampfbereitstellung zu optimieren, wäre nur eine Zusammenlegung von Küchen möglich.

Zur Prüfung der Verbraucherliste, und um den realen Leistungsbedarf der Dampferzeugung zu ermitteln, wurde eine sortierte Dauerlinie der Dampferzeugung gebildet. **Abbildung 6-1** zeigt, dass unter Vernachlässigung der sehr selten auftretenden Einschaltspitzen sowohl das Exerzitienhaus als auch das Kloster einen Leistungsbedarf von ca. 100 kW Heizöl für die Dampferzeugung haben. Bei ca. 80 % Nutzungsgrad wäre dies eine Dampfleistung im Betrieb von ca. 80 kW. Da nicht alle Verbraucher gleichzeitig die maximale Leistung benötigen, liegt dieser Wert unterhalb der Leistungssumme aller Verbraucher im Kloster.



**Abbildung 6-1:** Dauerlinie des Heizölverbrauchs der Dampfkessel

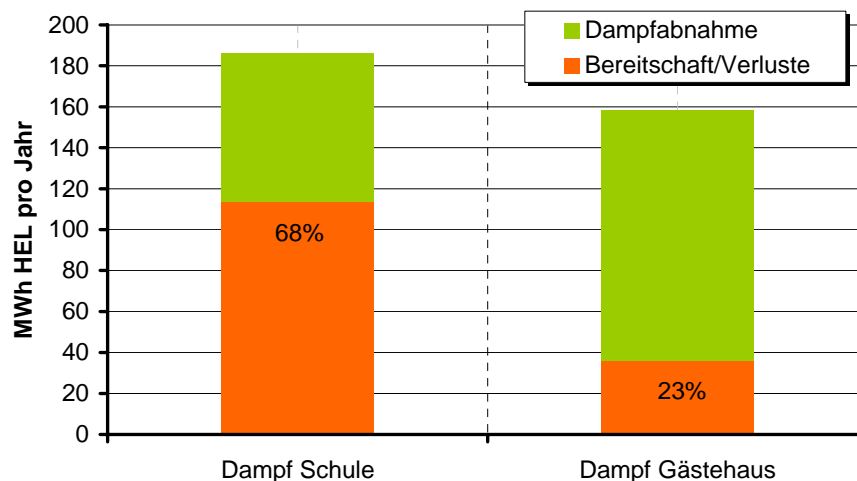
Im nächsten Schritt wurde das Betriebsverhalten der Dampferzeugung untersucht. In **Abbildung 6-2** sind die Lastgänge des Heizölverbrauchs für die Dampferzeugung im Exerzitienhaus (Gästehaus) und in der Schule über zwei Wochen dargestellt. In der ersten Woche sind tagsüber die Verbräuche für den Küchenbetrieb zu sehen, und nachts die Wärmeverluste des Systems. Die Wärmeverluste entstehen durch ungedämmte Kondensatleitungen, Wärmeverluste an den Armaturen und Oberflächen, sowie durch Undichtigkeiten und treten während der gesamten Betriebszeit auf. Die neuere Dampferzeugung im Exerzitienhaus hat ca. 5 kW Wärmeverluste, was gegenüber der maximalen Leistung lediglich 7 % Verlust sind. Die Dampferzeugung in der Schule hat ca. 13 kW Verluste, was ca. 22 % entspricht. Es ist zu erwarten dass die Dampferzeugung im Kloster ähnliche Einbußen hat.



**Abbildung 6-2:** Lastgang des Heizölverbrauchs für Dampferzeugung

Die Dampferzeugung lief zur Zeit der Messung ohne Unterbrechung. So wurde auch in der Schule zu Ferienzeiten die Dampferzeugung nicht abgeschaltet. Eine komplette Abschaltung der Dampferzeugung in der Schule an schulfreien Tagen wäre wegen sporadisch stattfindenden Veranstaltungen nicht ohne weiteres möglich.

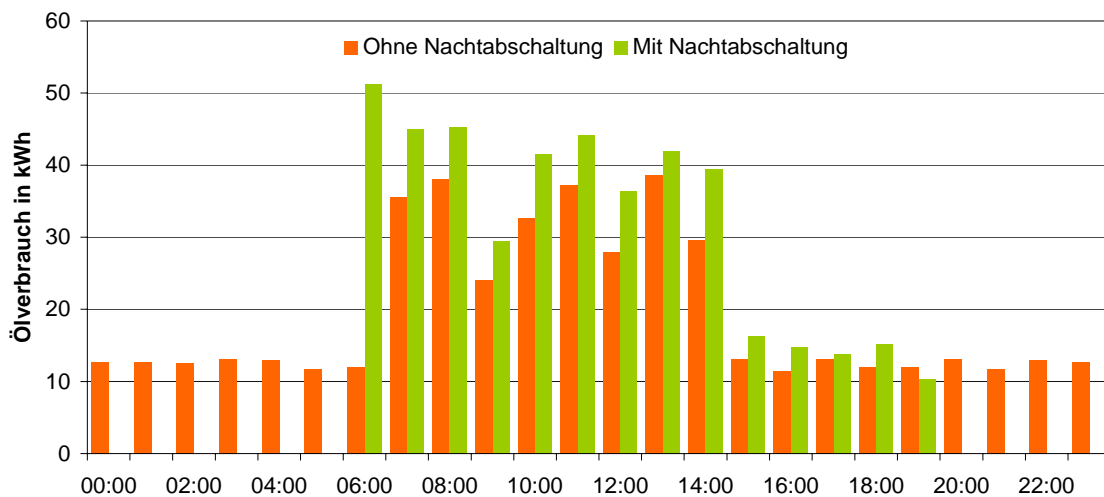
**Abbildung 6-3** zeigt die Aufteilung des Heizölverbrauchs der Dampfkessel auf Verluste und Dampfabnahme. Da die Wärmeverluste fortwährend auftreten, während die Dampfabnahme nur auf wenige Tagesstunden begrenzt ist, treten in dieser Energiebilanz die Verluste deutlich zu Tage. So ergeben sich für das Exerzitenhaus 23 % Verluste. In der Schule wird 68 % des eingesetzten Heizöls als Verlust an die Umgebung abgegeben.



**Abbildung 6-3:** Aufteilung des Heizöleinsatzes zur Dampferzeugung in Schule und Gästehaus auf Dampfabnahme und Bereitschaftsverluste

Mittels der Betriebszeiten wurde berechnet, wie viel Energie gespart werden kann, wenn die Dampfbereitstellung zumindest nachts (z. B. über Zeitschaltuhr) abgeschaltet wird. So könnten in der Schule ca. 8.600 l Heizöl pro Jahr eingespart werden (ca. 4.300 EUR). Im Exerzitenhaus könnten ca. 1.400 l und im Kloster ca. 4.200 l Heizöl durch Nachtabschaltung der Dampferzeugung gespart werden.

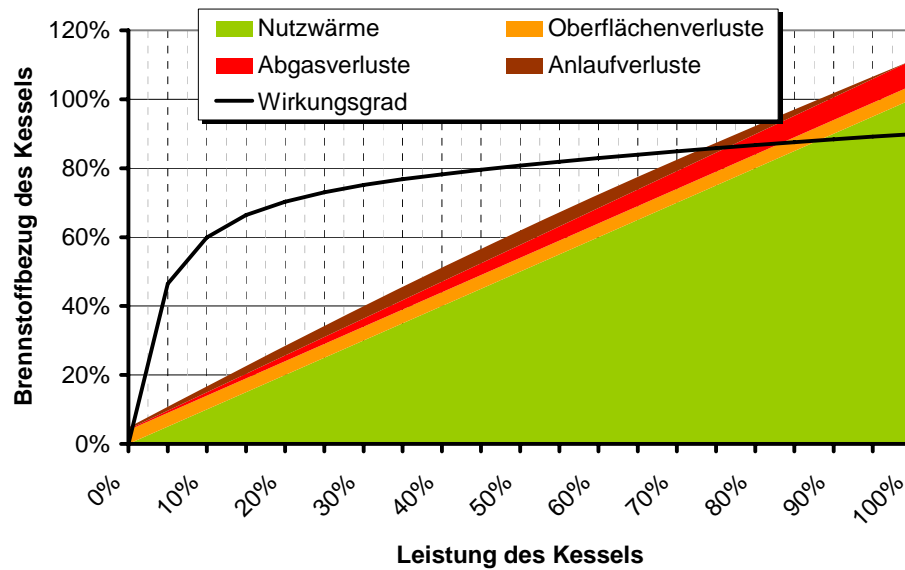
Diese Maßnahme wurde bereits umgesetzt. So zeigt **Abbildung 6-4** den Vergleich des Heizölverbrauchs der Dampferzeugung im Zeitraum vom 06.08.2007 00:00 Uhr bis 12.08.2007 23:58 Uhr (vor der Nachtabschaltung) und vom 20.08.2007 00:00 Uhr bis 26.08.2007 23:58 Uhr (nach der Abschaltung). Es wurde jeweils der mittlere Heizölverbrauch pro Stunde über eine Woche ermittelt. Deutlich ist der Wegfall des nächtlichen Verbrauchs zu sehen. Aus den Messungen des Ölverbrauchs errechnet sich für diesen Zeitraum (eine Woche) eine Einsparung von 565 l Heizöl allein in der Schule. Dabei ist anzumerken, dass der Betrachtungszeitraum in den Ferien liegt. Für die Schulzeit können sich andere Zeitfenster für die Nachtabschaltung ergeben, was andere Einsparungen zur Folge hat.



**Abbildung 6-4:** Vergleich des Heizölverbrauchs mit und ohne Nachtabschaltung der Dampferzeugung in der Schule

## 6.2 Abschaltung Heizkessel

In jeder Heizzentrale sind zwei Heizkessel für Heizwärme- und Warmwassererzeugung installiert. Um bei Ausfall eines Kessels die Wärmeversorgung weiterhin gewährleisten zu können, sind beide Kessel etwa gleich groß dimensioniert und laufen parallel. So fallen an beiden Kesseln Wärmeverluste (Oberfläche und Abgasverluste durch Warmhalten des Kesselwassers) sowie Anfahrverluste (beim Ausblasen des Kessels vor dem Start) an. **Abbildung 6-5** zeigt die Wärmeverluste eines Heizkessels in Abhängigkeit der Leistung. Die Oberflächenverluste bleiben unabhängig von der Leistung immer gleich, die Abgasverluste steigen mit der Leistung. Die Anlaufverluste steigen bis ca. 50 % der Leistung, da bis zu diesem Punkt der Kessel bei Erhöhung der Leistung häufiger startet. Darüber hinaus sinken die Anlaufverluste wieder, da der Kessel dann bis zur Nennlast immer länger durchläuft und weniger häufig starten muss. Um 100 % Nutzwärme zu erzeugen, verbrennt der Kessel ca. 111 % Heizöl. Diese Darstellung entspricht einem Heizölkessel mit 90 % Wirkungsgrad. Da kein Kessel immer mit Nennlast läuft, liegt der Nutzungsgrad, welcher über längere Zeiträume ermittelt wird, durch den Teillastbetrieb oft deutlich unterhalb des Wirkungsgrads.



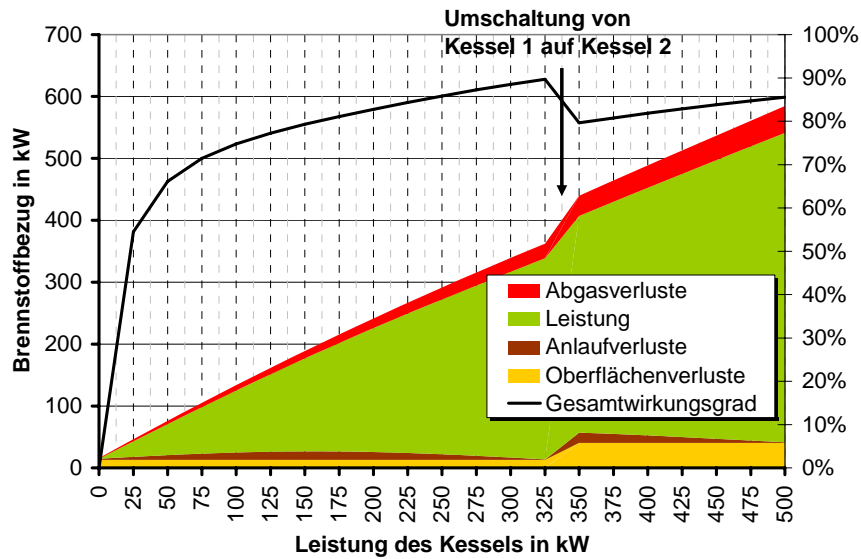
**Abbildung 6-5:** Wärmeverluste eines Heizkessels in Abhängigkeit der Auslastung und daraus resultierender Wirkungsgrad

Werden nun zwei Heizkessel im Parallelbetrieb gefahren, so wird weiterhin dieselbe Nutzwärme erzeugt, allerdings mit den Verlusten beider Kessel.

Um den parallelen Lauf von zwei Heizkesseln zu vermeiden, gibt es zwei Möglichkeiten:

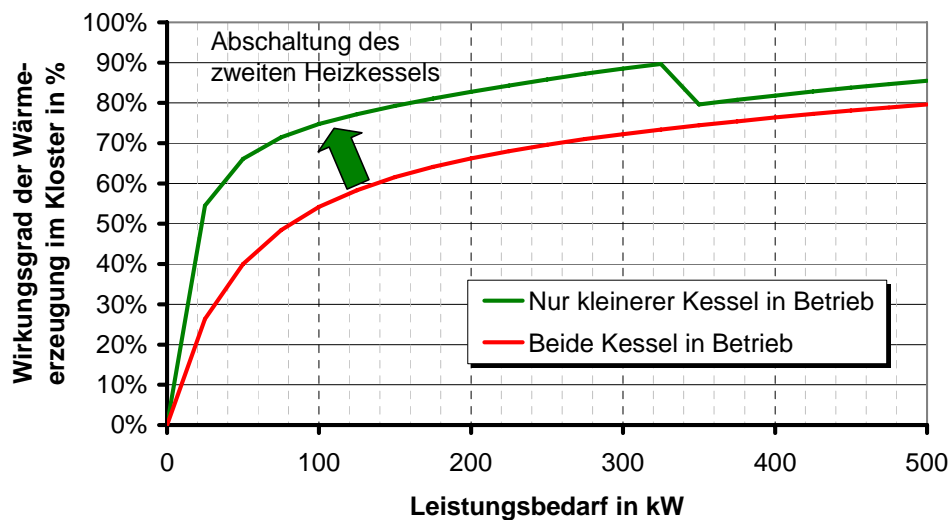
- Aufbau einer Kesselfolgesteuerung. Viele größere Heizkessel können auch einen weiteren Kessel steuern. Ist dies nicht möglich, so kann stattdessen eine externe Steuerung beide Kessel so steuern, dass ein Kessel nur Grundlast abdeckt, und der andere Kessel die Spitzenlast
- Abschaltung eines Kessels.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

Bei unterschiedlichen Kesselleistungen wird z. B. im Sommer und der Übergangszeit der leistungsmäßig kleinere Kessel betrieben, und wenn dessen Leistung nicht ausreicht, auf den größeren Kessel umgeschaltet. In **Abbildung 6-6** ist der Wirkungsgradverlauf bei Umschaltung von einem 325 kW Kessel auf einen 500 kW Kessel (Kloster) dargestellt. Bei Umschaltung zwischen den Kesseln wird auch zwischen den Wirkungsgradkennlinien gewechselt, wodurch sich sowohl andere Verluste als auch ein geringerer Wirkungsgrad ergeben.



