

Abschlussbericht

für den

**Innovationsfonds Klima- und Wasserschutz
badenova AG & Co. KG**

für das Projekt

**Wärmemanagement mit energiesparendem
Regelungssystem durch bedarfsgesteuerte Rückführung
der Abwärmepotentiale unter Einsatz einer
erdgasbetriebenen Wärmepumpe (GMWP)
Projektnummer 2004-18**

Zuwendungsempfänger
Rolf Rubsamen
Projektleitung
Christoph Weiler



Inhaltsverzeichnis

1	Projekt.....	3
1.1	Einführung	3
1.2	Wissenschaftliche Grundlagen Wärmepumpe	3
1.3	Zielsetzung.....	7
1.4	Chancen und Risiken des Vorhabens	7
1.5	Förderbedingungen.....	8
2	Projektbeschreibung	8
2.1	Projektablauf.....	8
2.1.1	Projektidee	9
2.1.2	Projektpartner	10
2.1.3	Terminplan	11
2.1.4	Budgetplanung und Förderung	12
2.2	Projektplanung	12
2.2.1	Energiekonzept und Studien	12
2.2.2	Ausführungsplanung	17
2.3	Technische Umsetzung	21
2.3.1	Technische Daten/Betriebsparameter	21
2.3.2	Anlagenbau.....	23
2.4	Anlagenbetrieb.....	26
2.4.1	Auswertung der Betriebsergebnisse	26
2.5	Ökologischer Nutzen	33
2.5.1	Einsparung an Primärenergie.....	34
2.5.2	Reduktion der CO ₂ -Emission	34
2.6	Betrachtung der Wirtschaftlichkeit	34
3	Beispielwirkung	43
3.1	Folgeprojekte mit der gleichen Technologie	43
4	Öffentlichkeitsarbeit	44
4.1	Führungen und Vorträge.....	44
4.2	Flyer, Presse, Veröffentlichungen	46
5	Zusammenfassung	51

1 Projekt

1.1 Einführung

Die Kur und Bäder GmbH Bad Krozingen ist Betreiberin des Thermalbades Vita Classica in Bad Krozingen. Im Jahr 2003 wurde die Vita Classica bereits mit dem „Öko Audit“, einem in der Europäischen Gemeinschaft einheitlichen Zertifikat für kontinuierliches Umweltmanagement, ausgezeichnet. Unabhängige Umweltgutachter der DAU (Deutsche Akkreditierungs- und Zulassungsgesellschaft für Umweltgutachter mbH) haben die Umsetzungen der strengen Verordnungen geprüft und eine Gültigkeitserklärung an die Kur und Bäder GmbH übergeben. Gleichzeitig sollten durch eine Umstrukturierung der Prozesse die Betriebskosten (Erdgas, Strom, Wasser, Chemikalien und Abfall) deutlich gesenkt werden.

In den Jahren 2004/2005 wurde eine Erweiterung der Badebeckenlandschaft durch ein neues Außenbecken sowie eine Umgestaltung der Nebenräume umgesetzt. Trotz der Attraktivitätssteigerung des Thermalbades war das Ziel, die Betriebskosten durch energiesparende Maßnahmen in den Bereichen Wärme und Strom um mehr als 10 Prozent zu senken.

Mit badenova als Partner wurde die vergangenen 4 Jahre stufenweise, von der Bestandserfassung über die Erstellung eines gesamtheitlichen Energiekonzeptes bis hin zur Neuanlagenerrichtung und Betrieb diesen technischen Anlagen, an der Zielsetzung mit großem Erfolg gearbeitet.

1.2 Wissenschaftliche Grundlagen Wärmepumpe

Wissenschaftliche Grundlagen Wärmepumpe

Eine Wärmepumpe ist eine technische Anlage, die unter Energiezufuhr Fluide von einem niedrigen auf ein hohes Temperaturniveau anhebt. Der bedeutende physikalische Effekt ist dabei die Verdampfungswärme beim Wechsel des Aggregatzustandes (flüssig/gasförmig).

