

Energiezentrale an der Hochschule Offenburg

Abschlussbericht



gefördert durch:
Innovationsfonds Klima- und Wasserschutz badenova

Prof. Dipl.-Ing. A. Isele
Dipl.-Ing.(FH) Ulrich Kuttruff
Offenburg, 5.02.2010

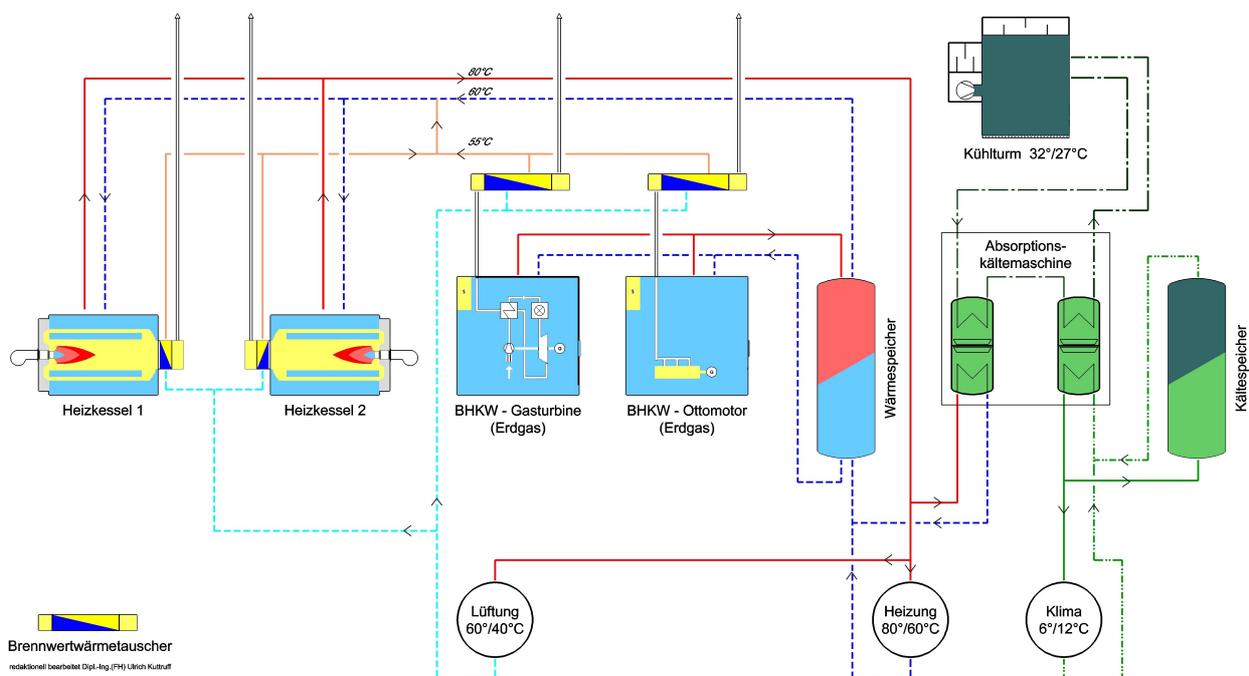
Inhaltsverzeichnis

1. Projektbeschreibung.....	2
2. Energiebedarf.....	4
3. Energieverbrauch.....	5
4. Leistungsgröße der Blockheizkraftwerke.....	5
5. Mikrogasturbine.....	7
6. Winter/Sommer-Betrieb.....	9
7. Absorptionskältemaschine.....	12
8. Lehre und Forschung.....	14

1. Projektbeschreibung

Im Rahmen der Sanierung der Heizungs-, Lüftungs- und Klimatechnik an der Hochschule Offenburg wurde die Energiezentrale vollständig erneuert. Zwei Rauchrohr/Flammrohrkessel für Erdgasbetrieb mit nachgeschalteten Brennwertwärmeübertragern wurden eingebaut. Die Wärmeversorgung wird von zwei Blockheizkraftwerken (BHKW) ergänzt. Es handelt sich hierbei zum einen um ein Modul mit Otto-Gasmotor (elektrische Leistung 50 kW). Das zweite Modul besteht aus einer Mikrogasturbine (elektrische Leistung 65 kW). Die Wärmeleistung beträgt insgesamt ca. 3,3 MW.

Neue Energiezentrale der Hochschule Offenburg
 (vereinfachtes Prinzipschaubild)

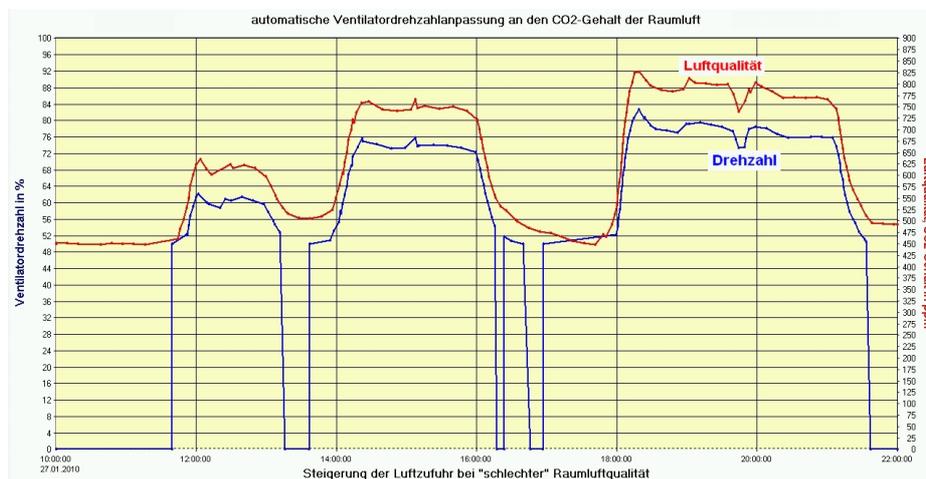


Die Blockheizkraftwerke arbeiten im Netzparallelbetrieb für den Eigenstromverbrauch der Hochschule und sind so ausgelegt, dass ein Aggregat den Stromverbrauch im Nachtbetrieb der Hochschule nahezu vollständig abdecken kann. Zusätzlicher Strombedarf wird zugekauft.

Um einen wirtschaftlichen Betrieb der BHKWs zu erreichen, wird die im Sommerbetrieb anfallende Wärme zur Kälteerzeugung durch eine Absorptionskältemaschine (Kälteleistung 150 kW) genutzt.

Eine deutliche Verringerung von Energieverbrauch und CO₂-Emissionen wird erreicht durch:

- moderne Gasheizkessel mit hohem Wirkungsgrad
- Brennwertnutzung (Heizkreise mit niedrigerem Temperaturniveau)
- hohe Ausnutzung des Kraftstoffs in den BHKWs durch gleichzeitige Elektro- und Wärmeenergieerzeugung
- Kälteproduktion durch Nutzung der Abwärme der BHKWs
- korrekte umlaufende Wassermenge zu den Wärme- und Kälteverbrauchern
- automatische Anpassung der Pumpen- und Ventilatorendrehzahl



In Abhängigkeit der Raumluftqualität wird die Drehzahl der Ventilatoren automatisch angepasst.