**Abbildung 6-6:** Wärmeverluste und Wirkungsgrad von zwei Kessel mit lastabhängiger Kesselumschaltung

In **Abbildung 6-7** sind die Wirkungsgradkennlinien eines parallelen Kesselbetriebs (rote Linie) und eines alternierenden Kesselbetriebs (grüne Linie) dargestellt. Im Parallelbetrieb sind die Verluste immer höher als bei Betrieb von nur einem Kessel, daher liegt die rote Wirkungsgradlinie fortwährend unter der grünen. Durch die Umschaltung zwischen den Kesseln kann gegenüber dem parallelen Betrieb ca. 10 % bis 12 % des jährlichen Heizölbezugs eingespart werden.



**Abbildung 6-7:** Vergleich des Wirkungsgrads von verschiedenen Kesselfahrweisen

Die Maßnahme wurde durch Abschaltung des jeweils größten Kessels umgesetzt. Diese Abschaltung von je einem Kessel pro Unterverteilung hat ca. 127.000 EUR pro Jahr gespart.

## 7 Auswertung der Messdaten des Nahwärmenetzes

Im Rahmen der Erstellung der Heizzentrale und des Nahwärmenetzes wurde eine Gebäudeleittechnik in den Unterzentralen (Exerzitienhaus, Schule und Kloster) und der neuen Heizzentrale aufgebaut. Jede Unterstation und die Heizzentrale können autark arbeiten, um z. B. bei einem Ausfall des Netzwerks dennoch die Wärmeversorgung sicherzustellen. In der Heizzentrale ist ein zentraler Rechner zur Visualisierung und zur Archivierung der Messdaten aufgestellt. An diesen Rechner übermitteln die einzelnen Zentralen vorher definierte Messwerte, so dass diese angezeigt und gespeichert werden können. Für den Betrieb der Anlage ist dieser Rechner nicht notwendig.

Die Datenwerte werden in einem festen Raster von zwei Minuten gespeichert. Die Auswertungen basieren auf dem Zeitraum vom 01.12.2008 bis zum 02.04.2009. Die Anlage war vor dem 01.12.2008 schon in Betrieb, doch es waren noch nicht alle Sensoren in Betrieb. Zwar wurden auch nach dem 01.12.2008 Änderungen an der Anlage durchgeführt, doch für die meisten Auswertungen ist die Datenqualität ab diesem Datum ausreichend. Es werden alle zwei Minuten 608 Datenpunkte gespeichert, dies ergibt für den Betrachtungszeitraum ca. 53,8 Mio. Messwerte.

In diesem Kapitel wird zuerst die Außentemperatur betrachtet, da sie die Basis für alle weiteren Betrachtungen zum Heizwärmeverbrauch darstellt. Dann wird der Betrieb der Heizkessel mit Fokus auf einen möglichst seltenen Einsatz der Heizölkessel untersucht. Folgt man dem Wärmefluss, ist die nächste Station der Pufferspeicher, welcher zur Abfederung von Bedarfsspitzen dient und eine an den Bedarf angepasste Bewirtschaftung benötigt. Der Wärmeverluste des Nahwärmenetzes wird untersucht.

Mit den Wärmeverbräuchen der Unterstationen und den dazugehörigen Außentemperaturen lassen sich Heizkurven generieren. Diese Heizkurven werden mit den im ersten Teil des Berichts erstellten Kurven verglichen, und die Unterschiede im Wärmeverbrauch der einzelnen Zentralen werden diskutiert. Mit dem Heizwärmebedarf der Verbraucher kann schließlich der gesamte Wärmeverbrauch von St. Ottilien berechnet werden.

Die Verknüpfung des Heizkesseleinsatzes und des Gesamtwärmeverbrauchs ermöglicht schließlich die Berechnung der CO<sub>2</sub>-Emissionen, die durch den Aufbau des Nahwärmenetzes und den Umstieg auf Hackschnitzel eingespart werden.

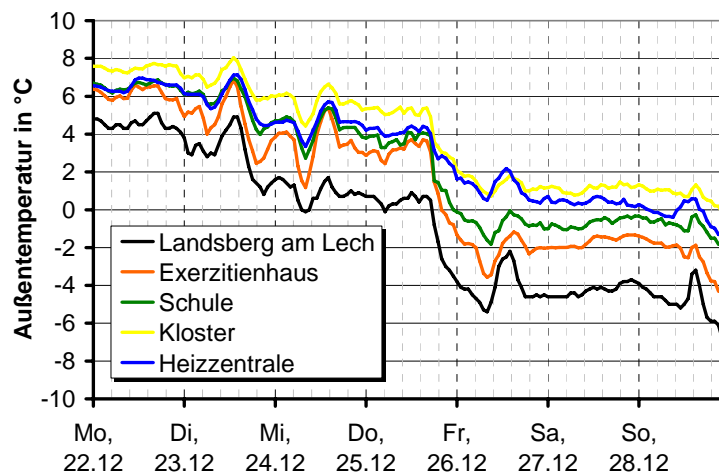
Der letzte Teil der Auswertungen beschäftigt sich mit den Temperaturen in der Heizzentrale. Um möglichst wenig Wärmeverluste an den Kesseln zu haben, sollte die Heizzentrale wenig Wärme verlieren. Andererseits darf es im Sommer auch nicht zu Übertemperaturen kommen.

### 7.1 Messung der Außentemperatur

Jede Unterstation hat eine eigene Messung der Außentemperatur, um auch bei Ausfall des Netzwerks autark regeln zu können. Nachteil dieser vielen Messungen der Außentemperatur ist, dass es keinen eindeutigen Wert gibt. Wenn Heizkreise in den verschiedenen Gebäuden bei z. B. 15 °C abschalten, passiert dies nicht gleichzeitig, sondern erst bei Erreichen der Temperatur an den einzelnen Gebäuden. In **Abbildung 7-1** sind die Messungen der Außentemperatur für eine kalte Woche zusammen mit der

Wetterstation Landsberg am Lech (/LfL07/) dargestellt. Die Wetterstation Landsberg wurde in der ersten Projektphase als Referenztemperatur genutzt, da keine Messwerte von St. Ottilien vorlagen.

Um die Ergebnisse mit den ersten Abschätzungen vergleichen zu können, wird diese Temperatur auch weiterhin als Referenztemperatur genutzt. Der prinzipielle Verlauf der Temperaturen ist immer synchron. Dies zeigt, dass die Messstellen gut gewählt sind und z. B. keiner direkten Sonnenbestrahlung ausgesetzt sind. Der Temperaturunterschied zu der Messstelle Landsberg am Lech ist teilweise durch die Entfernung zu begründen, teilweise auch durch die aufwendigere Messmethode auf dem freien Feld (nicht an einer warmen Hausmauer). Doch wie erwartet treten auch auf dem Gelände von St. Ottilien unterschiedliche Messwerte auf: Das Kloster zeigt fortwährend eine um ca. 2,0 K bis 2,5 K höhere Temperatur als das Exerzitenhaus. Dies hat Auswirkungen auf die Regelung, ist aber nicht problematisch, da die einzelnen Heizkennlinien einstellbar sind.



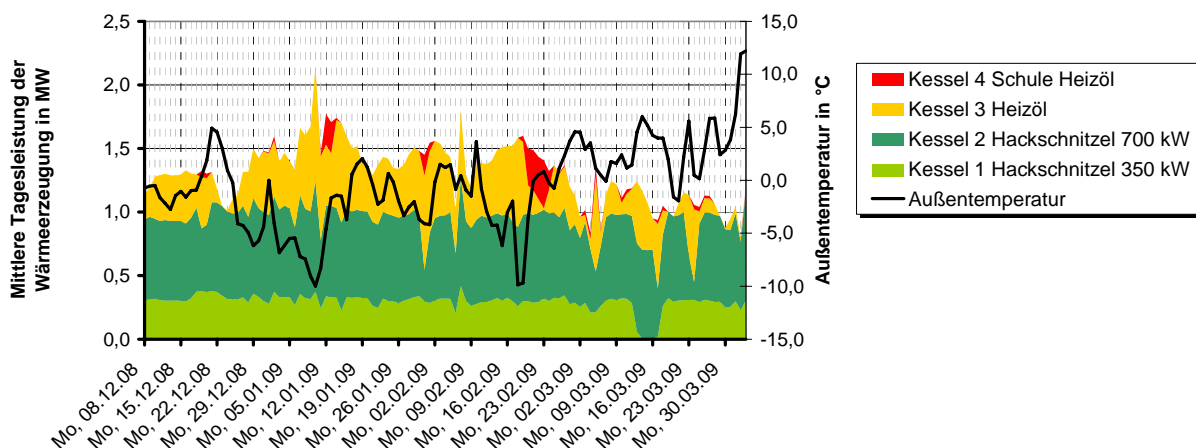
**Abbildung 7-1:** Vergleich der Außentemperatur-Messungen

Die niedrigste Außentemperatur in der Messperiode (1.12.2008 bis 15.03.2009) lag bei  $-15,9\text{ °C}$  in Landsberg am Lech, bei  $-12,7\text{ °C}$  an der Heizzentrale und bei  $-7,0\text{ °C}$  am Kloster. In der Heizperiode 2007/2008 lag die niedrigste Temperatur in Landsberg am Lech bei  $-11,3\text{ °C}$ . Somit ist anzunehmen, dass in der zweiten Messperiode die Anlage ungewöhnlich hohe Lasten fahren musste.

## 7.2 Einsatz der Heizkessel

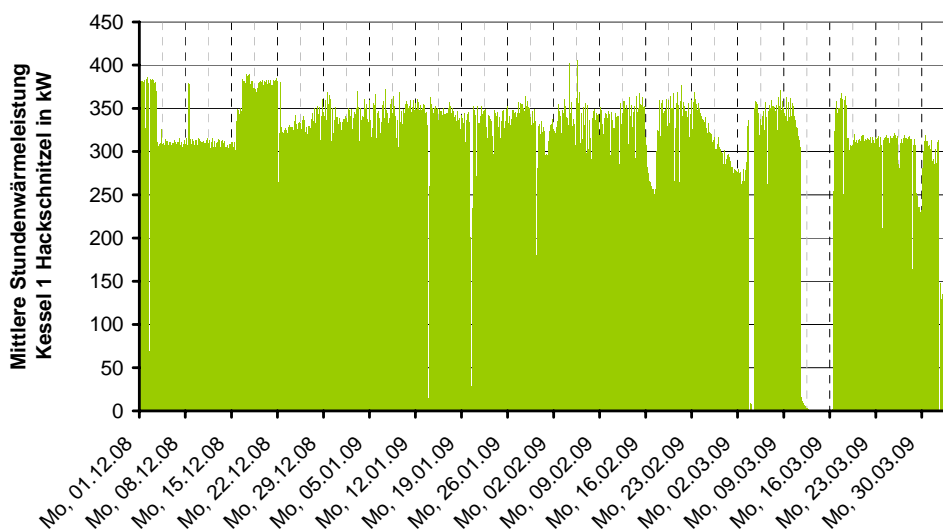
In St. Ottilien stehen vier Heizkessel zur Verfügung. Zwei Hackschnitzelkessel mit 350 kW und 700 kW und zwei Heizölkessel. Ein Heizölkessel steht in der Heizzentrale und speist zusammen mit den Hackschnitzelkesseln in das Nahwärmenetz ein. Der andere Heizölkessel steht in der Schule und dient zur Notbeheizung der Schule, wenn das Wärmenetz ausfallen sollte bzw. wenn ein Hackschnitzelkessel in Wartung/Reparatur ist. In **Abbildung 7-2** sind die mittlere Tagesleistung als kumulative Leistung der einzelnen Kessel sowie die Außentemperatur (Landsberg am Lech) dargestellt. Neben der Temperaturabhängigkeit des Gesamtverbrauchs zeigt sich,

das alle vier Kessel in Betrieb waren. Die maximale Last betrug ca. 2 MW und wurde von den in der Heizzentrale befindlichen Kesseln bereitgestellt. Der als Reserve gedachte Öl-Heizkessel 4 in der Schule kam mehrfach zum Einsatz. Dabei wurden aber nicht die Höchstlast gedeckt, sondern die geringere Einspeisung der Kessel 1 bis 3 kompensiert.



**Abbildung 7-2:** *Mittlere Tagesleistung der Wärmeerzeugung mit Aufteilung auf die Heizkessel*

Deutlich sind auch die Schwankungen der Wärmeerzeugung der Hackschnitzelkessel zu erkennen. In **Abbildung 7-3** ist die mittlere Stundenleistung des Hackschnitzelkessels 1 dargestellt.



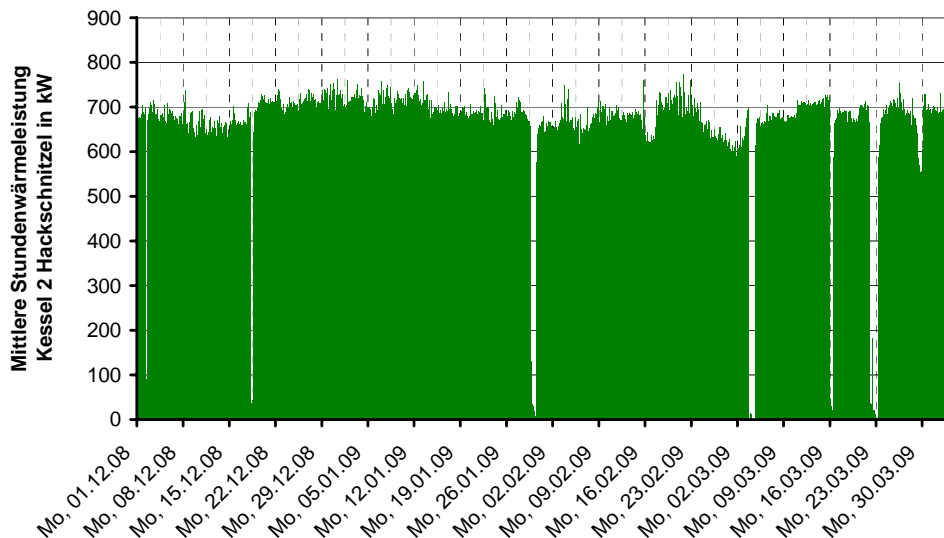
**Abbildung 7-3:** *Mittlere Stundenleistung der Wärmeerzeugung von Hackschnitzelkessel 1 mit 350 kW*

Die Nennleistung von 350 kW wird nur an wenigen Stunden erreicht. Dies liegt teilweise an der Wartung, für die der Kessel abgekühlt werden muss. Wieso die Leistung teilweise um ca. 300 kW pendelt, muss noch geklärt werden. Auffällig sind auch die Leistungseinbrüche im Dezember. Dies kann auf eine fehlerhafte Temperaturmessung

zurückgeführt werden. Bei Elektromontagearbeiten wurde der korrekt sitzende Vorlaufemperaturfühler aus der Tauchhülse entfernt und nicht mehr richtig zurückgeführt. Dadurch wurde eine zu geringe Kesselleistung angezeigt, obwohl der Kessel richtig arbeitete. Die Korrektur dieses Fehlers am 16.12.2008 führt zu einem sprunghaften Leistungsanstieg.