Das Prinzip einer Kompressionswärmepumpe, wie sie in der Vita Classica eingesetzt wird, ist anhand der Abbildung 1 dargestellt. Die Wärmeabgabe von 2 nach 3 erfolgt auf einer Isobaren. Es kondensiert das Wärmeträgermedium und gibt so Wärme an die Umgebung ab. Das kondensierte Fluid wird von 3 nach 4 durch eine Drossel isenthalp entspannt. Dieses Entspannen zieht eine isobare Verdampfung von 4 nach 1 nach sich, während der Umgebung Wärme entzogen wird. Das somit wieder leicht aufgewärmte Medium wird von 1 bis 2 isentrop komprimiert, was ein verflüssigen nach sich zieht.

Wesentliche Größen bei der Bewertung einer Wärmepumpe sind die Umgebungstemperaturen an den Punkten 1 und 3. Je höher die Temperaturdifferenz an den zwei Punkten ist, desto mehr Energie muss in Punkt 4 zugeführt werden. Dies senkt das Verhältnis zwischen zugeführter und abgegebener Energie.

Die Zuführung der benötigten Energie für die Kompression des Mediums kann dabei mit verschiedenen Energieträgern erfolgen.

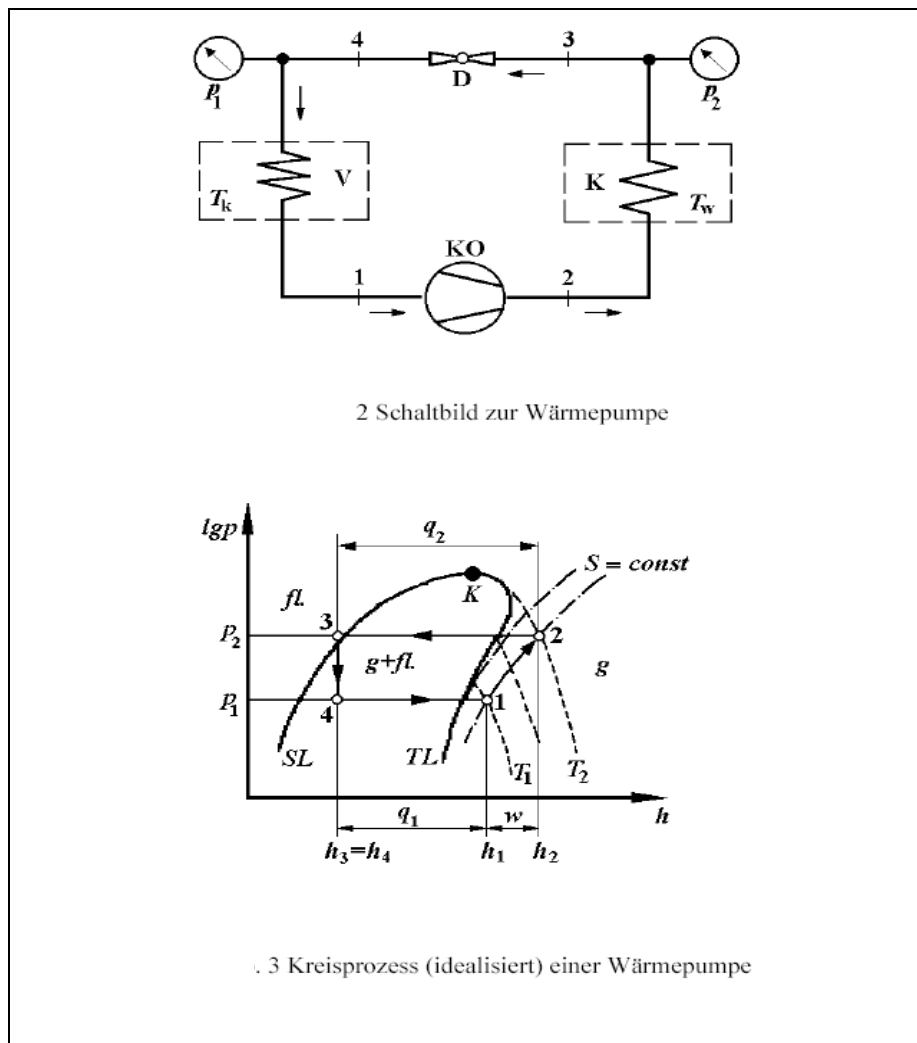


Abb. 1.