Die Gesamtmaßnahme besitzt ein CO₂-Reduktionspotenzial von ca. 330 to jährlich.

Neben der Versorgung der Hochschule mit Wärme, Strom und Kälte dient die neue Anlage auch Zwecken der Forschung und Lehre.

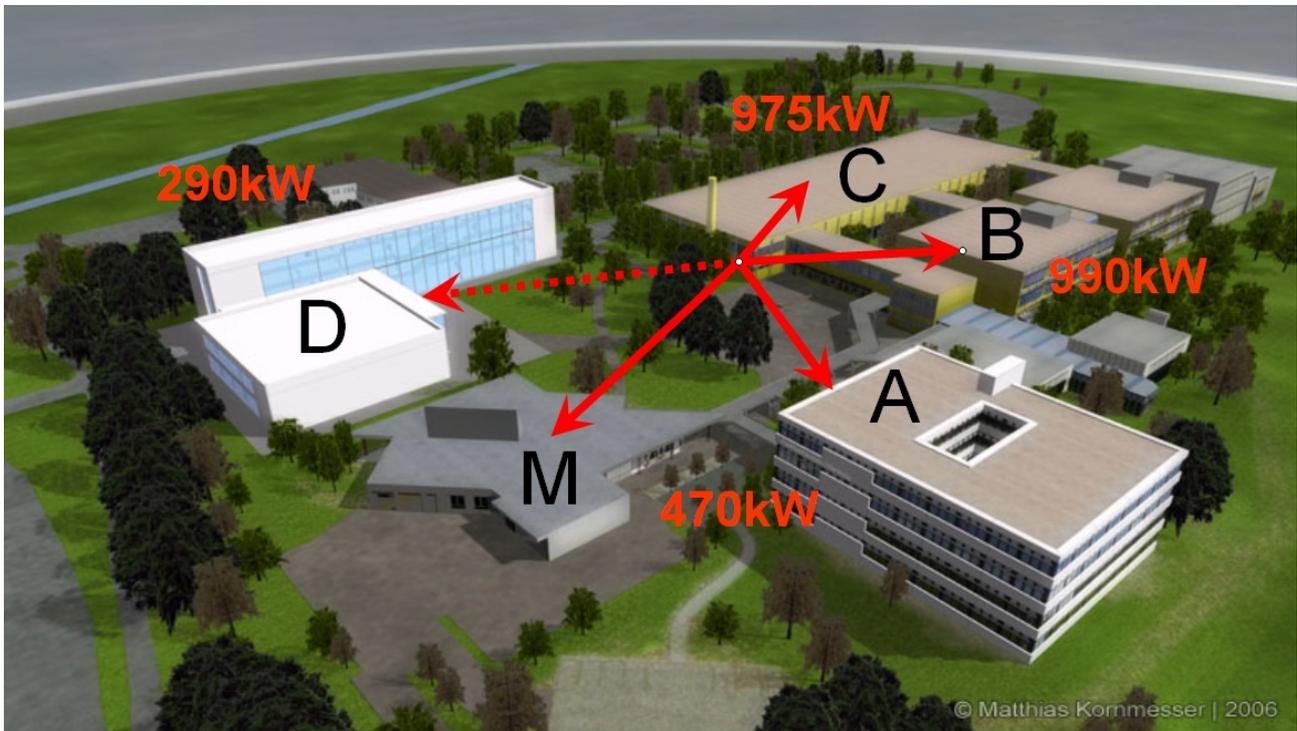
Betriebsüberwachung:

Die Anlagen der technischen Gebäudeausrüstung sind durch eine Gebäudeleittechnik (GLT) verbunden. Ein mobiles Bediengerät ermöglicht den Zugriff auf Betriebszustände und Temperaturen und zeigt automatisch Wartungs- und Störmeldungen an.

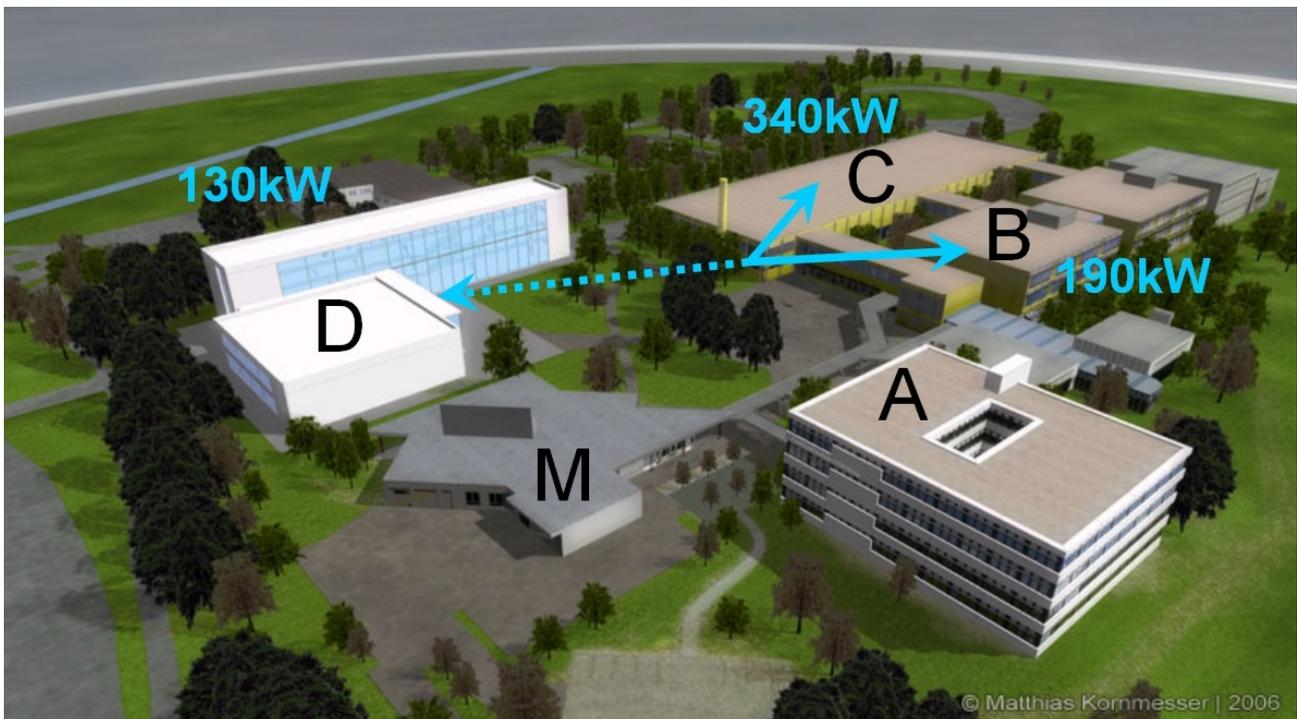
Aus der Vielzahl an Messstellen werden für die Energiebilanz und Nachweis wichtiger Betriebszustände bestimmte Werte jederzeit gespeichert. Einzelne Anlagen und Räume können mit der GLT detailliert beobachtet und analysiert werden. Beispielhaft wurden die Großen Hörsäle optimiert und ein zuverlässiger und energiesparender Betrieb sichergestellt. Weiterhin kann die Automatisierung- und Regelungsstruktur beeinflusst und verändert werden.