Es ist auch unklar, wieso der Kessel bis Ende 2008 relativ konstante Leistungen erbringt und ab 2009 starke Leistungsschwankungen zeigt. Die Leistungsanforderung der Regelung betrug in dem komplette Zeitraum immer 100 %. Auf die Messperiode bezogen (ohne Berücksichtigung der Wartungszeiten) betrug die mittlere Leistung des Kessels 1 ca. 297 kW. Die Betreiber vermuten, dass die Leistungsschwankungen durch die Vereisung der Hackschnitzel kommen können. Bei tiefen Außentemperaturen vereist das Kondenswasser und verbindet die Hackschnitzel zu Klumpen. Dies könnte bei der Förderung dazu führen, dass bei mehreren Klumpen zu wenig gefördert wird, was die Anlage durch eine Erhöhung der Vorschubgeschwindigkeit der Förderanlage ausgleicht. Wenn dann auf einmal mehrere Klumpen in den Kessel gelangen, hat man mehr Holz in der Brennkammer als vorgesehen, die Leistung steigt an, die Anlage senkt die Fördergeschwindigkeit.

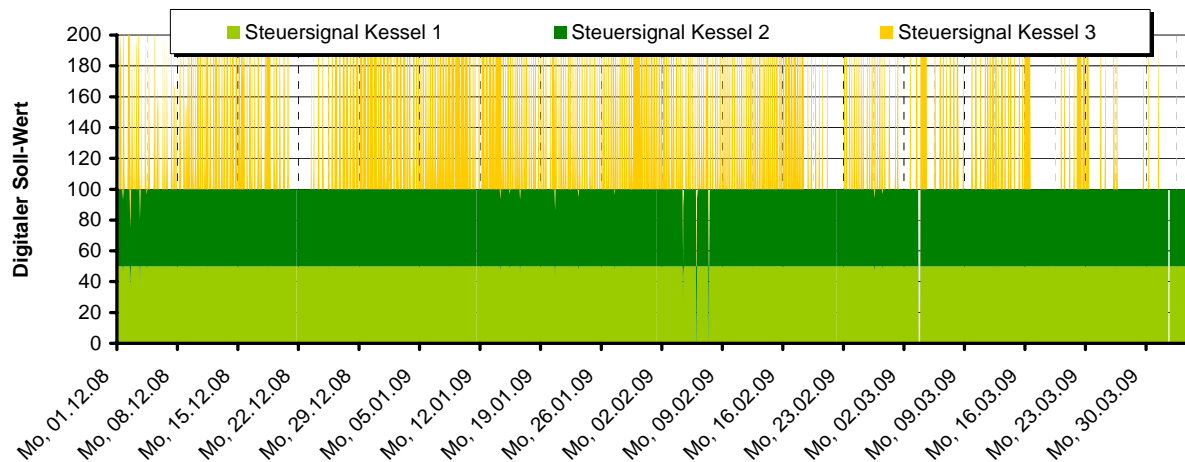
In **Abbildung 7-4** ist die mittlere Stundenleistung des Hackschnitzelkessels 2 dargestellt. Der Kessel zeigt deutlich weniger Schwankungen in der Leistung als Kessel 1, dennoch werden die 700 kW im Betrieb meist unterschritten. Die mittlere Leistung des Kessels 2 betrug ca. 658 kW.



**Abbildung 7-4:** *Mittlere Stundenleistung der Wärmeerzeugung von Hackschnitzelkessel 2 mit 700 kW*

Vom 23.02.09 bis zum 03.03.2009 zeigen beide Hackschnitzelkessel eine Leistungsreduktion, welche durch einen erhöhten Einsatz des Heizölkessels kompensiert wird. Doch die Auswertung der Regelvorgaben zeigt, dass in diesem Zeitraum von der Regelung keine Reduktion der Leistung vorgegeben wurde. Vielleicht war auch in diesem Zeitraum durch Vereisung verklumptes Hackgut Grund für die Leistungsreduktion.

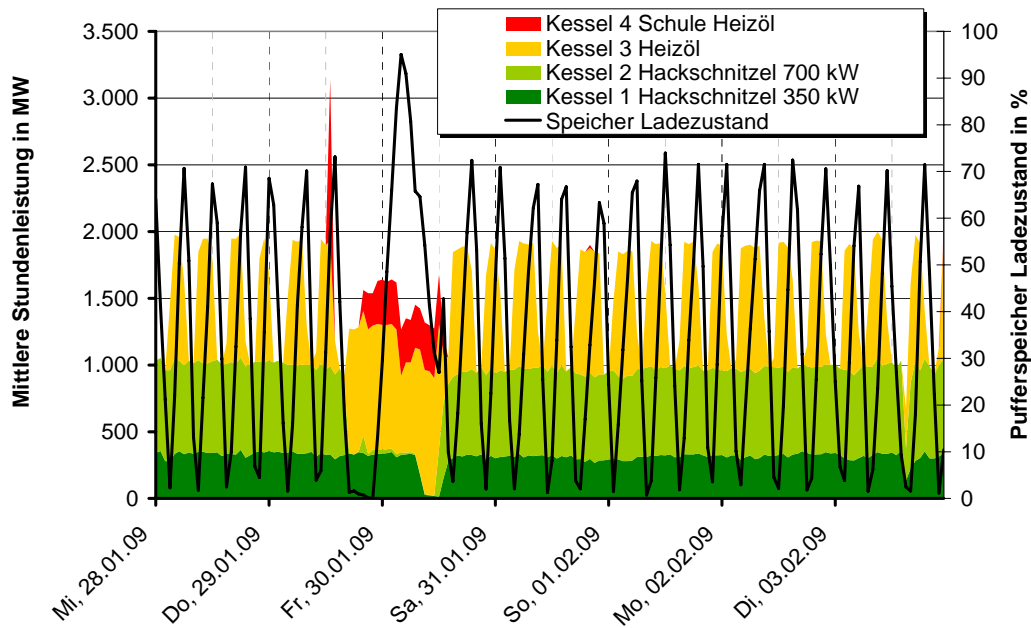
Die Regelung gab den Hackschnitzelkesseln im gesamten Betrachtungszeitraum den Befehl, mit voller Leistung zu laufen. Dabei werden die Hackschnitzelkessel 1 und 2 kontinuierlich mit einem Steuersignal von 0 bis 50 geregelt und der Heizölkessel 3 mit einem An/Aus Signal zwischen 0 und 1 (in der Abbildung zur besseren Darstellung 100). Nur an wenigen Tagen wird die Soll-Leistung kurz reduziert, wie **Abbildung 7-5** z. B. am 23.01.2009 zeigt. Die Felder ohne Anforderung stellen Unterbrechungen in der Messwertaufzeichnung dar, an den Werten der Wärmemengenzähler kann man erkennen, dass der Betrieb zu diesen Zeiten normal weiterlief.



**Abbildung 7-5:** Steuersignale der Heizkessel 1 bis 3

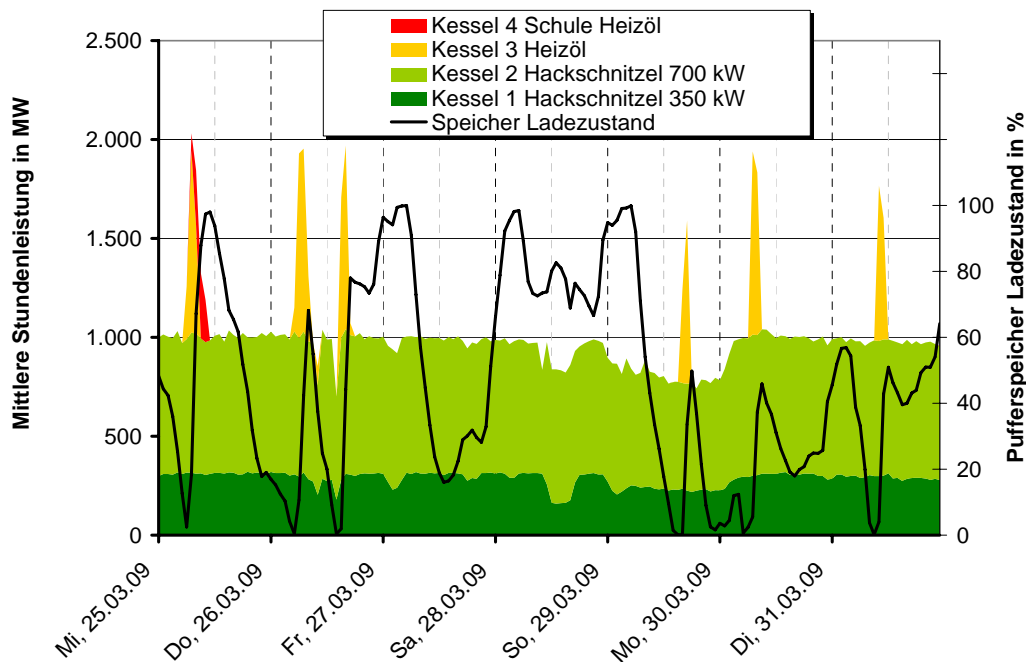
Im gesamten Messzeitraum setzte die Regelung die Hackschnitzelkessel 1 und 2 mit maximaler Leistung in der Grundlast ein und den Heizölkessel 3 als Spitzenlast. Die in der Leistungsmessung sichtbaren Leistungsreduktionen sind teilweise durch Abschaltung für Kesselreinigung und teilweise durch die Kessel selbst bedingt.

**Abbildung 7-6** zeigt, dass der Heizölkessel 3 in Abhängigkeit des Ladezustandes des Pufferspeichers betrieben wird. Erreicht der Pufferspeicher 0 % Beladung, so wird der Kessel zugeschaltet, um eine Unterversorgung des Netzes zu vermeiden. Daraufhin wird der Pufferspeicher geladen. Erreicht der Pufferspeicher ca. 65 % Ladung, so wird der Kessel wieder abgeschaltet. Dieses Vorgehen hat den Vorteil, dass der Heizölkessel nur drei Mal pro Tag taktet, wodurch die Anlaufverluste minimiert werden.



**Abbildung 7-6:** Schalten des Heizölkessels 3 in Abhängigkeit des Pufferladezustandes

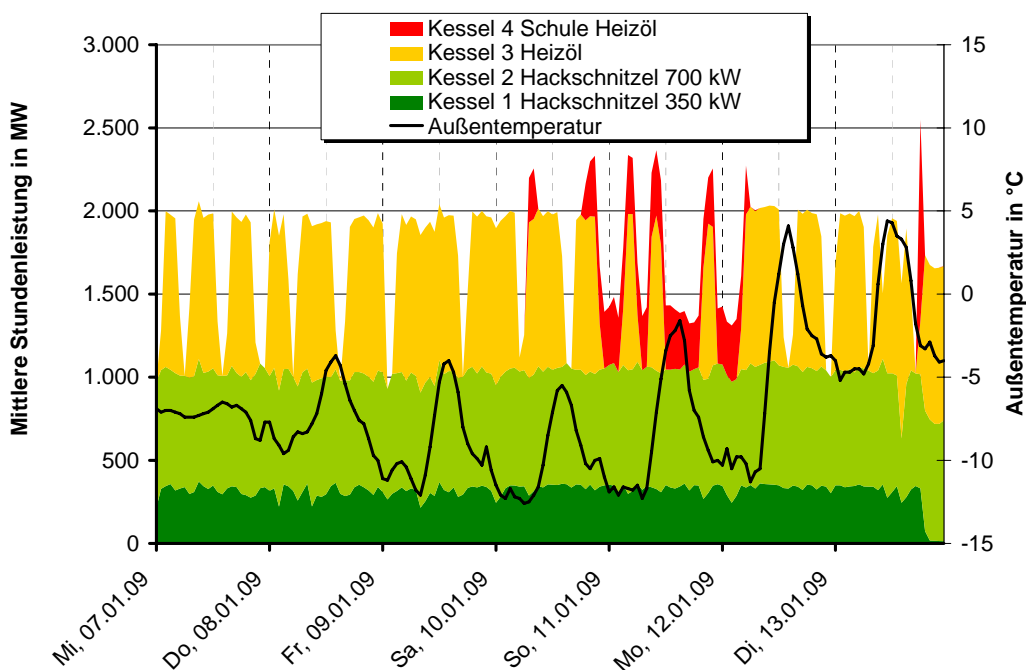
Bei geringerem Wärmebedarf wird der Heizölkessel kaum mehr eingesetzt. **Abbildung 7-7** zeigt die Kesselleistungen und den Ladezustand für eine Woche mit Außentemperaturen zwischen 0 °C und 10 °C (Wochenende). Die Leistungsreduktion der Hackschnitzelkessel zwischen 29. und 30.03. ist nicht von der Steuerung vorgegeben. Um die fehlende Leistung abzufangen, wird der Heizölkessel bei 0 % Speicherladung angeschaltet.



**Abbildung 7-7:** Kesselleistung und Speicherzustand bei geringerem Wärmebedarf

In der Abbildung ist am ersten Tag zu sehen, dass der Heizölkessel in der Schule zusammen mit dem Kessel 3 läuft. Dies lässt auf eine geringfügig zu schnell eingestellte Regelung schließen, welche zu früh den Heizölkessel Schule hinzuschaltet. Abhilfe würde eine trägere Regelung oder eine Sperre, die erst nach 2 Stunden Betrieb des Heizölkessels 3 den Betrieb des Heizölkessels 4 zulässt, schaffen.

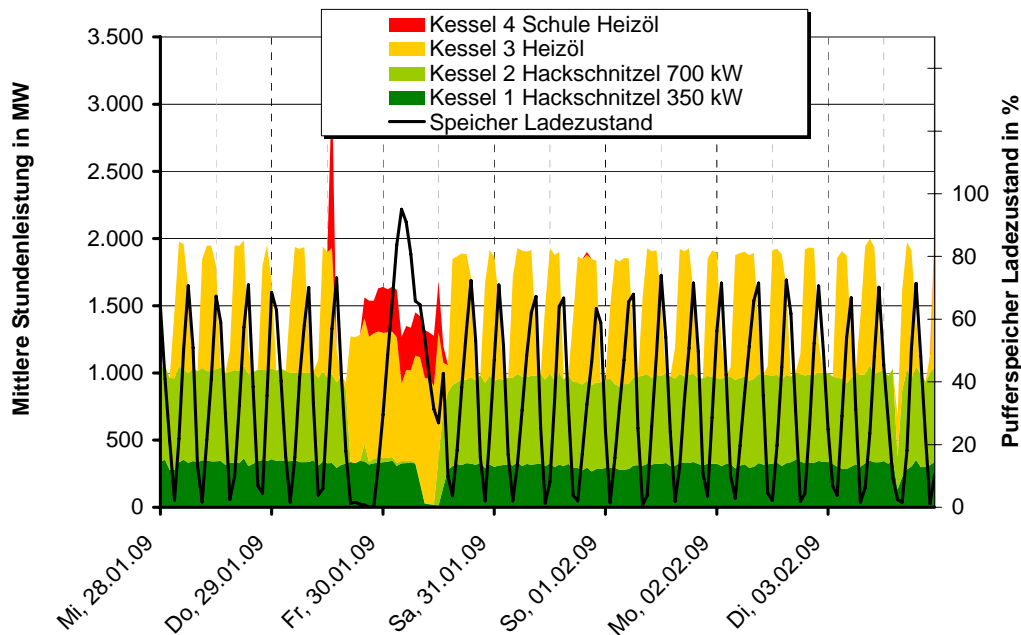
In der kältesten Woche um den 10.01.2009 (vgl. **Abbildung 7-8**) werden beide Heizölkessel benötigt. Der Heizölkessel wurde am 10.01.2009 mittags scheinbar manuell zugeschaltet und lief bis zum 12.01.2009 durch. Dadurch wurde der Heizölkessel 3 in der Heizzentrale entlastet, was sich durch geringere Laufzeiten zeigt. Würde durch eine Homogenisierung des Wärmebedarfs (z. B. miteinander abgestimmte, zeitlich versetzte Aufheizzeiten nach Nachtabsenkung, oder Unterbindung der Nachtabsenkung ab  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) der Heizkessel 3 durchlaufen, wäre der Einsatz von Kessel 4 nicht notwendig.