Wärmepumpe Thermodynamik

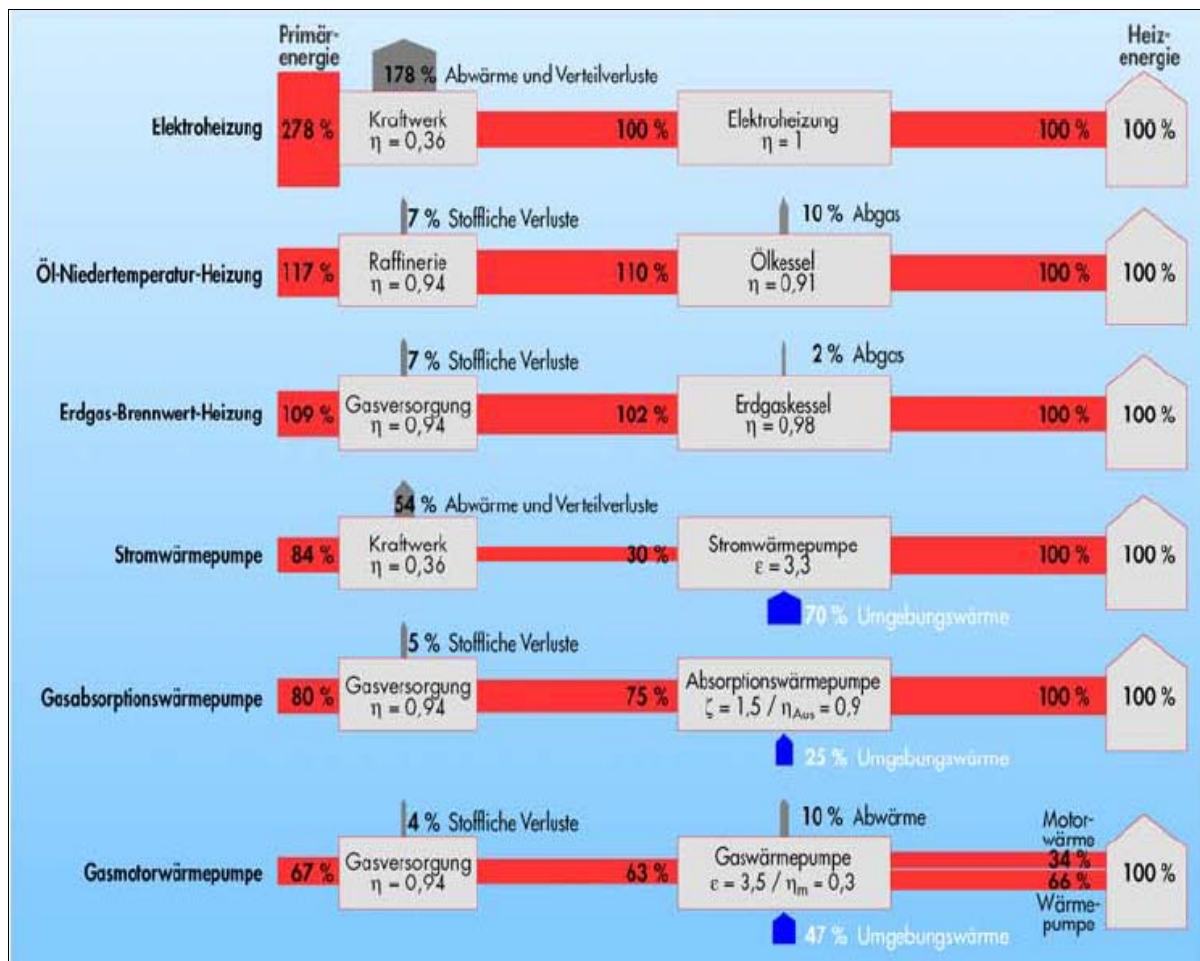
Die Stromwärmepumpe ist derzeit die am weitesten verbreitete Wärmepumpenart auf dem Markt. Daneben werden auch Wärmepumpen mit erdgasbetriebenen Gasmotoren eingesetzt, die eine weitaus bessere Ausnutzung der Primärenergie haben. Dies rührt daher, dass bei einer Gasmotorwärmepumpe der Energieträger vor Ort in die benötigte Energieform Wärme umgewandelt wird. Somit entstehen, anders als bei der Stromwärmepumpe, keine Erzeugungsverluste im Kraftwerk sowie Übertragungsverluste vom Kraftwerk zum Anlagenstandort, die insgesamt rund 65 % der eingesetzten Primärenergie ausmachen. Die Abwärme des Motors wird über einen Abgaswärmetauscher und die Motorkühlung direkt vor Ort verwendet. Diese Nutzung der Abwärme ist der wesentliche Vorteil von erdgasbetriebenen Wärmepumpen gegenüber elektrisch betriebenen Wärmepumpen.