2. Energiebedarf

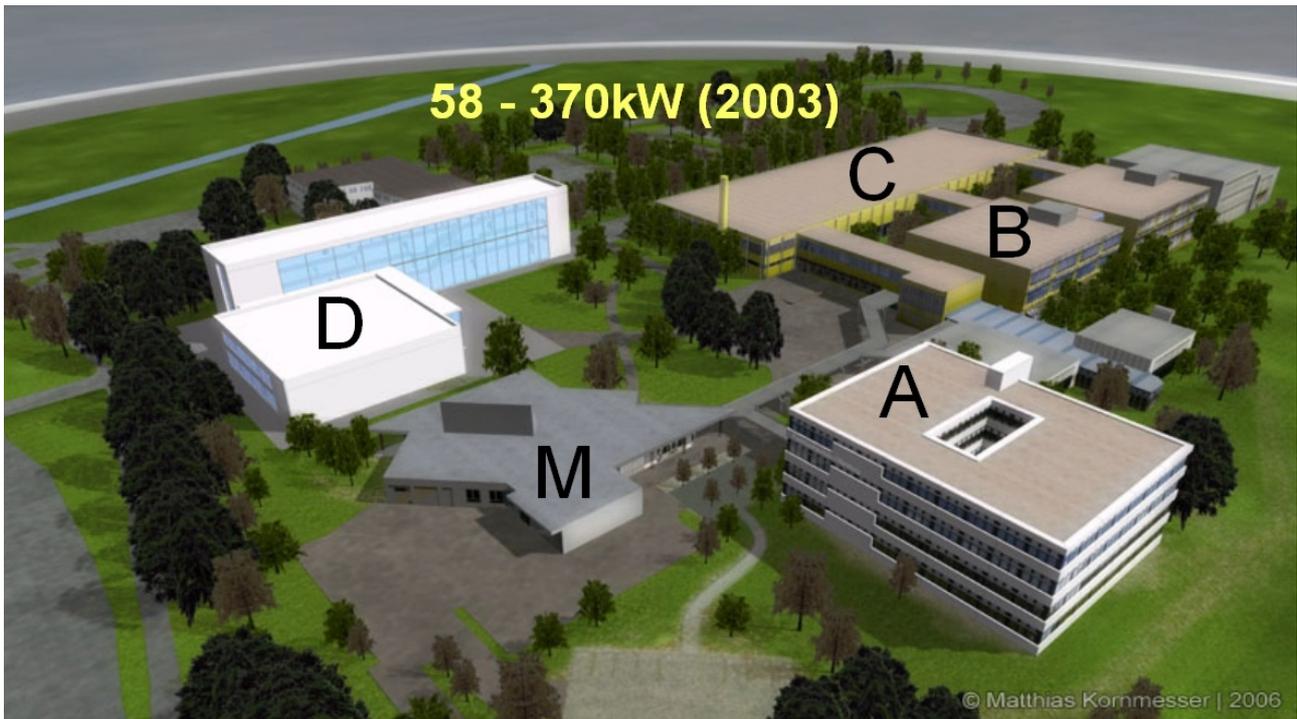
Heizlast



Kühllast



Strombedarf



3. Energieverbrauch

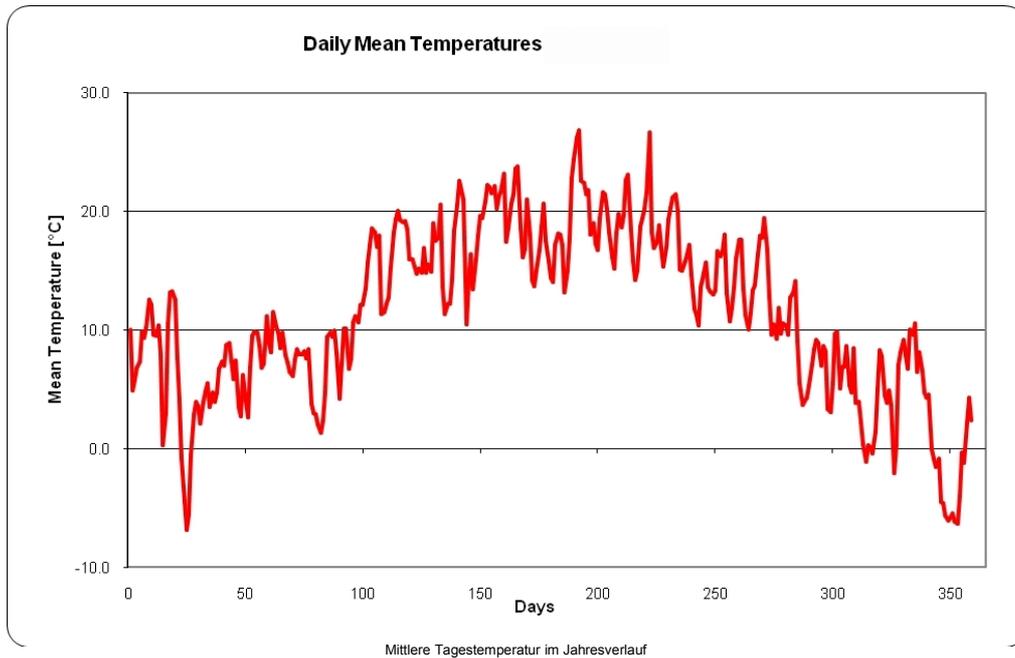
Jahr		Strombedarf in GWh	Gasbedarf in 1000 m ³	Gasbedarf in GWh
2006	vor der Sanierung	0,98	187	2110
2007	während der Sanierung	1,23	251	2820
2008	nach der Sanierung	1,4	257	2860