**Abbildung 7-8:** Kesselleistung Stundenwerte in der kältesten Woche

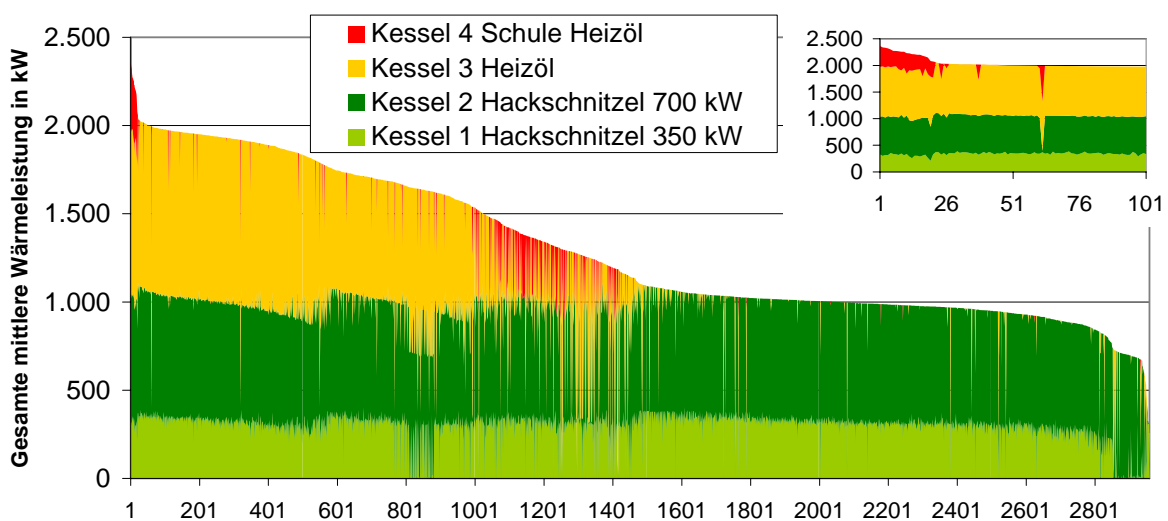
**Abbildung 7-9** zeigt das Verhalten der Kesselfolgesteuerung. Sobald der Ladezustand des Pufferspeichers gegen 0 % geht, wird der Heizölkessel 3 angeschaltet. Dieser läuft bis der Pufferspeicher wieder etwa zu 70 % geladen ist und schaltet dann aus. Durch die Abschaltung des Hackschnitzelkessels 2 am Nachmittag des 29.01. sinkt der Ladezustand des Pufferspeichers, die Aktivierung des Heizkessels 3 verringert zwar die Steilheit der Speicherentladung, kann aber nicht verhindern, dass der Speicher auf 0 % entladen wird. Nach einer gewissen Wartezeit wird der Heizkessel 4 zugeschaltet. Diese zusätzliche Leistung führt zu einer Ladung des Pufferspeichers, bis schließlich auch Heizkessel 1 abgeschaltet wird. Nach Wiederanschalten der beiden Hackschnitzelkessel 1 und 2 wird der Heizölkessel 4 abgeschaltet und Heizölkessel 3 übernimmt wie bisher die Spitzenlastdeckung.

Der kurze Lauf des Kessels 4 am 29.01. Mittags ist wahrscheinlich ein Testlauf, da dies die Ladung des Pufferspeichers über die ca. 70 %, bei der sonst Kessel 3 abgeschaltet wird, erhöht.



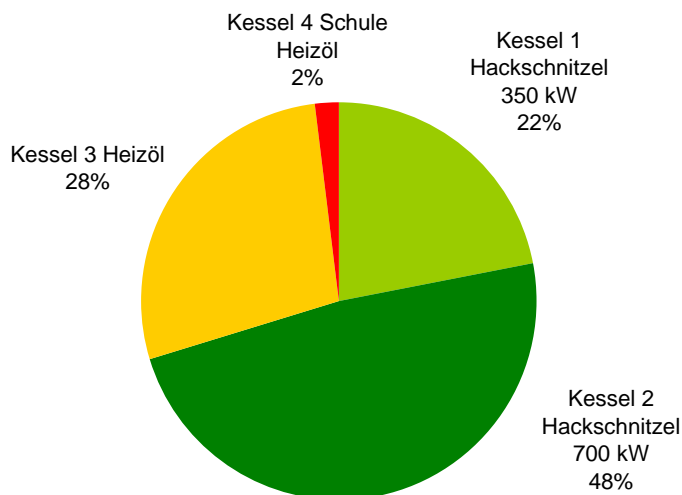
**Abbildung 7-9:** Heizkessel 3 und 4 als Ersatz für Kessel 2

In **Abbildung 7-10** 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. In der Vergrößerung der ersten 100 Stunden rechts oben zeigt sich dies durch eine Änderung der Steilheit in der 26sten Stunde und eine geringere Leistung der Hackschnitzelkessel in diesem Zeitraum.



**Abbildung 7-10:** Sortierte Dauerlinie des Heizkesselseinsatzes

Ca. 70 % der in der Messperiode benötigten Wärme von 3.834 MWh wurden regenerativ von den Hackschnitzelkesseln bereitgestellt. Allein Kessel 2 generierte fast die Hälfte der benötigten Wärme. Unter der vereinfachten Annahme, dass die Hackschnitzel CO<sub>2</sub>-frei sind, wurden damit ca. 1.136 t CO<sub>2</sub> in der Messperiode vom 01.12.2008 bis 03.04.2009 eingespart. Die Hochrechnung der CO<sub>2</sub>-Einsparungen auf ein Jahr auf Basis der Jahresdauerlinie und der mittleren Verfügbarkeit der Heizkessel ist in Kapitel 7.7 beschrieben.



**Abbildung 7-11:** Aufteilung der Energieerzeugung in der Messperiode  
Dezember 2008 bis März 2009

Diese Aufteilung für die Heizperiode Dezember bis April zeigt, dass bei der Dimensionierung der Hackschnitzelkessel auch die zukünftigen Sanierungen mit berücksichtigt wurden. Damit die Hackschnitzelkessel auch bei den in den nächsten Jahren angedachten Sanierungen noch gut ausgelastet sind, wurden sie etwas kleiner dimensioniert als es für den aktuellen Wärmebedarf üblich ist. Somit bleibt das Verhältnis Öl-Spitzenlast zu Hackschnitzel-Grundlast über eine längere Zeit nahe am Optimum.

### 7.3 Betrieb des Pufferspeichers

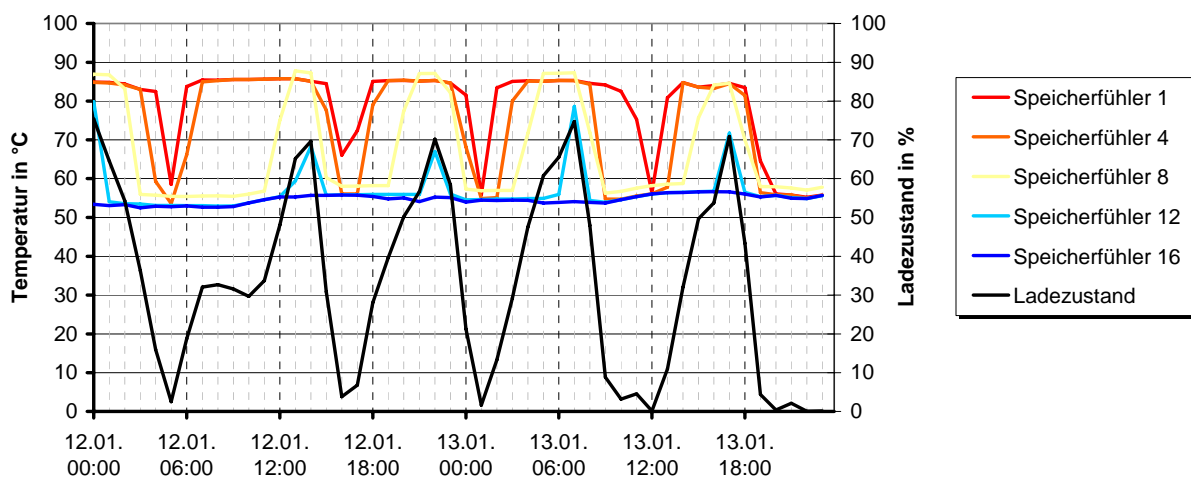
Wenn die Wärmelast der Verbraucher die Wärmeleistung der zwei Hackschnitzelkessel überschreitet, muss der Heizölkessel die Differenz ausgleichen. Um kurzzeitig auftretende Lastspitzen, wie z.B. morgens zum Schulbeginn, ohne Heizöleinsatz abfahren zu können, wurde ein Pufferspeicher installiert.

Der Pufferspeicher hat ein Volumen von ca. 60 m<sup>3</sup>. Bedingt durch die Positionen der Zu- und Abgänge können ca. 55 m<sup>3</sup> genutzt werden. Um den Speicherfüllstand zu ermitteln, sind 16 Temperatursensoren in verschiedenen Höhen verbaut. Zur Ermittlung des Speicherfüllstandes sind verschiedene mathematische Verfahren denkbar. Je nach Komplexität werden dabei die minimal erreichbare Temperatur als unterstes Temperaturniveau und die Temperatur der Kessel als oberes Temperaturniveau benötigt, was bei wechselnden Bedingungen schwer zu bestimmen ist. Bei der hier betrachteten Anlage kommt ein einfaches und robustes Verfahren zum Einsatz. In dem

Schichtenspeicher sind entweder die Temperaturen der Heizkessel oder die Temperatur des Rücklaufs des Wärmenetzes vorzufinden. Dies ermöglicht die Bestimmung der Speicherladung auf Basis eines einfachen Kriteriums: Liegt die Temperatur eines Sensors höher als eine mittlere Temperatur von z. B. 72 °C, dann stammt die Wasserschicht um den Sensor aus dem heißen Vorlauf der Kessel. Bei Unterschreitung des Grenzwertes stammt das Wasser der Schicht aus dem Rücklauf des Netzes.

Wird der Pufferspeicher wie im Winter 2008/2009 in einem Temperaturbereich von 55 °C bis 85 °C betrieben, so können über die nutzbaren 30 K Temperaturunterschied ca. 1,9 MWh gespeichert werden. Liegt die Vorlauftemperatur der Heizkessel niedriger oder liegt die Netzurücklauftemperatur höher, so reduziert sich die Energiemenge mit der nutzbaren Temperaturspreizung.

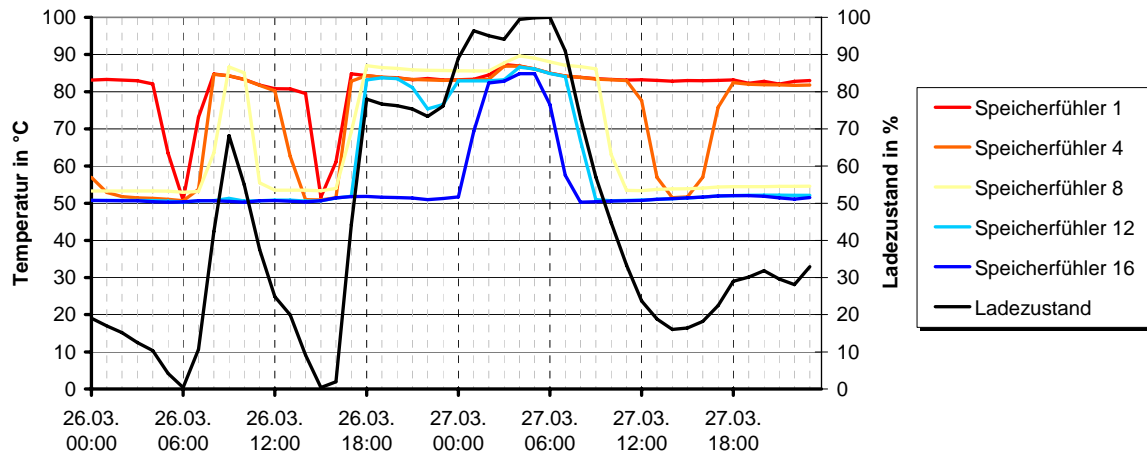
**Abbildung 7-12** zeigt den von der Regelung berechneten Speicherfüllstand und einige Speichertemperaturen nach der Einbauhöhe sortiert (Speicherfühler 1: oben, Speicherfühler 16: unten). Bei tiefen Außentemperaturen und somit hohen Heizwärmeverbrauch laufen beide Hackschnitzelkessel mit Vollast. Sobald der Speicherfüllstand unter ca. 5 % fällt, schaltet der Heizölkessel ein. Mit der zusätzlichen Wärme wird der Speicher wieder aufgefüllt. Dies zeigt sich daran, dass zuerst die oberste Temperatur steigt, und dann die unteren folgen. Wenn der Speicher ca. 70 % erreicht hat, wird der Heizölkessel abgeschaltet. Bei niedrigen Außentemperaturen dient der Pufferspeicher als Speicher für die Wärme des Heizölkessels und unterbindet somit häufiges Takten.