Generell lassen sich mit Wärmepumpen aufgrund der Nutzung von kostenloser, regenerativer „Umweltenergie“ bzw. von Abwärme bedeutende Einsparungen von Primärenergie erschließen. Damit tragen Wärmepumpen, insbesondere solche mit Gasantrieb, zu einer wesentlichen Verminderung der CO₂-Emissionen bei. Um dies zu veranschaulichen, wird im folgenden der Primärenergieeinsatz verschiedener Heizungssysteme unter Berücksichtigung der jeweiligen Umwandlungs- und Verteilungsverluste miteinander verglichen (vgl. Abbildung 2). Bezugspunkt ist die an den Nutzer abgegebene Heizenergie von 100 Prozent.

Betrachtet werden zunächst die Elektro-Heizsysteme, bei denen Strom in Wärme umgewandelt wird. Zur Ermittlung des Primärenergieeinsatzes für Elektroheizungen wird in der Regel der „Strommix“ eingesetzt, der die prozentualen Anteile der in Deutschland üblichen Kraftwerkstypen und deren Umwandlungsgrade über Tag- und Nachtbetrieb – gemittelt über ein Jahr – berücksichtigt. Die Gegenüberstellung zeigt, dass bei der elektrischen Heizung 278% an Primärenergie eingesetzt werden muss, die im Kraftwerk lediglich zu 36 % in Strom umgewandelt wird, so dass 178 % der Primärenergie als Abwärme und Verteilungsverluste verlorengehen. Gegenüber diesem relativ schlechten Wirkungsgrad erfolgt anschließend die Umwandlung von Strom in Wärme bei elektrischen Heizgeräten verlustfrei mit einem Wirkungsgrad von 1.

Mit Heizöl betriebene Niedertemperaturheizkessel haben einen Nutzungsgrad von $\eta = 0,91$. Bei einem angenommenen Raffineriewirkungsgrad von 94 % erfordern Ölniedertemperaturheizungen einen Primärenergieeinsatz von 117 %.

Zur Beurteilung des notwendigen Primärenergieeinsatzes bei Erdgas- Zentralheizungen wird der Nutzungsgrad eines Brennwertkessels ($\eta = 0,98$) eingesetzt. Daraus ergibt sich bei einem angenommenen Wirkungsgrad der Gasversorgung von 0,94 ein Primärenergieeinsatz von 109% .



Quelle ASUE

Abb. 2 Primärenergieeinsatz (Warmwasserbereitung ist unberücksichtigt)

Grundlage für das Heizen mit einer Wärmepumpe ist der Kaltdampfprozess. In einem geschlossenen Kreislauf nimmt ein Kältemittel beim Verdampfen auf niedrigem Druck- und Temperaturniveau Wärme aus der Umgebung auf. Der entstandene Kältemitteldampf wird in einem Verdichter unter Zufuhr von Antriebsenergie auf ein höheres Druckniveau komprimiert, wobei auch das Temperaturniveau ansteigt. Im Kondensator verflüssigt sich das Kältemittel wieder und setzt Wärme frei. Über ein Druckreduzierventil wird das flüssige Kältemittel entspannt und kühlt dabei ab – der Kreislauf beginnt von neuem.

In Abb. 3 ist der prinzipielle Aufbau einer strombetriebenen Wärmepumpe dargestellt. Der Antrieb des Verdichters erfolgt hier über einen elektrischen Motor. Bei der gasmotorischen Wärmepumpe (vgl. Abb. 4) wird der elektrische Motor durch einen Gasmotor ersetzt.