4. Leistungsgröße der Blockheizkraftwerke

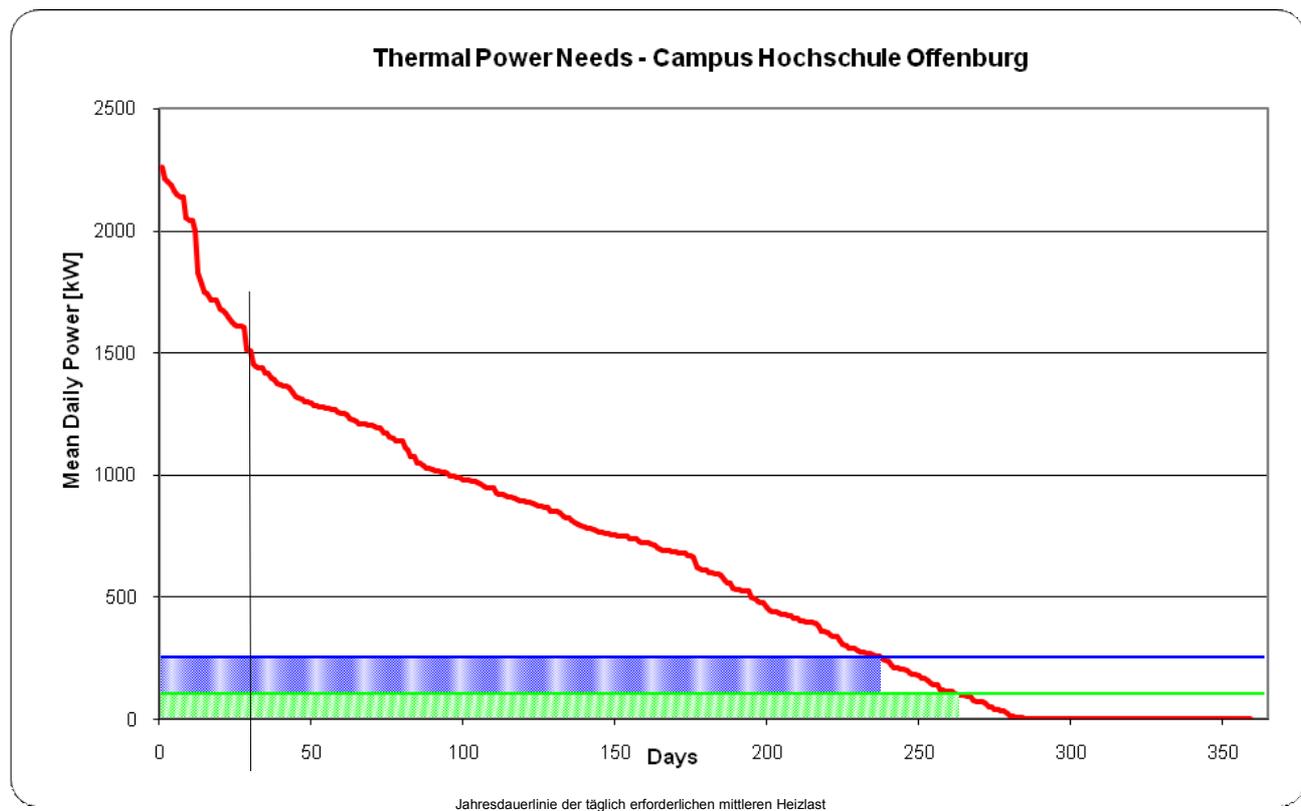
Die BHKWs sind wärmegeführt. Die Gasturbine hat ein sehr langes Wartungsintervall und wird deshalb zuerst in Betrieb genommen. Steigt die geforderte Heizleistung schaltet der Ottomotor zu. Bei zunehmend fallender Außentemperatur kommen auch die Kessel zum Einsatz. Überschüssig produzierter Strom wird ins öffentliche Netz eingespeist; es wirkt somit gewissermaßen wie ein großer Elektrospeicher. Blockheizkraftwerke bedeuten hohe Investitionskosten bezogen auf die Leistung. Die vorteilhaften geringen Betriebskosten können die Investitionen ausgleichen. Hierzu ist eine langanhaltende Nutzung der Anlage notwendig. Über die gesamte Energiezentrale liefert eine Wirtschaftlichkeitsanalyse den Nachweis über die günstigste Ausführung.

Es ist nun wichtig zu wissen, welche Heizleistung an jedem Tag der Heizperiode zu liefern ist. Hauptsächlich ist diese von der Außentemperatur abhängig. Durch

Wetteraufzeichnungen erhält man die Tagesmitteltemperatur.



Sortiert man die Temperaturen nach steigenden Werten so erhält man die sogenannte Heizlast-Jahresdauerlinie.



Die bereitzustellende Spitzenleistung wird nur an wenigen Tagen gebraucht. Selbst die vollständige Leistung eines Kessels ist nur für ca. 30 Tagen mindestens erforderlich. Je länger die Betriebszeit eines BHKWs, desto wahrscheinlicher ist ein wirtschaftlicher Betrieb. Obiges Bild zeigt für den Ottomotor (grün schraffierte Fläche) im Heizfall einen Volllastbetrieb von 260 Tagen. Die Gastrurbine (blaue Fläche) kommt auf eine Betriebsdauer von 240 Tagen.

Die Fläche unterhalb der Jahresdauerlinie stellt den Energiebedarf in kWh dar. Beide BHKWs liefern ca. 25 % des Jahresheizenergiebedarfes.

Literaturnachweis:

Andlauer, B., Bollin, E.: Trigeneration in Offenburg, Offenburg: 2008

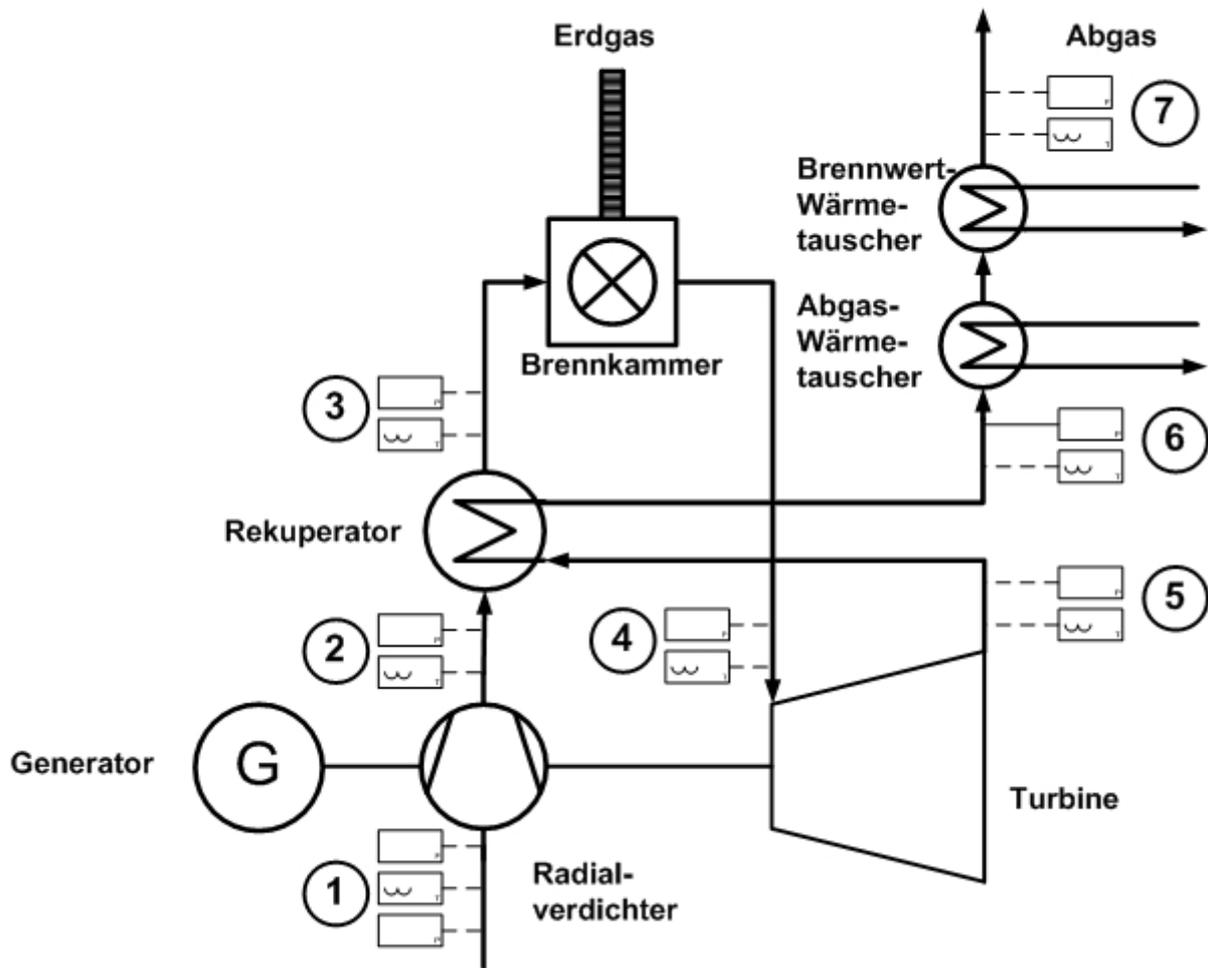
5. Mikrogasturbine

Eine Gasturbine besteht im wesentlichen aus der eigentlichen Turbine, einem vorgeschalteten Kompressor und der zwischengeschalteten Brennkammer. Die Turbine leistet mehr mechanische Arbeit als zum Antrieb des Kompressors notwendig ist; damit kann mit einem Generator elektrische Energie erzeugt werden. Die angesaugte Umgebungsluft wird durch den Kompressor auf einen hohen Druck gebracht (5 bar) und der Brennkammer zugeführt. Dort wird Kraftstoff zugefügt und das Luft-Kraftstoffgemisch verbrannt. In der Turbine wird ein Teil in mechanische Arbeit umgewandelt. Die Abgastemperatur beträgt ca. 600 °C und kann zu Heizzwecken eingesetzt werden.



Radialverdichter

Zur Verbesserung des Wirkungsgrades wird mit dem heißen Abgas die bereits verdichtete Luft vorgewärmt. Somit muss in der Brennkammer weniger Kraftstoff zugeführt werden. Das Abgas nach dem inneren Wärmeübertrager wird so auf ca. 300 °C abgekühlt.



Fließbild und Messstellenplan einer Gasturbine mit Rekuperator

In der Anlage herrschen bei Vollastbetrieb (60 kW) folgende Betriebszustände:

	Temperatur	Druck	Enthalpie
Zustandspunkt	K	bar	kJ/kg
1	293	1	21,8
2	490	4,2	236,7
3	797	4,2	571,2
4	1221	4,08	1042,7
5	908	1,35	715,2
6	596	1,35	368,3
7	338	1,25	81,2

Der eingesetzte Kraftstoff wird in Abhängigkeit der angeforderten Leistung zwischen 66 % und 82 % genutzt.

Ein besonderes Konstruktionsmerkmal ist die luftgelagerte Turbinenwelle. Der Einsatz von Schmierstoffen entfällt und das Wartungsintervall erreicht 8000 Stunden.

Literaturnachweis:

Zeller, C., Kaufmann, A., Treffinger, P.: Mikrogasturbine zur Kraft-Wärme-Kopplung an der Hochschule Offenburg, Offenburg: 2009

6. Winter/Sommer-Betrieb

Die BHKWs sind ganzjährig in Betrieb. In der Übergangszeit reicht die Heizleistung der BHKWs aus, sie liefern die Grundlast. Bei kälteren Außentemperaturen werden die Heizkessel zugeschaltet (Winterbetrieb). Im Sommerbetrieb arbeiten die BHKWs und liefern die Antriebsleistung für die Absorptionskältemaschine. Für eine optimale Betriebsweise wird die Heizungstemperatur angehoben.

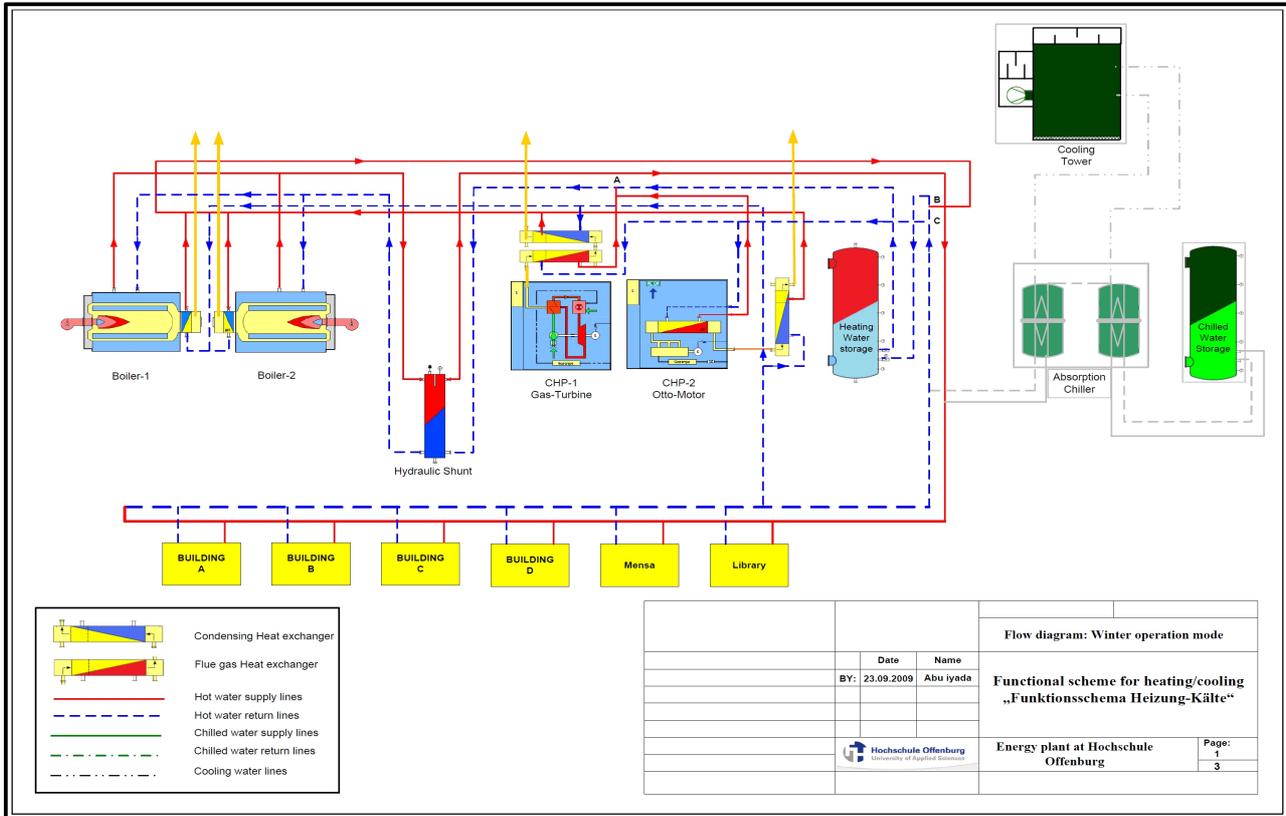
Winter:

Die Abgaswärmeübertrager der BHKWs erwärmen einen Teilvolumenstrom des kalten Rücklaufwasser aus der Hauptverteilung. An der Verbindung (T-Stück A) trifft der BHKW-Vorlauf mit dem Hauptvolumenstrom zusammen, vermischt sich und erwärmt das Hauptrücklaufwasser (Rücklaufanhebung). Anschließend gelangt es zu den Heizkesseln und wird dort auf die jeweils erforderliche Temperatur angehoben. Durch die Heizungshauptpumpe steht am Hauptverteiler die Wärme zur Verfügung und kann an die einzelnen Gebäudeheizkreisläufe abgegeben werden. Damit im Rohrleitungssystem mit mehreren Pumpen an jeder Stelle der entsprechend richtige Volumenstrom fließt, werden die Hauptpumpe und Heizkesselpumpen durch eine sogenannte hydraulische Weiche entkoppelt. Das kalte Rücklaufwasser wird wieder aufgeteilt (Verbindung C) um in einem Bypassvolumenstrom die Heizwärme der BHKWs aufzunehmen. Eine Besonderheit dieser Energiezentrale sind die, jedem Wärmeerzeuger nachgeschalteten, Brennwertwärmeübertrager. Bei Verbrennung von Erdgas entsteht Wasser, welches wiederum bei den herrschenden Abgastemperaturen als Wasserdampf vorliegt. Ein separater Verbraucherheizkreislauf (Klimaanlagen) liefert auch im Winterbetrieb ausreichend kalte Rücklauftemperaturen um damit den Wasserdampf zu kondensieren und die Energie in der Heizung zu nutzen. Die zusätzliche Heizleistung von ca. 8 % wird an Verbindungsstelle B dem Hauptrücklauf beigemischt.

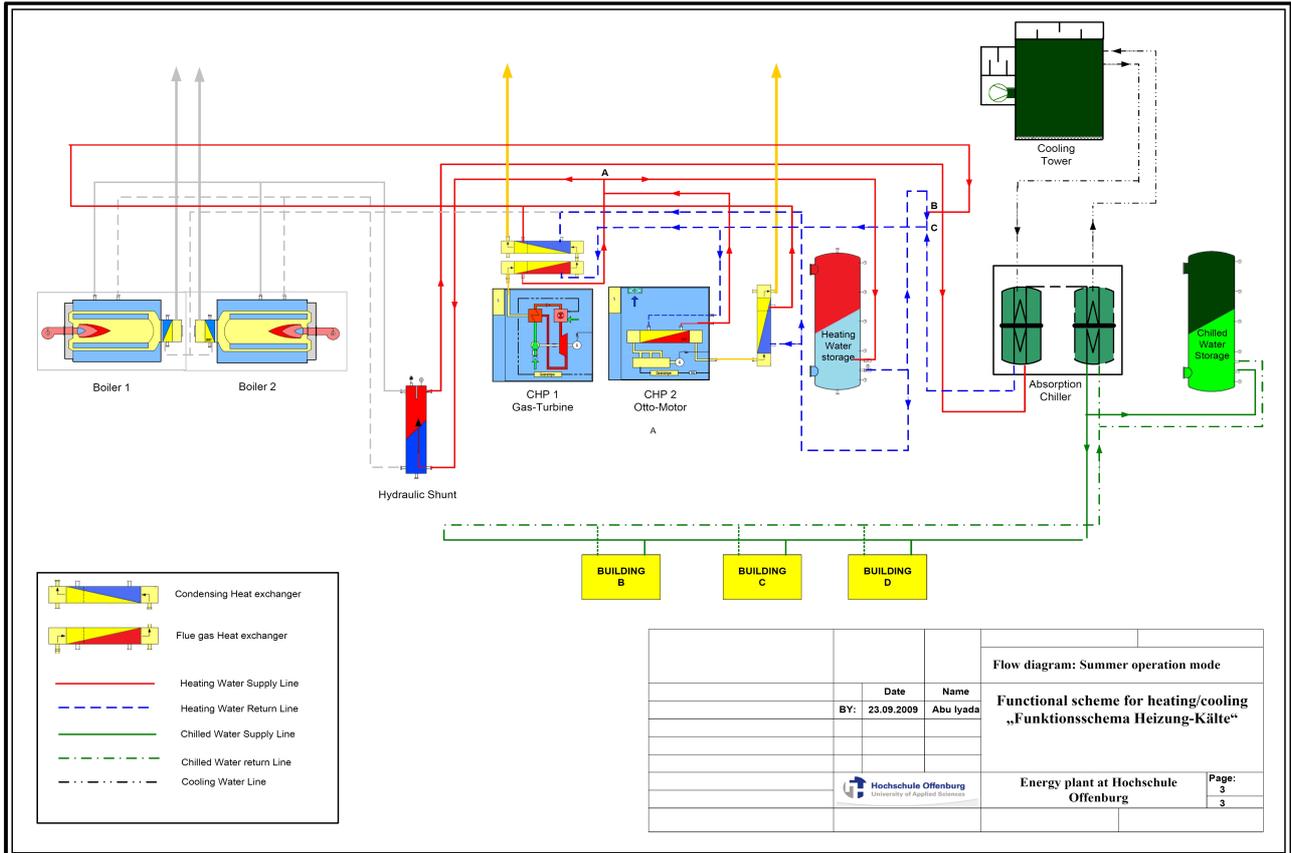
Sommer:

Die BHKWs liefern Wärme auf einem höheren Temperaturniveau zum Betrieb der Kältemaschine. Der Verbindungsstelle A im Rohrleitungssystem kommt im Sommerbetrieb eine besondere Bedeutung zu. Der angelieferte Volumenstrom ändert sich mit dem Betrieb nur eines oder beider BHKWs. Ebenfalls ist der von der Kältemaschine angeforderte Heizwasservolumenstrom durch eine Regelung im Tagesverlauf unterschiedlich. Vom Punkt A gelangt die Antriebswärme über die hydraulische Weiche zum Austreiber der Kältemaschine. Ist der BHKW-Volumenstrom größer, wird der

Überschuss vom Punkt A zum Warmwasserspeicher geleitet und belädt diesen. Fordert die Kältemaschine mehr, wird die Strömungsrichtung umgekehrt und gespeichertes Heizungswasser aus dem Speicher vermischt sich in Punkt A mit dem Heizungsanlauf der BHKWs.