**Abbildung 7-12:** Betriebsverhalten des Speichers bei tiefen Temperaturen

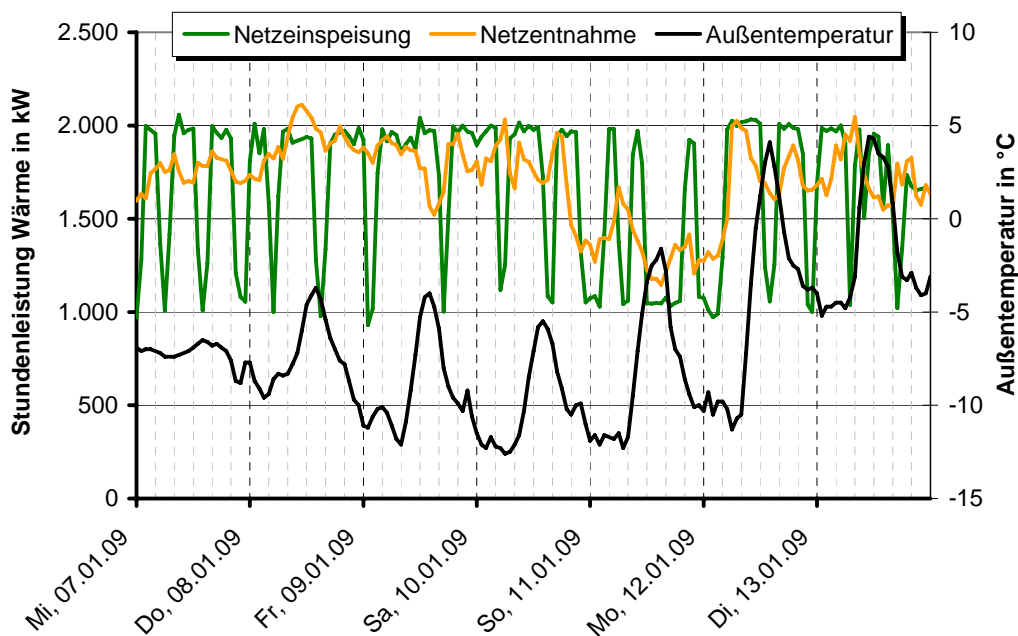
Die Temperaturverläufe der Speicherfühler zeigen auch, dass die Schichtung des Schichtenspeichers funktioniert, und nicht durch z.B. zu hohe Volumenströme oder schnelle Umwälzung zerstört wird.

Ist der Heizwärmeverbrauch geringer als die Leistung der beiden Hackschnitzelkessel, dann wird zuerst der Pufferspeicher voll geladen und erst dann die Leistung der Heizkessel reduziert. In **Abbildung 7-13** sind die Befüllung des Pufferspeichers am Abend des 26.03.09 und die Entleerung des Speichers zur Deckung der Morgenspitze ab 6:00 Uhr des Folgetages dargestellt.



**Abbildung 7-13:** Betriebsverhalten des Speichers zur Reduktion des Leistungsbedarfs beim Ende der Nachtabsenkung

In **Abbildung 7-14** ist der zeitliche Verlauf von Netzeinspeisung und Netzentnahme dargestellt. Die Netzeinspeisung bezieht sich auf die von den Heizkesseln bereit gestellte Leistung. Die Netzentnahme ist die Summe der an den Unterzentralen abgenommenen Leistung. Der Pufferspeicher und das Nahwärmenetz liegen zwischen den zwei Bilanzpunkten. In der Darstellung zeigt sich das Takten des Heizölkessels. Ist der Heizölkessel an, wird der Speicher geladen und die Netzeinspeisung ist höher als die Entnahme. Ist der Heizölkessel aus, wird der Speicher langsam entleert, die Netzeinspeisung ist dann geringer als die Entnahme.



**Abbildung 7-14:** Verlauf von Netzeinspeisung und Netzentnahme

## 7.4 Energiebilanz der Netzverluste

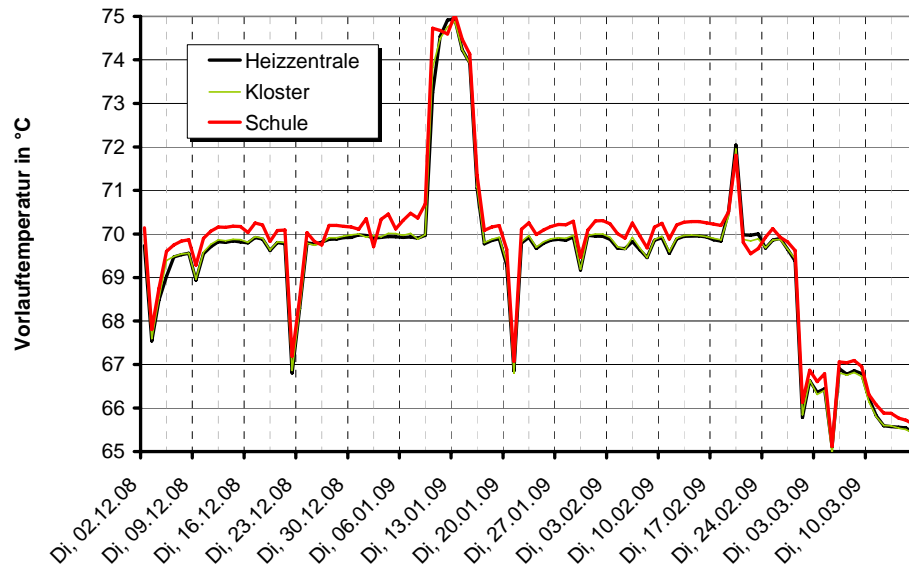
Das Nahwärmenetz wurde auf eine Vorlauftemperatur von 90 °C und eine Rücklauftemperatur von 75 °C ausgelegt. Bei diesen Temperaturniveaus haben die Leitungen des Netzes einen Wärmeverlust von ca. 42 kW an den Boden. Im Winter 2008/2009 wurde das Netz mit ca. 65 °C Vorlauftemperatur und ca. 55 °C Rücklauftemperatur gefahren, wodurch sich Wärmeverluste auf ca. 29 kW reduzieren. Im Gegensatz zu den Abgasverlusten der Heizkessel und Dampferzeuger, welche sich in der gleichen Größenordnung bewegen, sind die Wärmeverluste des Netzes besonders bei frischem Schnee und Temperaturen um den Gefrierpunkt sichtbar, da durch den geringen Temperaturunterschied zu den umgebenden Bodenflächen der Schnee wie in **Abbildung 7-15** abtaut. Diese für Wärmenetze normalen Verluste sind durch die geringen Vor- und Rücklauftemperaturen bereits deutlich niedriger als geplant.



**Abbildung 7-15:** *Verlauf des Nahwärmenetzes zur Schule mit Blick auf St. Paulus*

Um die berechneten Wärmeverluste durch Messung zu validieren, wurden Energiebilanzen über Energieeinspeisung der Heizkessel und Energieabnahme der Unterzentralen generiert. Die Messergebnisse zeigen einen negativen Wärmeverlust. Dies ist wahrscheinlich auf die Messungenauigkeit der Temperatursensoren zurückzuführen. So würden die Wärmeverluste von 29 kW bei einem Volumenstrom von ca. 90 m<sup>3</sup>/h zu einer Absenkung der Temperatur um ca. 0,3 K führen. Etwas mehr als die Hälfte der Verluste tritt dabei im Vorlauf auf, daher wäre im Vorlauf ein Temperaturunterschied zwischen Netzeinspeisung und Netzentnahme von ca. 0,15 K zu erwarten. Diese Genauigkeit wird jedoch von den Sensoren nicht geliefert.

In **Abbildung 7-16** ist der Vergleich unterschiedlicher Vorlauftemperaturen dargestellt. Die Temperatur des in der Heizzentrale eingespeisten Wassers stimmt annähernd mit der Temperatur des Wassers, welches über das Nahwärmenetz am Kloster angeliefert wird, überein.



**Abbildung 7-16:** Vergleich der Vorlauftemperaturen im Nahwärmenetz

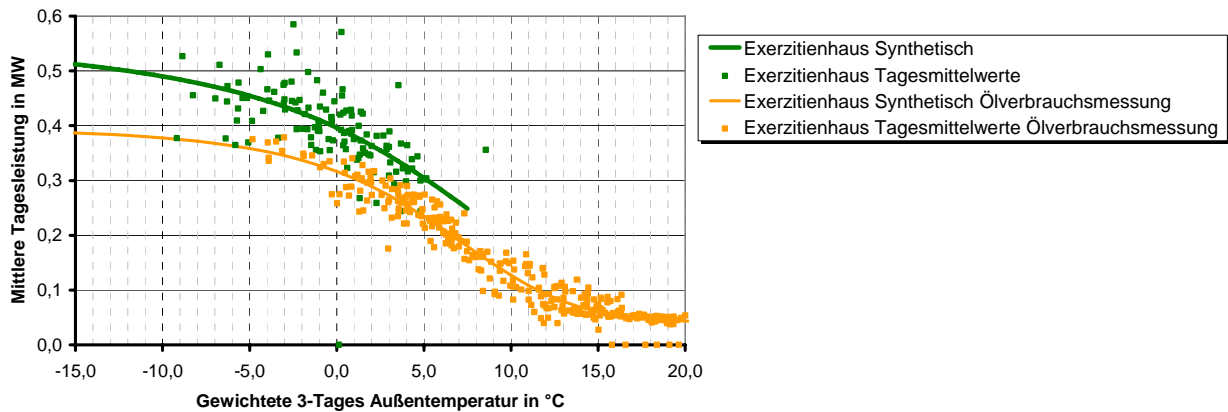
Die Temperatur des an der Schule angelieferten Wassers ist dagegen im Mittel um 0,3 K wärmer als in der Heizzentrale. Für die Regelung der Anlagen ist dieser Fehler gering, um Energiebilanzen für die im einstelligen Prozentbereich der Energieerzeugung liegenden Netzverluste auszustellen, zu hoch.

## 7.5 Heizwärmeverbrauch der Unterzentralen

Mit den durch die neue Anlage ermittelten Messwerten wurden analog zu Kapitel 5.4 Heizkennlinie für die Unterstationen generiert. Um den Einfluss der thermischen Speichermassen der Gebäude auszugleichen, wurden die Kennlinien (wieder) auf eine gewichtete 3-Tages Außentemperatur bezogen. Durch verschiedene Einflussgrößen, wie dem Anschluss zusätzlicher Gebäude sind Unterschiede zwischen den ursprünglich ermittelten und den neuen Messwerten erkennbar. In **Abbildung 7-17** sind Tagesmittelwerte der Leistung der ersten Messperiode (Ölverbrauchszähler, orange) und der zweiten Messperiode (Wärmemengenzähler, grün) sowie die dazugehörigen Kennlinien dargestellt. Die erste Messung umfasste ein Jahr, die zweite Messung den Zeitraum Dezember 2008 bis März 2009. Daher sind in der zweiten Messperiode kaum Messwerte für Außentemperaturen größer 5 °C vorhanden. In der ersten Messperiode traten im Winter 3-Tagesdurchschnittstemperaturen um -6 °C auf, in der zweiten Messperiode sind einige kältere Tage gemessen worden.

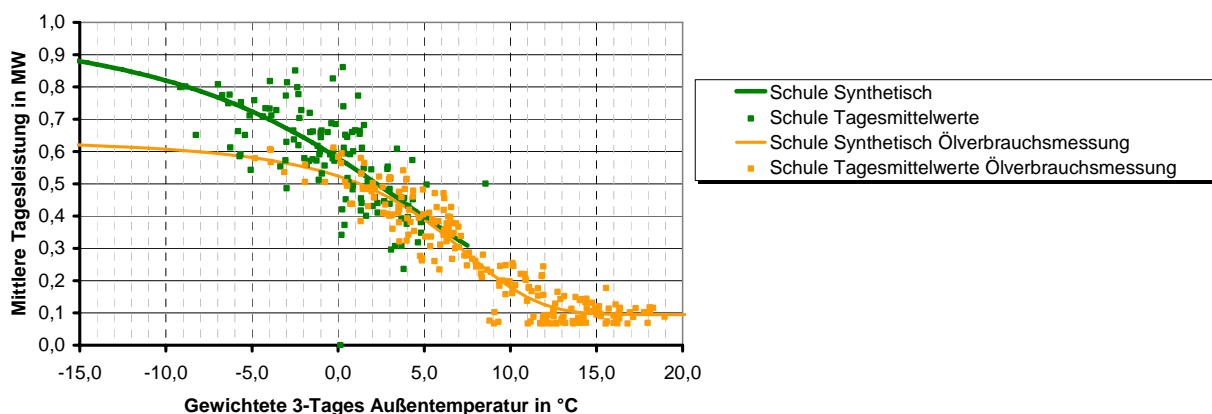
Die Messwerte der zweiten Messperiode liegen gegenüber der ersten Messperiode etwas höher (bei -15 °C um ca. 100 kW), da der Emminger Hof zusätzlich angeschlossen ist. Da

schwer abschätzbar ist, wie hoch der Warmwasserbedarf des Emminger Hofes ist, wurde die Heizkennlinie nur bis 7 °C erstellt.



**Abbildung 7-17:** Heizkennlinie des Exerzitieshauses

Die Heizkennlinie der Schule ist in **Abbildung 7-18** dargestellt. Bei Außentemperaturen über 3 °C decken sich die Messwerte der ersten und der zweiten Messperiode. Bei niedrigeren Außentemperaturen weichen die neuen Messwerte stark nach oben ab. Dieser im Gegensatz zur ursprünglichen Kennlinie höhere Heizwärmeverbrauch wurde auch am Kesseleinsatz beobachtet.

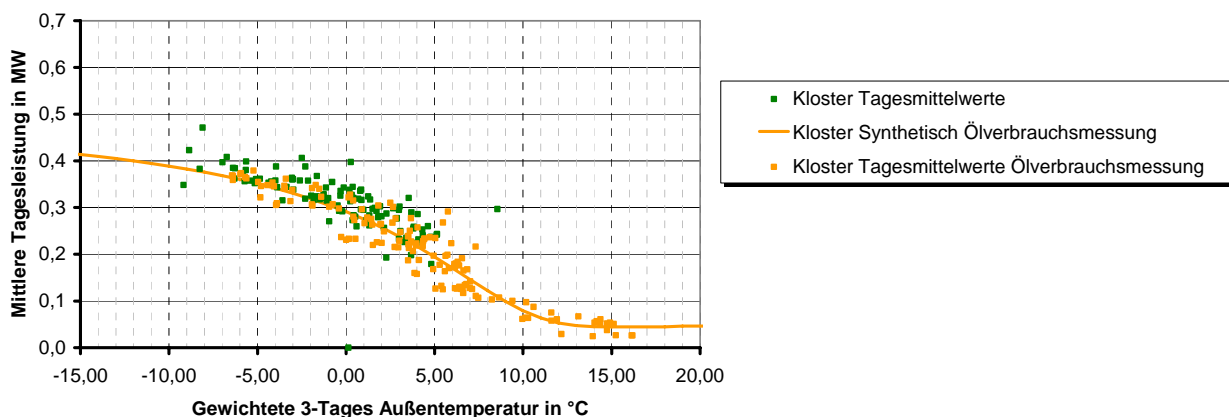


**Abbildung 7-18:** Heizkennlinie der Schule

Da in der Schule gegenüber der alten Messung bis auf den Anschluss des kleinen Bahnhofsgebäudes keine Änderung an den Verbrauchern durchgeführt wurde, ist der Grund für diese Differenz unklar. Der Vergleich des Energieverbrauchs mit langjährigen Aufzeichnungen des Energieverbrauchs einzelner Abrechnungsstellen der Schule zeigte nur den, durch die geringeren Außentemperaturen erklärbaren, Mehrverbrauch. Eine weitere Fehlerquelle könnte in der Raumtemperaturabsenkung der Schule während der Ferienzeit liegen. Da typischerweise die kältesten Tage während der Winterferien um den Jahreswechsel auftreten, wurden für die erste Messperiode bei sehr kalten Tagen nur Messwerte mit abgesenkter Raumtemperatur erfasst. Im Winter 2008/2009 traten auch schon während der Schulzeit sehr kalte Tage auf. Da diese Werte in der ersten Messperiode fehlten, konnten sie bei der Berechnung der Heizkennlinie nicht berücksichtigt werden, wodurch die bei Schulbetrieb benötigte Leistung deutlich höher

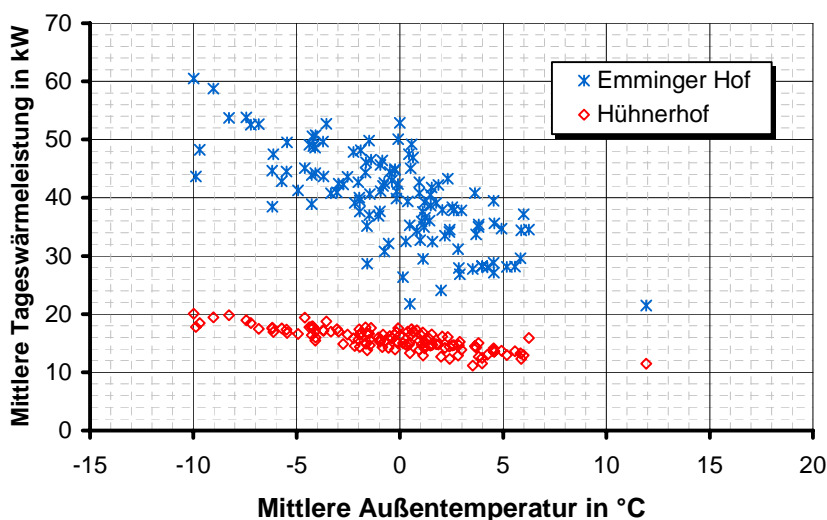
liegt als angenommen. Wegen der zwei unterschiedlichen Raumtemperaturniveaus wäre es sinnvoll, für die Schule zwei Heizkennlinien aufzustellen (Ferien und Schulbetrieb), dies ist jedoch kaum möglich, da auch während der Ferien teilweise Veranstaltungen stattfinden, für die Gebäudeteile beheizt werden.