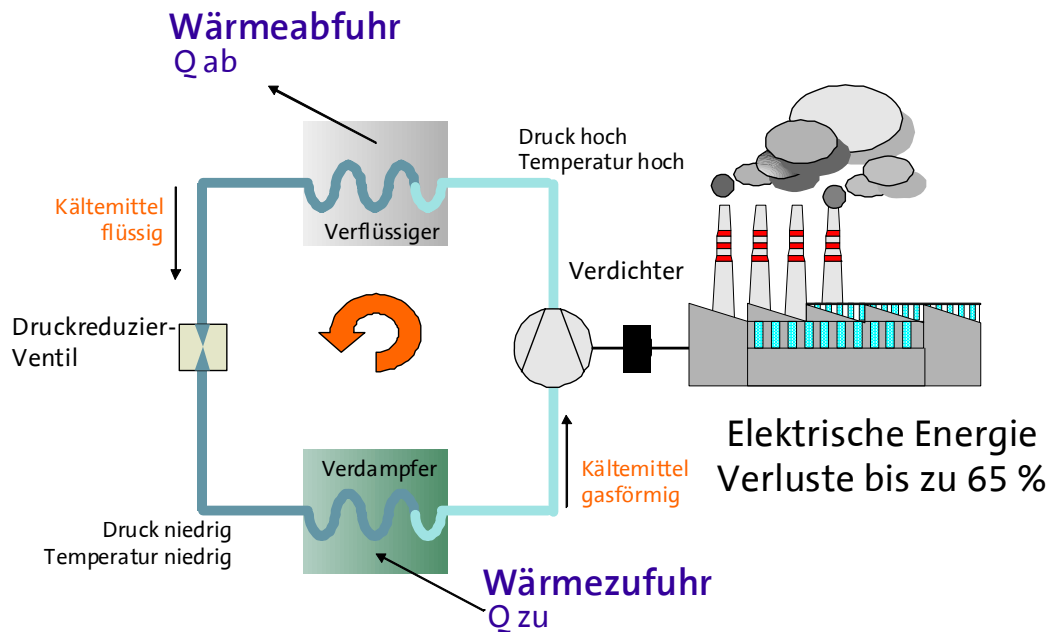


Abb. 3 Strommotorischer Dampfprozess

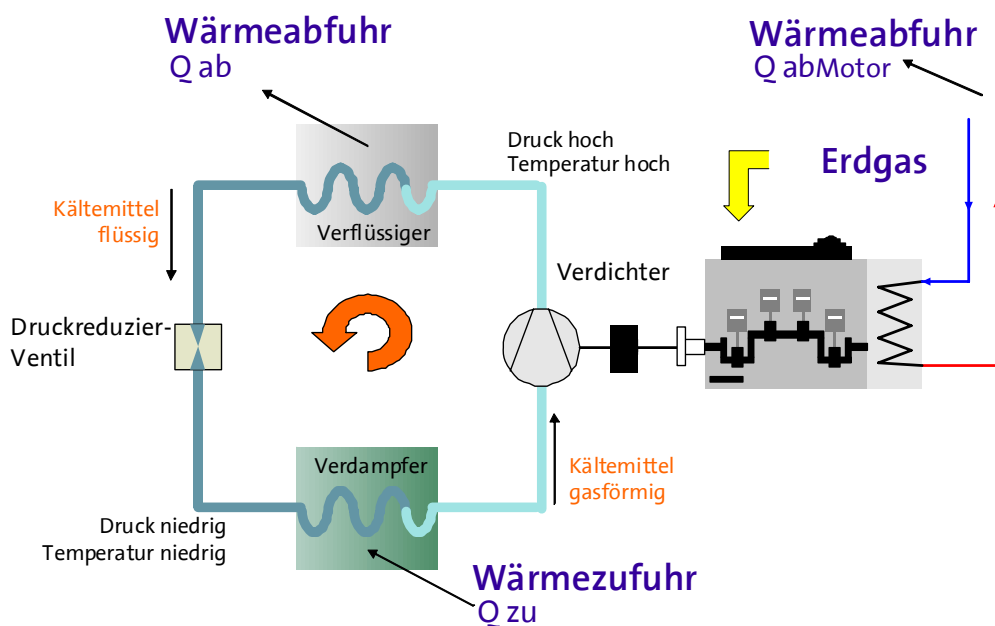


Abb. 4 Gasmotorischer Dampfprozess

1.3 Zielsetzung

Das Ziel des Innovationsvorhabens war es, diese Technologie in der Praxis an einem geeigneten Objekt (hohe thermische Grundlastanforderung der vorhandenen Wärmeabnehmer über das gesamte Jahr, geringe Temperaturspreizung, vorhandene ganzjährige Abwärmepotentiale) umzusetzen, die Energieeffizienz anhand der Messdaten zu ermitteln, Erfahrungen im Betrieb zu sammeln und die Betriebsergebnisse einer breiten Öffentlichkeit zur Verfügung zu stellen. Das Interesse an diesem Innovationsvorhaben war und ist immer noch sehr hoch.