Fließbild : Winterbetrieb, aktive Komponenten, Fließrichtungen

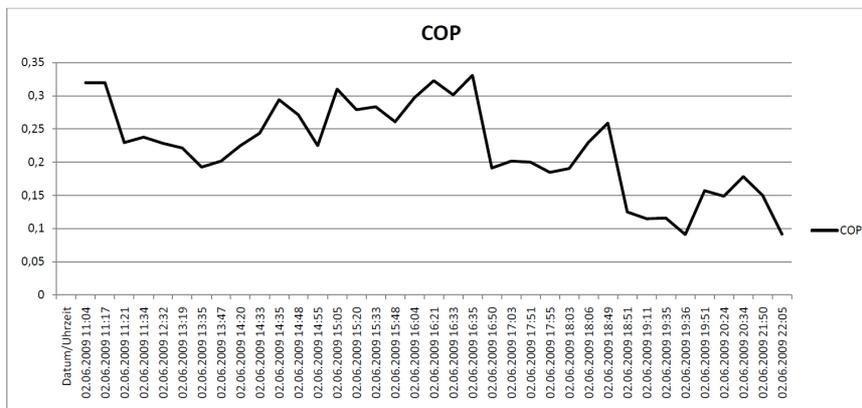


Fließbild : Sommerbetrieb, aktive Komponenten, Fließrichtungen

7. Absorptionskältemaschine

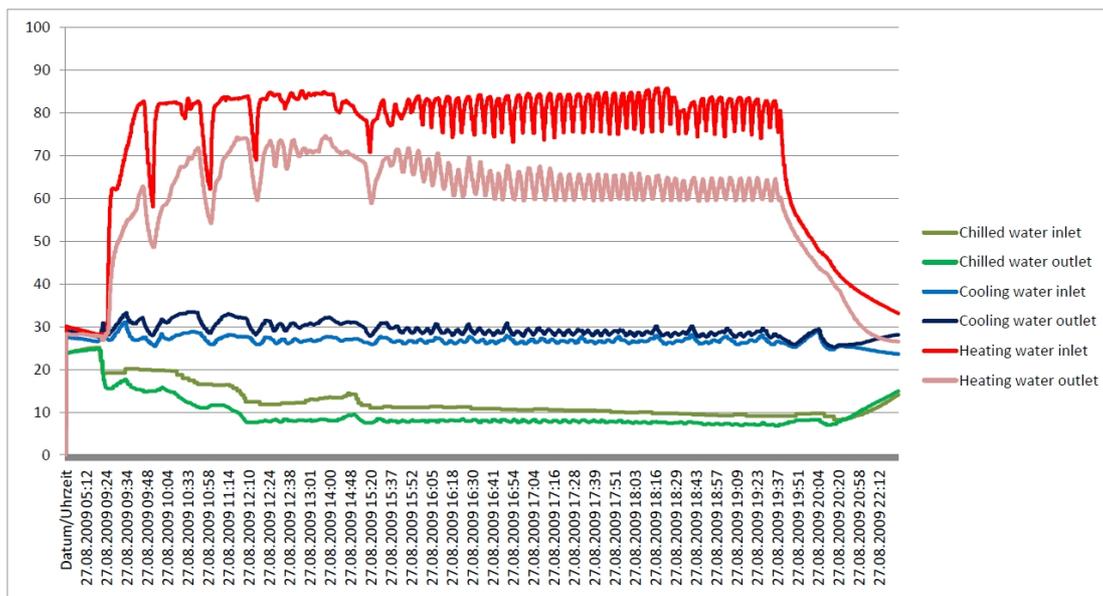
Wie jede Anlage zur Umwandlung von Energie, kann auch die Absorptionskältemaschine durch eine Verhältnisszahl zweier Energieströme bewertet werden. Die Nutzenergie (hier Kälteleistung) wird geteilt durch die Antriebsenergie (hier Heizleistung). Bei thermisch angetriebenen Kältemaschinen spricht man vom sogenannten Wärmeverhältnis. Gemäß Herstellerangaben beträgt diese 0,7. Im englischen Sprachgebrauch wird dies auch als C.O.P. (coefficient of performance) bezeichnet.

Die Gebäudeleittechnik liefert die zur Auswertung und Berechnung des C.O.P. notwendigen Temperaturen und Volumenströme. Eine erste Auswertung lieferte einen C.O.P. von ca. 0,2.



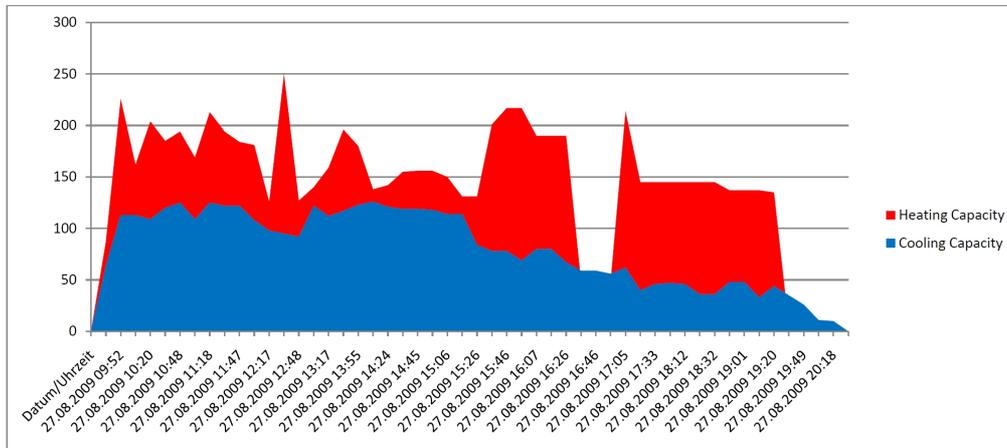
C.O.P. der Absorptionskältemaschine zu Beginn der Sommerperiode

Kurze Zeit später wurde eine Wartung durchgeführt und im Anschluss nochmals die Messwerte aufgezeichnet.