In **Abbildung 7-19** ist die Heizkennlinie für das Kloster dargestellt. Hier stimmen die Messwerte der beiden Messperioden gut überein.



**Abbildung 7-19:** Heizkennlinie des Klosters

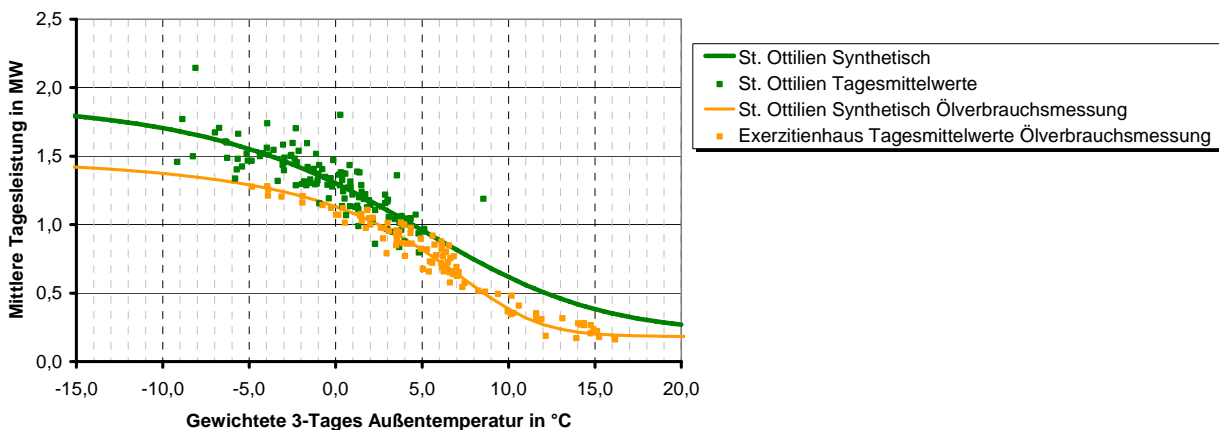
In **Abbildung 7-20** sind die Messwerte der zweiten Messperiode für die zwei zusätzlich angeschlossenen Gebäude Emminger Hof und Hühnerhof dargestellt. Der Hühnerhof zeigt einen linearen Anstieg des Heizwärmebedarfs bei sinkenden Außentemperaturen mit geringer Streuung, was wahrscheinlich an der fortwährend gleichen Nutzung liegt. Der Emminger Hof zeigt eine wesentlich größere Streuung, was wahrscheinlich durch eine unterschiedliche Anzahl der Gäste sowie dem Einfluss der Ruhetage und dem in mehreren Bauphasen entstandenen Gebäude liegt.



**Abbildung 7-20:** Messwerte der mittlere Tageswärmeleistung des Emminger Hofes und des Hühnerhofs

## 7.6 Gesamtverbrauch St. Ottilien

Die Summierung der Verbräuche der Unterzentralen und die Berücksichtigung der Netzverluste ergeben über die Gleichzeitigkeit des Verbrauchs eine geringfügig andere Heizkennlinie als die Summe der Heizkennlinien. In **Abbildung 7-21** sind die auf Basis der neuen und der alten Messwerte generierte Heizkennlinie in grün bzw. orange dargestellt. Da für hohe Temperaturen keine Messwerte vorliegen, wurde auf Basis der vorhandenen Werte, der neu angeschlossenen Gebäude und der Netzverluste die Kennlinie bis +20 °C verlängert. Wenn die neue Anlage ein Jahr gelaufen ist, kann eine genauere Kennlinie aufgestellt werden, welche auch Messwerte für höhere Außentemperaturen beinhaltet.



**Abbildung 7-21:** Heizkennlinie St. Ottilien

Die Berechnung der Einsparungen des Wärmenetzes mit den Hackschnitzelkesseln gegenüber dem vorherigen Stand ist nur durch Schätzung möglich, da der Energieverbrauch der zusätzlich angeschlossenen Verbraucher nicht hinreichend genau bekannt ist. Zudem wurde in der ersten Messperiode der Heizölverbrauch gemessen, die Kesselverluste wurden geschätzt, und in der zweiten Messperiode wurde die Wärmemenge gemessen. Da eine Sanierung der Heizzentralen sowieso anstand, wird im Folgenden nur untersucht, welche Einsparungen die Hackschnitzelkessel gegenüber der Versorgung wie bisher, mit Heizöl, ermöglichen. Die Wärmeverluste des Nahwärmenetzes werden dabei nicht berücksichtigt, da z.B. die klimatischen Verhältnisse während eines Jahres oder die Qualität des Hackguts einen weitaus höheren Einfluss auf das Ergebnis haben.

Über die synthetische Heizkennlinie wurde für verschiedene Jahre der Gesamtenergiebedarf bestimmt. In **Tabelle 7-1** sind für verschiedene Klimajahre die berechneten Jahresenergieverbräuche sowie die von den Hackschnitzelkesseln bereitgestellte Wärme dargestellt. Die Verbräuche wurden für die Klimajahre der Wetterstation Landsberg am Lech 2006, 2007 und 2008 berechnet. Der Zeitraum mit 2008/2009 beinhaltet die Monate Januar bis März des Jahres 2009. Für die noch nicht bekannten restlichen Monate des Jahres 2009 wurden die Monate aus 2008 übernommen, um auch den strengen Winter 2008/2009 abbilden zu können. Dies zeigt sich durch einen höheren Energieverbrauch. TRY13 ist das Testreferenzjahr des Deutschen Wetterdienstes für die Regionen Schwäbisch-fränkisches Stufenland und Alpenvorland.

**Tabelle 7-1:** *Prognose Jahresenergieverbrauch und regenerativer Deckungsgrad*

|  | Landsberg am Lech |       |       |           | TRY 13 |
|--|-------------------|-------|-------|-----------|--------|
|  | 2006              | 2007  | 2008  | 2008/2009 |        |
| <b>Jahresenergieverbrauch in MWh</b>                 | 6.860             | 6.530 | 6.690 | 7.150     | 6.950  |
| <b>Wärmelieferung der Hackschnitzelkessel in MWh</b> | 5.770             | 5.850 | 5.950 | 6.060     | 5.940  |
| <b>Regenerativer Deckungsgrad</b>                    | 84%               | 90%   | 89%   | 85%       | 86%    |

Der Jahresenergieverbrauch wird zwischen 6.500 MWh und 7.100 MWh liegen. Davon können die Hackschnitzelkessel ca. 85 % bis 90 % bereitstellen, der Rest wird weiterhin mit Heizöl gedeckt. Damit wird ein Heizöl-Äquivalent von jährlich ca. 650.000 bis 670.000 Liter Heizöl eingespart.

Wenn die geplanten Sanierungsmaßnahmen an den Gebäuden durchgeführt werden, wird der Deckungsgrad der Hackschnitzelkessel weiter steigen und der Heizölverbrauch entsprechend sinken.

Bei dem regenerativen Deckungsgrad wurde angenommen, dass die Hackschnitzelkessel pro Monat zur Reinigung/Wartung im Mittel je 1,5 Tage abgeschaltet sind, wodurch sich die mittlere verfügbare Leistung reduziert.

Der Vergleich der Einsparungen mit dem Heizölbezug der alten Anlage, bei dem die zusätzlichen Verbraucher, die Verluste des Nahwärmenetzes sowie die Wärmelieferung des alten Hackschnitzelkessels berücksichtigt wurden, zeigt die Plausibilität der Ergebnisse.

## 7.7 Ermittlung der CO<sub>2</sub>-Einsparungen

Für die Berechnung der CO<sub>2</sub>-Einsparungen wurden dem Heizöl Emissionen von 266 g/kWh CO<sub>2</sub> zugewiesen. Um die Hackschnitzel als CO<sub>2</sub>-neutral bezeichnen zu können, werden bei beiden Energieträgern die Vorketten (Gewinnung, Verarbeitung, Transport) vernachlässigt. So ergibt sich durch die Hackschnitzelkessel bei einer Einsparung von 660.000 Litern Heizöl eine Vermeidung von ca. 1.800 t CO<sub>2</sub> pro Jahr.

Gegenüber dem in der zweiten Messperiode ermittelten regenerativen Deckungsgrad von ca. 70 % erscheinen die für ein Jahr berechneten ca. 90 % Deckungsgrad relativ hoch. Da aber in der Übergangszeit bzw. im Sommer die Heizölkessel selten betrieben werden und die gesamte Wärme durch die Hackschnitzelkessel bereit gestellt wird, erhöht sich der regenerative Deckungsgrad zum Sommer hin.

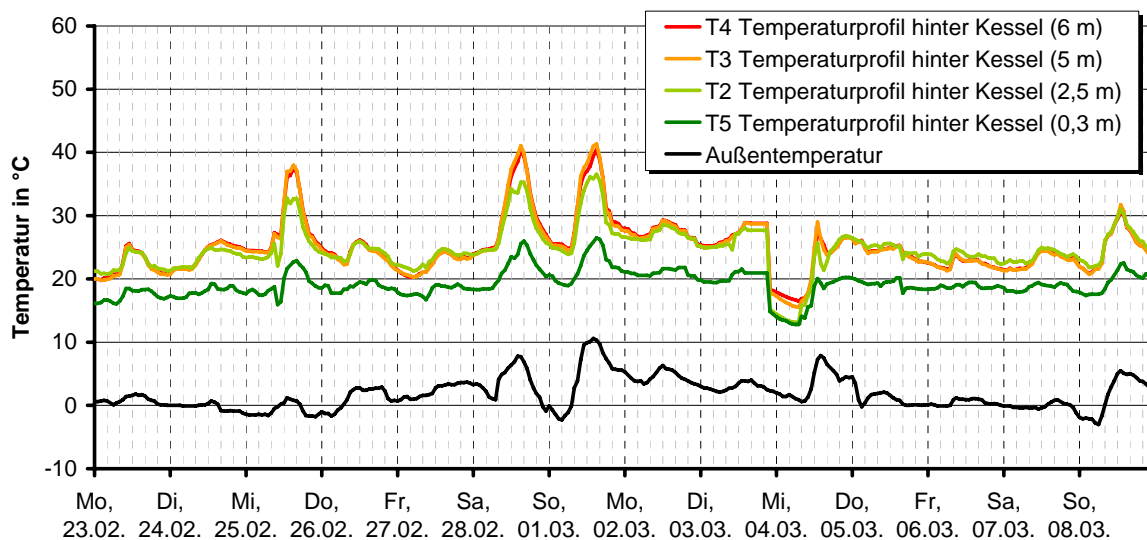
## 7.8 Lufttemperaturen in der Heizzentrale

Um die Lufttemperaturen in der Heizzentrale prüfen und bei zu hohen Temperaturen das Belüftungsschema ändern zu können, wurden 10 Temperatursensoren und 2 kombinierte Temperatur-/Feuchtesensoren installiert (vgl. **Tabelle 7-2**).

**Tabelle 7-2:** Temperatur- und Feuchtesensoren in der Heizzentrale

| MSR-Nr. | Tag.-Nr. | Beschreibung                           |
|---------|----------|--|
| 16      | -/-      | Raumtemperatur Leittechnik             |
| 35      | T5       | Temperaturprofil hinter Kessel (0,3 m) |
| 30      | T2       | Temperaturprofil hinter Kessel (2,5 m) |
| 36      | T3       | Temperaturprofil hinter Kessel (5 m)   |
| 41      | T4       | Temperaturprofil hinter Kessel (6 m)   |
| 34      | T6       | Temperatur über Kessel 1 (7,5 m)       |
| 40      | T7       | Temperatur über Kessel 2 (7,5 m)       |
| 31      | T8       | Temperatur über Kessel 3 (7,5 m)       |
| 37      | T1       | Netzpumpen (0,3 m)                     |
| 39      | F1       | Feuchte Eingangsbereich (5 m)          |
| 32      | T9       | Temperatur Eingangsbereich (5 m)       |
| 38      | F2       | Feuchte Mitte Kessel1/2 (5 m)          |
| 33      | T10      | Temperatur Mitte Kessel1/2 (5 m)       |

Das Höhenprofil im Bereich der Heizkessel in **Abbildung 7-22** zeigt Temperaturen bis ca. 40 °C. Die Temperatur am Boden ist etwa 3 bis 5 °C kühler als an der Decke. Dabei fällt die Abhängigkeit zur Außentemperatur auf. Mit steigender Außentemperatur steigt auch die Temperatur in der Heizzentrale. Da die Verbrennungsluft von den Kesseln aus dem Raum angesaugt wird und frei nachströmt, ist dieser Zusammenhang verständlich.

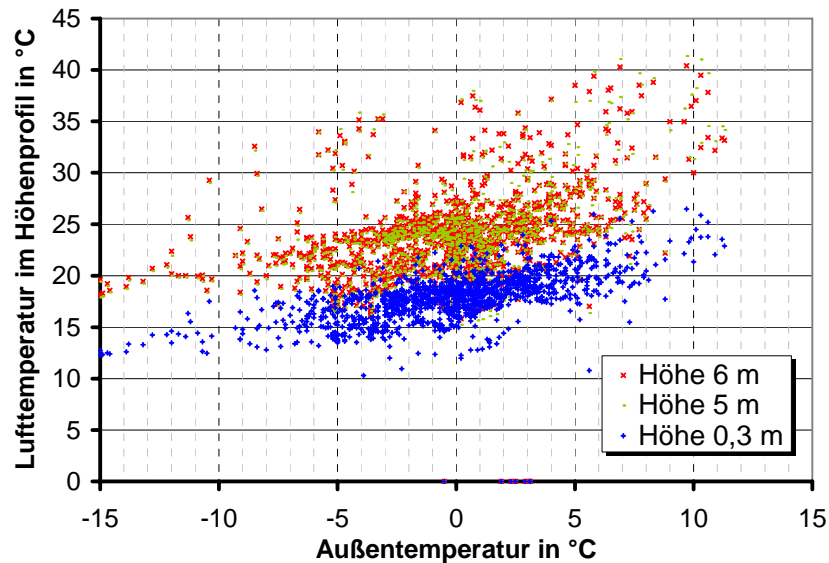


**Abbildung 7-22:** Zeitlicher Verlauf der Lufttemperaturen im Höhenprofil der Heizzentrale

Es zeigt sich, dass keine allzu hohen Temperaturen an der Decke auftreten. Dies liegt mitunter auch daran, dass die Wärme an der Decke über die Lochbleche in der Decke

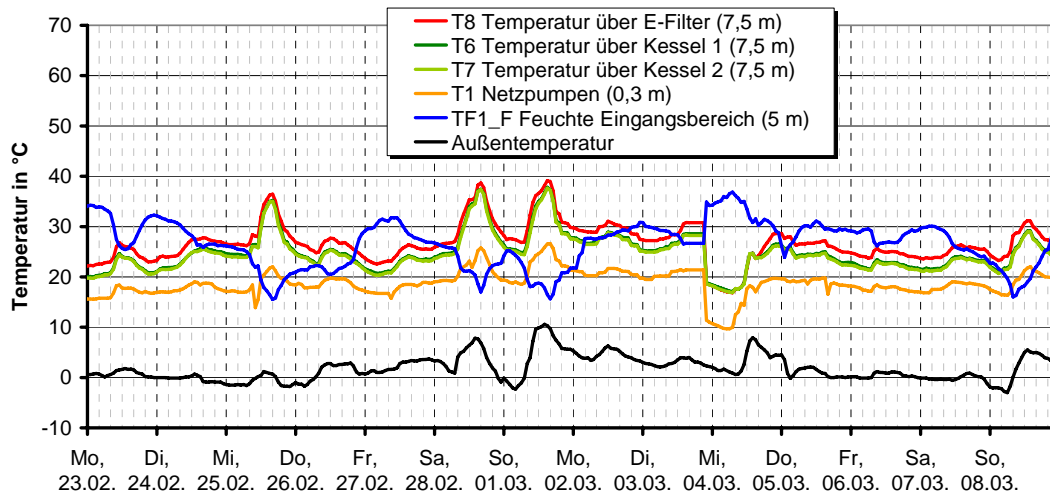
nach oben abziehen kann. Die Abwärme der Kessel und Speicher wird also weniger zur Vorwärmung der Verbrennungsluft genutzt, sondern zieht als Thermik über das Dach ab. Durch Verschließen eines Teils der Nachströmöffnungen wurde der Luftzug bereits begrenzt.

In **Abbildung 7-23** sind die gleichen Messwerte des Höhenprofils in Abhängigkeit der Außentemperatur dargestellt. Bei der aktuellen Konfiguration der Nachströmöffnungen ist im Bereich der Heizkessel kein Frost zu erwarten. Bei höheren Außentemperaturen, wenn auch nur ein Teil der Kessel läuft, ist kein Hitzeproblem zu erwarten.



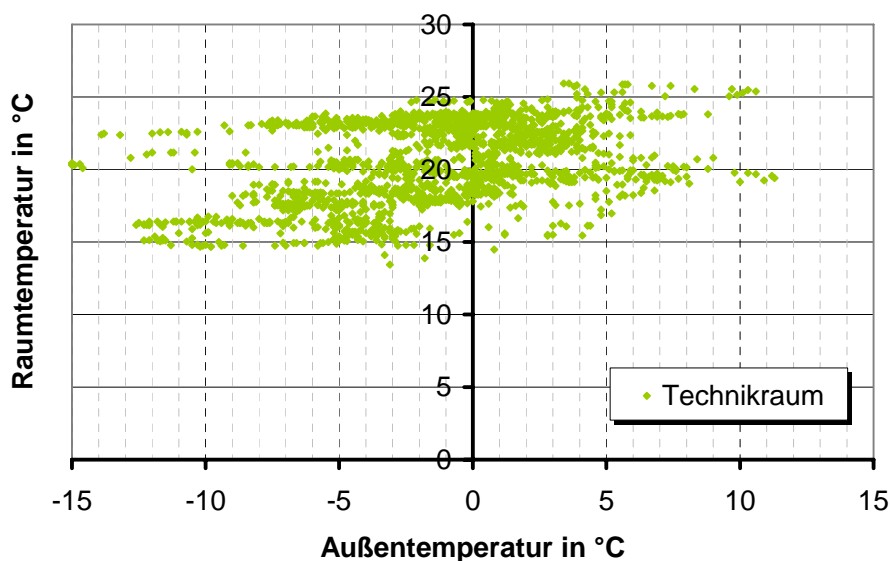
**Abbildung 7-23:** Lufttemperatur im Höhenprofil der Heizzentrale in Abhängigkeit der Außentemperatur

Die Temperaturen über dem Elektrofilter, den Heizkesseln und am Boden bei den Netzumwälzpumpen (**Abbildung 7-24**) liegen in einem unkritischen Bereich. Über den Heizkesseln treten Temperaturen um die 40 °C auf, am Boden traten kaum Temperaturen unter 10 °C auf. Dies liegt auch daran, dass die Zuluftklappen im Bodenbereich fast immer geschlossen waren.



**Abbildung 7-24:** Zeitlicher Verlauf der Lufttemperaturen über E-Filter, den Kesseln und bei den Netzpumpen

In dem Technikraum im 1. OG stehen die Schaltschränke und die Umrichter für die Netzumwälzpumpen. Für den Raum ist keine Kühlung vorgesehen. Das Fenster liegt hinter der vorgehängten transparenten Kunststofffassade. Die Luft im Raum wird durch die großflächigen Betonwände- und -decken gekühlt. In **Abbildung 7-25** ist die Abhängigkeit der Raumtemperatur von der Außentemperatur dargestellt. Die Raumtemperatur liegt im Bereich zwischen 13 °C und 26 °C. Im Sommer könnten Probleme mit Kühlung auftreten, da das Fenster nur die hinter der Kunststofffassade stehende, vorgewärmte Luft erhält. Andererseits kühlen die Betonflächen, und der Wärmeeintrag durch die Umrichter ist im Sommer geringer. Da behelfsweise ein Lüften in den Gang möglich ist, sollte lediglich beobachtet werden, ob die Problematik der Überhitzung auftritt.



**Abbildung 7-25:** Raumtemperatur des Technikraums der Heizzentrale in Abhängigkeit der Außentemperatur

## 7.9 Qualität der Messdaten

Jede Unterzentrale kann z.B. bei Ausfall des Datennetzes autark arbeiten. Die Aufzeichnung der Messdaten erfolgt mit einem PC, der unabhängig von den Unterzentralen die Daten mitschreibt.

Die Auswertung der Daten wurde durch unplausible Messwerte erschwert. So wurden z. B. für mehrere Minuten zu hohe oder zu niedrige Werte übertragen. Für die Qualität der Regelung sind diese kurzzeitigen Übertragungsfehler nicht relevant. In **Tabelle 7-3** ist ein Beispiel dargestellt. Bei dem rot markierten Wert stellt sich die Frage, ob der Heizkessel für 2 Minuten gelaufen ist oder ob es ein Messfehler ist. Die Höhe des Wertes von ca. 36,3 MW zeigt, dass es ein Mess- oder Übertragungsfehler ist. Bei dem nachfolgenden Start des Heizkessels in der Schule sind die Werte plausibel. Die automatische Auswertung liefert in diesem Fall bzw. wenn zeitliche Bilanzen über Mittelwerte erstellt werden, einen falschen Wert. Vor der Auswertung muss daher jeder einzelne Messwert auf Plausibilität überprüft werden.

**Tabelle 7-3:** Fehler in der Messwertaufzeichnung des Heizölkessels in der Schule (UZ2 HZG13 Signal 28 Leistung HZG Kessel)

| Signal_Index | Sample_TDate_25 | Sample_MSec_25 | Sample_Value_25 | Sample_Qual_25 | Sample_Modified_25 |
|--------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|--------------------|
| 28           | 29.01.09 10:13  | 942            | 0,0             | 192            | 1                  |
| 28           | 29.01.09 11:25  | 880            | 0,0             | 192            | 1                  |
| 28           | 29.01.09 12:37  | 864            | 0,0             | 192            | 1                  |
| 28           | 29.01.09 13:49  | 849            | 36.323,1        | 192            | 1                  |
| 28           | 29.01.09 15:01  | 927            | 0,0             | 192            | 1                  |
| 28           | 29.01.09 16:13  | 880            | 0,0             | 192            | 1                  |
| 28           | 29.01.09 17:25  | 911            | 0,0             | 192            | 1                  |
| 28           | 29.01.09 18:37  | 911            | 0,0             | 192            | 1                  |
| 28           | 29.01.09 19:49  | 880            | 0,0             | 192            | 1                  |
| 28           | 29.01.09 21:01  | 911            | 230,4           | 192            | 1                  |
| 28           | 29.01.09 22:13  | 849            | 0,2             | 192            | 1                  |
| 28           | 29.01.09 23:25  | 895            | 306,1           | 192            | 1                  |
| 28           | 30.01.09 00:37  | 849            | 354,9           | 192            | 1                  |

## 8 Prüfung auf weitere Einsparmöglichkeiten

Im Rahmen des Projektes wurden bereits einige Einsparmöglichkeiten genannt und umgesetzt. Daher wird im Folgenden nur auf Einsparmöglichkeiten eingegangen, welche noch nicht umgesetzt sind.

### 8.1 Vorlauftemperatur des Nahwärmenetzes

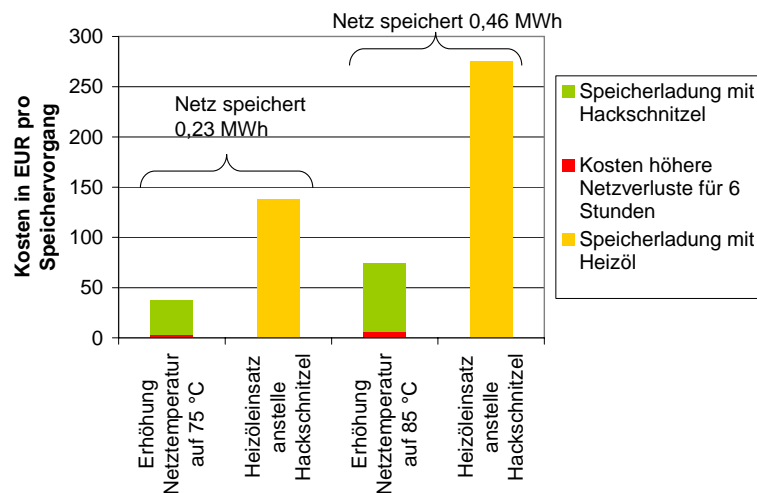
Das Nahwärmenetz beinhaltet ein Wasservolumen von ca. 40 m<sup>3</sup>. Davon sind ca. 20 m<sup>3</sup> im Vorlauf als zusätzlicher Speicher nutzbar, indem die Netzvorlauftemperatur höher als die an den Unterstationen benötigte Temperatur eingestellt wird. Wird das Netz um ca. 20 K auf 85 °C erwärmt, ergibt sich eine Energie von 0,46 MWh. Dem stehen allerdings erhöhte Wärmeverluste von ca. 6 kW entgegen. So stellt sich für den Betreiber die Frage, ob und wann eine Erhöhung der Vorlauftemperatur wirtschaftlich und ökonomisch sinnvoll ist:

- Wenn bei niedrigen Außentemperaturen die Heizölkessel die Spitzenlast bereitstellen, bringt das zusätzliche Speichervolumen keinen Vorteil. Dann sollte mit möglichst geringer Vorlauftemperatur gefahren werden.
- Wenn bei mittleren Außentemperaturen die Heizölkessel nur zur Deckung der Morgenspitze laufen, ist die Nutzung des zusätzlichen Speichers sinnvoll.
- Wenn mindestens ein Hackschnitzelkessel durchläuft und der Heizölkessel nicht benötigt wird, reicht der Pufferspeicher zum abfangen der Lastspitzen aus. Dann sollte mit möglichst geringen Vorlauftemperaturen gefahren werden.

Bei mittleren Außentemperaturen, wenn der Pufferspeicher nicht ganz zur Deckung der Morgenspitze ausreicht, ist die Nutzung des Netzes als zusätzlicher Speicher sinnvoll. Hierzu sollte mehrere Stunden vor der Bedarfsspitze die Vorlauftemperatur im Netz angehoben werden. Um der Anlage die Möglichkeit zu geben, Pufferspeicher und Netz bis zur Spitze zu laden, sollte diese Anhebung ca. 2 bis 3 Stunden vorher durchgeführt werden.

Wird bei einer Bedarfsspitze, wenn der Pufferspeicher nicht ausreicht, der Heizölkessel aktiviert, so deckt der Heizölkessel einen Teil der Bedarfsspitze. Wird hingegen die Vorlauftemperatur angehoben, dann wird der zusätzliche Bedarf durch die vorzeitige Erhöhung der Leistung der Hackschnitzelkessel gedeckt, zudem ist aber noch über mehrere Stunden ein höherer Wärmeverlust des Netzes zu tragen. Es stellt sich die Frage, welche Betriebsart günstiger ist.

Hierzu wurden für eine Anhebung der Netzvorlauftemperatur um 10 K und um 20 K die Kosten für die Speicherladung und die Deckung der zusätzlichen Verluste durch Hackschnitzel berechnet und in **Abbildung 8-1** dargestellt. Als Alternative wurde berechnet, wie hoch die Kosten für die im Netz gespeicherte Wärme wären, wenn diese Wärme durch Heizöl erzeugt würde. Für Hackschnitzel wurden 20 Ct/kWh<sub>th</sub> berechnet, für Heizöl 60 Ct/kWh<sub>th</sub> (Kesselwirkungsgrad mit eingerechnet). Es zeigt sich, dass die Kosten für die zusätzlichen Wärmeverluste (Annahme: 6 Stunden höhere Vorlauftemperatur) gering gegenüber den Kosten der für die Speicherladung eingesetzten Energieträger sind. Der Heizöleinsatz ist trotz der moderat angesetzten Kosten deutlich teurer.



**Abbildung 8-1:** Vergleich zwischen Wärmedeckung durch Anhebung der Vorlauftemperatur vor der Bedarfsspitze gegenüber dem Einsatz der Heizölkessel

Der hier berechnete Fall stellt den Extremfall dar, im dem die gesamte Energiemenge, die im Netz zusätzlich gespeichert wird, zur Deckung der Bedarfsspitze benötigt werden würde. Häufig wird die Energie nicht komplett benötigt, der Kostenunterschied wäre dann entsprechend geringer. Die im Vorfeld generierte Wärme kann in jedem Fall genutzt werden, selbst wenn keine Bedarfsspitze auftritt.