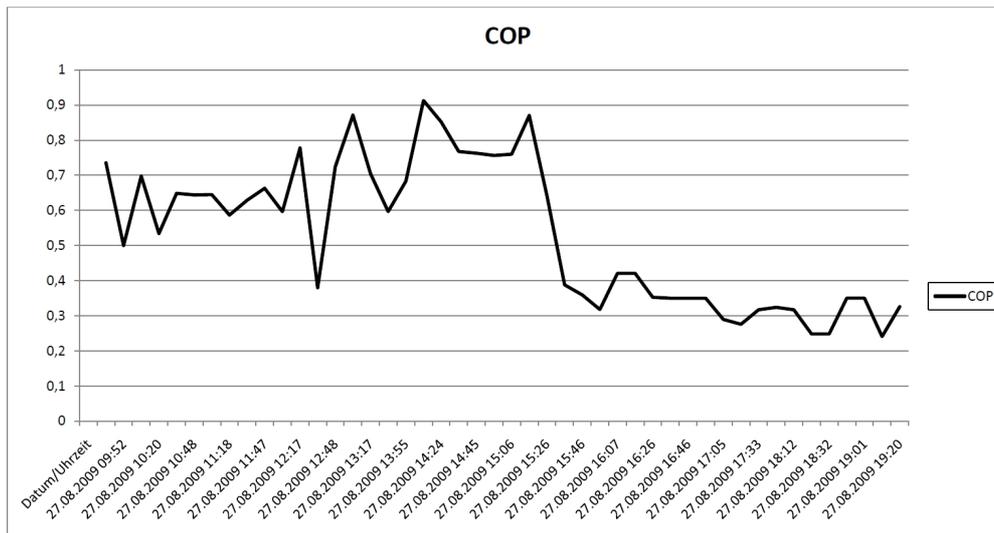
Temperaturen im Heiz- und Kaltwasserkreis der Absorptionskältemaschine

Anhand der Temperaturen im Heizungskreislauf sowie im Kaltwasserkreislauf und bei bekannten Volumenströmen kann man zu gleichen Zeitpunkt die Energieströme berechnen.



Heiz- und Kälteleistung der Absorptionskältemaschine

Das Verhältniss zwischen Nutzen zu Aufwand beträgt nun ca. 0,6.



C.O.P. der Absorptionskältemaschine

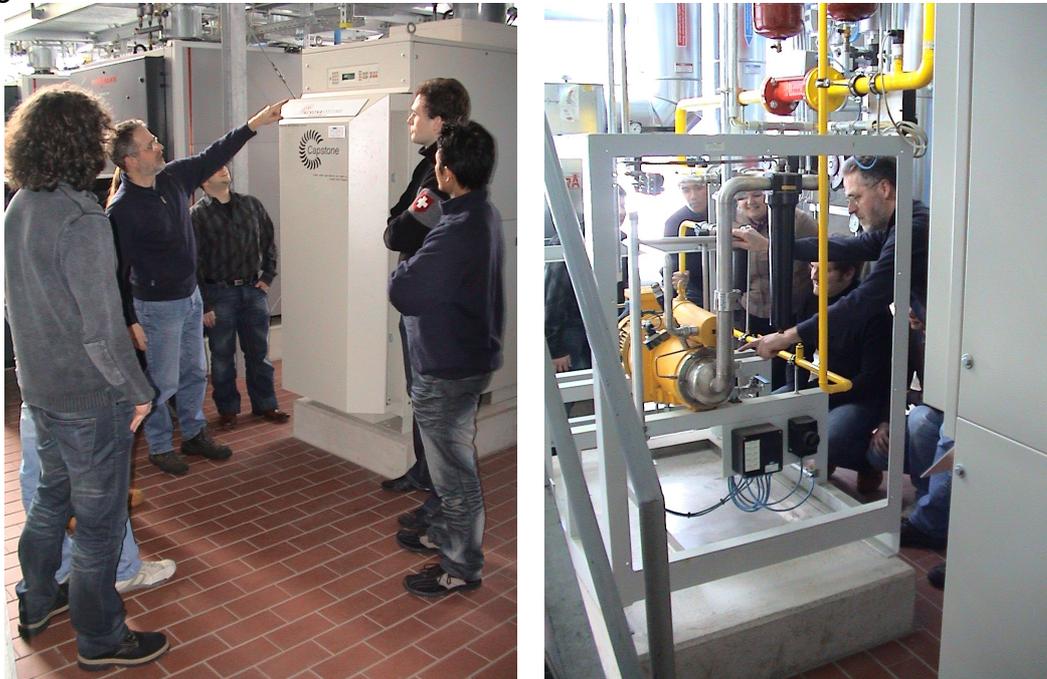
Literaturnachweis:

Abu lyada, G., Sikorski, E., Bollin, E., Saidam, S.: Verification of design and system operation modes by elaborating a detailed technical description of the energy plant of Hochschule Offenburg, Offenburg: 2009

8. Lehre und Forschung

Die Kapitel 4 bis 7 zeigen Auszüge aus Studien-, Projekt- und Masterarbeiten, welche von Studierenden der Studiengänge Versorgungs-, Verfahrenstechnik und Energy Conversion and Management durchgeführt wurden. Hiermit ergibt sich ein Abbild der installierten Zentrale – entstanden aus dem Planungsansatz und den während der Ausführung erforderlichen Anpassungen. Studierende sind in Gruppen zu ca. 10 Teilnehmern an der Anlage und erhalten von mehreren Dozenten, aus unterschiedlichen Blickwinkeln, Erläuterungen zu, jeweils der Lehrveranstaltung entsprechend wichtigen, Komponente.

Vertiefend wird in Energieverfahrenstechnik und in Energy Conversion Techniques die Gasturbine behandelt. In Regelungs- und Leittechnik ist die Bedienoberfläche der Gebäudeleittechnik Bestandteil des Vorlesungsstoffs. Die Bedienungsweise wird gezeigt und anhand selbstdefinierbarer Linienschreiber z. B. die Qualität eines Proportional- oder PI-Reglers untersucht.



Studierende an der Gasturbinen-BHKW mit Erdgaszuführung

Folgende studentische Arbeiten wurden ausgeführt:

- Zeller, C., Kaufmann, A., Treffinger, P.: Mikrogasturbine zur Kraft-Wärme-Kopplung an der Hochschule Offenburg, Offenburg: 2009
- Andlauer, B., Bollin, E.: Trigeneration in Offenburg, Offenburg: 2008
- Abu lyada, G., Sikorski, E., Bollin, E., Saidam, S.: Verification of design and system operation modes by elaborating a detailed technical description of the energy plant of Hochschule Offenburg, Offenburg: 2009
- Horst, N., Bühler, K.: „Broad“ Absorption chiller, Offenburg: 2007