Empfehlung für den Kesselbetrieb:

- Wenn beide Hackschnitzelkessel mit Volllast laufen, sollte die Vorlauftemperatur möglichst gering sein.
- Wenn über mehrere Tage nur ein Hackschnitzelkessel benötigt wird, ist anzunehmen, dass der Pufferspeicher allein die dann geringen Bedarfsspitzen ausgleichen kann. Die Vorlauftemperatur sollte möglichst gering sein.
- Zu allen anderen Zeiten sollte die Vorlauftemperatur des Nahwärmenetzes ein paar Stunden vor der Bedarfsspitze angehoben werden.

## 8.2 Leistungseinstellung Hackschnitzelkessel

Die den Hackschnitzelkesseln zugeführte Holz- und Luftmenge werden über die Vorlauftemperatur der Kessel geregelt. Die Kessel regeln immer auf eine konstante Vorlauftemperatur, eine Leistungsregelung findet nicht statt. Ursprünglich lieferten die Heizkessel Leistungen deutlich über der Nennleistung. Um keine dauerhaften Schäden zu generieren, wurden die Leistungen der Luftgebläse vom Hersteller reduziert. Dies führt dazu, dass die Hackschnitzelkessel nun etwas zu wenig Leistung liefern, wodurch der Heizkessel häufiger läuft. Es wird empfohlen, die Leistung der Hackschnitzelkessel wieder etwas zu erhöhen.

## 8.3 Wärmeverlust in der Heizzentrale

Um an der Decke der Heizzentrale keine zu hohen Temperaturen zu erhalten, hat der Architekt Lochbleche in die Decke integrieren lassen. Damit zieht die warme Luft ab, teilweise regnet es auch durch die Lochbleche in die Halle. Wenn die warme Luft in der Halle gehalten wird, kann die Energie z.B. zur Vorwärmung der Verbrennungsluft und zu Heizung der Halle genutzt werden.

Bisher wurde dem Problem durch Verschließen der Zuluftöffnungen begegnet. Dies führt dazu, dass sich kein stetiger Luftzug durch die Halle entwickeln kann, bei hohem Luftbedarf kann die Luft durch die Lochbleche angesaugt werden. Dies ist schon eine gute Lösung.

Es wird empfohlen, die Zuluftführung genauer zu betrachten und z.B. einen Teil der Lochbleche zu verschließen. Wenn aktuell der Heizkessel läuft, müssen die Zuluftklappen geöffnet sein. Die Lochbleche könnten also so weit verschlossen werden, dass nur die Zuluft für beide Hackschnitzelkessel durchströmen kann.

## 8.4 Regelung der Heizkessel

Die aktuelle Regelung sieht das An- und Abschalten der Heizkessel in Abhängigkeit eines festen Speicherfüllstands vor. Würden diese Parameter in der Benutzerführung als Variablen hinterlegt, könnte das Betriebsverhalten besser angepasst werden.

## 8.5 Pufferspeicher Regelung

Der Pufferspeicher wird zum Ausgleich von Leistungsspitzen genutzt. Die Regelung versucht, den Pufferspeicher vor der Verbrauchsspitze am Morgen voll zu laden. Eine übergeordnete Regelung, welche z.B. im Sommer berücksichtigt, wie hoch der aktuelle Verbrauch ist und wann welcher Heizkessel abgeschaltet werden kann, existiert nicht. Verschiedene Regelungstheorien könnten in den nächsten Jahren im Rahmen von Schülerarbeiten untersucht werden.

## 8.6 Einstellung der Heizkennlinien

Die Heizkennlinien, welche die Vorlauftemperatur in Abhängigkeit der Außentemperatur für die einzelnen Heizkreise vorgeben, können nur in den Rechnern

der einzelnen Unterstationen über Parameter geändert werden. Dieses Vorgehen ist für die Betreiber wegen der Komplexität und dem Risiko, falsche Parameter zu verstellen, nicht geeignet. Daher sind die meisten Heizkreise zur Zeit manuell auf eine Vorlauftemperatur fixiert, was nicht energieeffizient ist und viel Aufwand bei der Anpassung verursacht. Daher wird empfohlen, dass die Heizkennlinien in der Bedienoberfläche als Kurven verändert werden können.

Wenn die Heizkennlinien automatisch abgefahren werden, kann auch die Vorlauftemperaturregelung des Netzes besser an den Bedarf angepasst eingestellt werden. Auch die Einstellung einer energiesparenden Absenkung der Raumtemperatur in der Nacht ist dann möglich.

## 9 Zusammenfassung

In St. Ottilien wurden mehrere Heizzentralen und Gebäude über ein Nahwärmenetz zusammengeschlossen. Diese sinnvolle Maßnahme substituiert insgesamt 9 Heizölkessel, welche zum Teil Nutzungsgrade unter 70 % hatten, durch zwei effiziente Hackschnitzelkessel und zwei Heizölkessel. Diese neue Heizungsanlage vermeidet durch den Umstieg von Heizöl auf Hackschnitzel die Emission von ca. 1.800 t CO<sub>2</sub> pro Jahr. Über 85 % der Wärme werden bereits regenerativ bereitgestellt. Wenn die Gebäude (z.B. Schule, Schwimmbad) wie geplant weiter saniert werden, wird dieser Anteil weiter steigen.

Die Gesamtanlage funktioniert effizient und zuverlässig. Im nächsten Schritt können die im Rahmen der Studie ermittelten Optimierungspotenziale erprobt und umgesetzt werden. Nachdem nun eine solide Grundversorgung mit der Möglichkeit zur automatisierten Regelung der Anlage sowie zur Auswertung des Betriebsverhaltens vorhanden ist, können nun die Subnetze in den Unterzentralen saniert werden.

Es hat sich gezeigt, dass es sinnvoll war, einen Heizkessel in der Schule als Reserve stehen zu lassen, um bei Wartung bzw. Ausfall eines Hackschnitzelkessels dennoch die volle Leistung zur Verfügung stellen zu können.

Mit der Hackschnitzelanlage trägt St. Ottilien zur Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen, zur Stärkung der regionalen Wertschöpfungskette sowie zur Verringerung der Importabhängigkeit von Energieträgern bei.

## 10 Literaturverzeichnis

- GEI02 Geiger, B.; Hellwig, M.: *Entwicklung von Lastprofilen für die Gaswirtschaft (Haushalte)*. Studie im Auftrag des Bundesverbandes der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft e.V. und des Verbandes kommunaler Unternehmen e.V. . Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik der TU München (IFE), November 2002
- OTT05 Informationen der Erzabtei St. Ottilien, 2005
- LFL07 Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft: Agrarmeteorologisches Messnetz Bayern – Wetterdatenabruf. [www.lfl.bayern.de/agm/start.php](http://www.lfl.bayern.de/agm/start.php)

## Anhang A: Messtechnische Anforderungen für die Ausschreibung

### Allgemein

Ziel dieses Projekts ist der Vergleich zwischen Ist-Zustand und des Zustands nach Umsetzung der ersten Einsparmaßnahmen zur Quantifizierung der Erfolge und zur Identifikation weiterer Einsparpotenziale. Hierzu werden die Sanierungsmaßnahmen durch ein Messprogramm vorbereitet und begleitet.

Zudem wird der zukünftige Bedarf bei Berücksichtigung einer umfassenden Sanierung abgeschätzt und daraus die zu erwartenden Emissionen berechnet. Die Umsetzung der Optimierungspotenziale soll begleitet und messtechnisch ausgewertet werden, um den Erfolg quantifizieren zu können und Aussagen über die Verbrauchscharakteristik machen zu können. Hierzu werden Messstrategien für den Ist-Zustand und für die einzelnen Sanierungsschritte entwickelt, um mit möglichst geringem Aufwand Daten in der für eine Auswertung benötigten Detailtiefe zu erhalten.

Hierzu werden Messstellenschemata für die Anlagenerneuerung erstellt, um zusätzlich zur Regelung und Steuerung der Anlagen sowohl ungünstige Betriebszustände optimieren, wie auch beim Auftreten von Fehlern mit geringem Aufwand die Fehlerquelle bestimmen zu können.

Um die Schule auf Niedrigenergie-Standard zu bringen sind zahlreiche Maßnahmen notwendig. Diese werden in einem Katalog zusammengefasst und beschrieben.

### Messstellen

Beim Messstellenschema liegt der Fokus auf der Erweiterung der Messstellen, um nicht nur die zur Regelung und Abrechnung notwendigen Parameter zu erfassen, sondern auch die zur Optimierung und Störungssuche notwendigen. Je mehr Daten messtechnisch erfasst sind, umso schneller und genauer lassen sich die Gründe für Störungen erfassen. Dies und die Möglichkeit zur frühzeitigen Erkennung von ungünstigen Anlagenzuständen erhöht die Betriebssicherheit der Anlage und verkürzt die Zeiten mit Komforteinbußen auf Verbraucherseite.

Nach Möglichkeit sollten Wärmemengenzähler eingebaut werden, die neben der gesamten Energie auch die aktuelle Leistung, den Volumenstrom und Vor- bzw. Rücklauftemperatur an das Bussystem übermitteln. Neben der Visualisierung der Daten ist auch eine langfristige Speicherung (min. 1 Jahr) notwendig.

Nachfolgend werden die benötigten Messpunkte skizziert:

- **Pufferspeicher:** min. drei Temperaturen über die Temperaturschichtung
- **Kompaktstationen:** Wärmemenge, aktuelle Leistung, zusätzlich Vor- und Rücklauftemperatur auf Verbraucherseite und Volumenstrom, Vor- und Rücklauftemperatur auf Netzseite. Zusätzlich wird die Stellung des Drosselventils (Stellung Soll oder Istwert) benötigt.
- **Pumpen:** Bei drehzahlgeregelten Pumpen den Stellwert in Prozent, bei ungeregelten Pumpen das Schaltsignal (Ein/Aus)
- **Wärmeerzeuger:** Vor- und Rücklauftemperatur, Abgastemperatur, Stellsignal der Kesselmodulation, Zustands- sowie Störungsmeldungen

- **Schwimmbad:** Sollwerte der Lüftungsanlage, wie Luftmenge (bzw. Stellsignal der Frequenzumrichter (FU) für Zu- und Abluftventilatoren). Istwerte, wie Lufttemperatur und –feuchte, Zulufttemperatur, Ablufttemperatur, Frischlufttemperatur und Fortlufttemperatur sowie Betriebszustand der Wärmerückgewinnung und der Klappen.
- **Wetter:** Außentemperatur
- **Heizkreise:** Vor- und Rücklauftemperatur, Volumenstrom auf Verbraucherseite und Stellwert des Dreiwegeventils

### **Erweiterung der Ausschreibung**

Um die Auswertungen des Heizwärmebedarfs auch nach der Umstellung auf ein Nahwärmenetz durchführen zu können, müssen einige Anforderungen erfüllt sein. Manche der folgenden Anforderungen sind sicherlich schon in der Ausschreibung enthalten und werden nur zur Vollständigkeit der Liste erwähnt

- Die Gebäudeautomation (GA) muss z. B. für zukünftige Sanierungen der Gebäudeheizverteiler ausbaufähig sein und die Einbindung anderer Bus-Plattformen ermöglichen.
- GA-Daten müssen in ausreichender Anzahl (>500) auf Trend gesetzt werden können und mit geringem Zeitaufwand auslesbar sein. Die kontinuierliche Trenddatenerfassung muss Speicherkapazität für mindestens 1 Jahr zur Datenprotokollierung aller Trenddaten vorhalten.
- Alle Wärmeerzeuger und Pufferspeicher sind in einen Regelkreis einzubinden (keine voneinander unabhängigen Einzelregelungen)
- Erstellung von Datenpunktlisten nach einheitlichem Schema mit allen Datenpunkten (bei mehreren Gewerken wird dies teilweise unterlassen)
- Übergabe des Programmcodes der Regelung, um bei späteren Anlagenoptimierungen (z. B. verbesserte Regelung) die Regelung anpassen zu können. Alternativ müssen eigenständig Änderungen an den Regelschemata vorzunehmen sein.
- Der Fokus bei der Anlagenauslegung sollte auf möglichst tiefen Vor- und Rücklauftemperaturen (Sommer und Übergangszeit) liegen, um Wärmeverluste im Netz gering zu halten. Auch wenn die Verbraucher dies heute noch nicht in vollem Umfang ermöglichen, ist durch die stetige Sanierung von Gebäuden und der Anlagentechnik auf Verbraucherseite zukünftig (5..10 Jahre) Niedertemperaturstandard zu erwarten.
- Die Vorlauftemperatur sollte auf den höchsten, bei allen Kompaktstationen, vorkommenden Stellwert des Drosselventils geregelt werden (bedarfsorientierte Vorlauftemperatur).
- Die Netzversorgungspumpe sollte auf den Netzschlechtpunkt differenzdruckgeregelt werden.
- Für die Warmwasserbereitung sind mehrmals täglich Ladefenster mit Anhebung der Vorlauftemperatur (möglichst mit Anforderungssignal von WW-Speicher oder auf Temperatur der WW-Speicher) vorzusehen.

### Auswertungen in der GLT

- Anzeige der Anlagenschemata mit Soll-Werten, Stell-Werten und Ist-Werten
- Gesamtsummen: Wärmemengenzähler (Übergabestationen und Heizkessel), Stundenzähler der Kessel
- Energiebilanz der Wärmemengenzähler mit einstellbarer Zeit (z. B. Monat, Woche oder Jahr).
- Grafische Anzeige: Tägliche Energiemenge an den Übergabestationen als Verlauf der letzten x Tage (einstellbar x auf z. B. 365, 100 Tage)

#### Wärmemengenzähler:

- Hackschnitzelkessel I
- Hackschnitzelkessel II
- Öl-NT Kessel
- Geflügelhof

#### Hauptunterstation Exerzitienhaus

- Gaststätte Emminger Hof
- Kfz-Werkstatt
- Garage
- EOS-Verlag
- Waschhaus/Schneiderei
- Ottilienheim

#### Hauptunterstation Schule

- Abzweig Schusterei/Schmiede/Schreinerei
- Malerei
- Wohnungen
- Kälberstall
- Hallenbad
- Gärtnerei

#### Hauptunterstation Kloster

- St. Paulus

### Zur Sanierung der Anlagen hinter den Kompaktstationen im Kloster

Bei Sanierung der Warmwasserbereiter ist auf Frischwasserstationen zu achten, die alten Warmwasser-Speicher können als Heißwasserpuffer zur Erhöhung der Zapfleistung genutzt werden. Sind keine Frischwasserstationen möglich, so sollte weiterhin auf Warmwasserspeicher mit externem Wärmetauscher geachtet werden (geringere Rücklauftemperatur und somit geringere Wärmeverluste im Nahwärmenetz)

Jeder Heizkreis sollte zur Abrechnung und zur vereinfachten Fehlersuche mit einem Wärmemengenzähler ausgerüstet sein, welcher neben der Wärmemenge auch aktuelle Leistung, die Vor- und Rücklauftemperatur und den Volumenstrom an das Gebäudeleitsystem melden kann.