Neben der Anlagentechnik wurde und wird auch das Betriebsverhalten weiter entwickelt. Es wurde z. B. das Teillastverhalten geprüft, unterschiedliche Regelungsstrategien entworfen, verschieden Betriebsparameter eingestellt. Dabei wurde insbesondere die Sensibilität der Einstellparameter auf die Versorgungssicherheit überprüft.

Aus den aufgezeichneten Daten wurde eine detaillierte Wirtschaftlichkeitsberechnung erstellt. Dabei wurde das Augenmerk darauf gelegt, welche Rahmenbedingungen den größten Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit haben und wie diese verbessert werden können.

In Abb. 5 sind nochmals die Rahmenbedingungen entsprechend der Vereinbarung zwischen der Kur- und Bäder GmbH und badenova zu Beginn des Innovationsvorhabens aufgeführt.

- Geringe Energiekosten für Kunden
- Geringe CO₂-Emmissionen
- Sichere Wärmeversorgung
- Optimierung des Betriebs über 3-jähriges Monitoring
- Vermarktung der innovativen und ökologischen Aspekte durch Visualisierung, Internet, Besuchergruppen, Schulungsveranstaltungen, etc.
- Innovative Technologie erstmalig im badenova Gebiet eingesetzt

Abb. 5 Rahmenbedingungen

1.4 Chancen und Risiken des Vorhabens

Die Übertragbarkeit auf andere Schwimmbäder oder andere Anwendungen der Nutzung von Abwärmepotenzialen war ein weiterer Schwerpunkt der Datenanalyse. Eine kontinuierliche Dokumentation, Ergebnisdarstellung und Veröffentlichung der neuen Erkenntnisse dient weiteren Anwendern dazu, Betriebskosten und Schadstoffemissionen zu reduzieren.

Dank des hohen investiven Zuschusses durch den Innovationsfonds für Klima- und Wasserschutz der badenova, sowie den Abschluss eines Energie-Einspar-Contracting-Vertrag mit badenova konnte das finanzielle und betriebliche Risiko für die Kur- und Bäder GmbH stark verringert werden. In Abb. 6 ist schematisch das Vertragswerk skizziert.

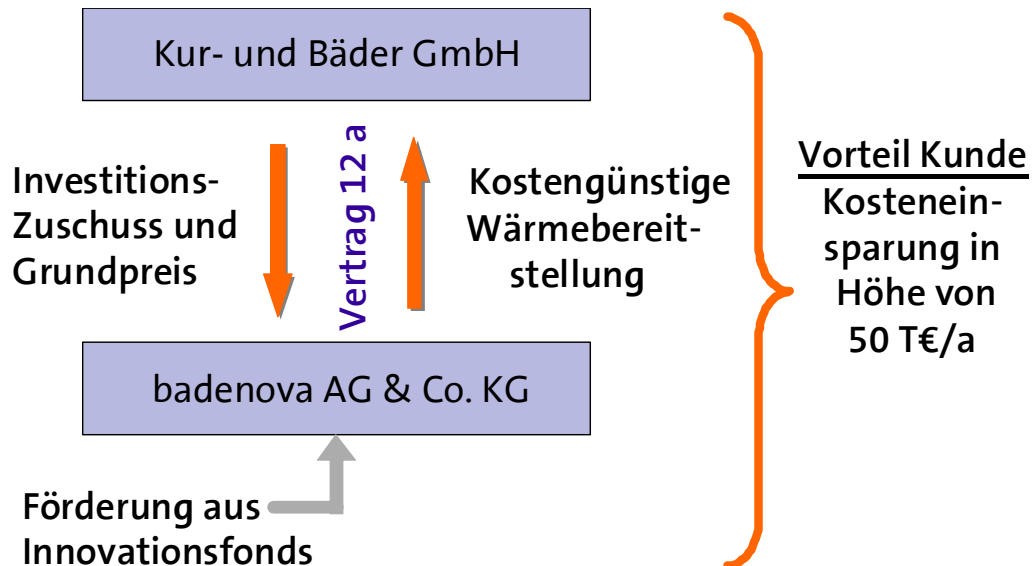


Abb. 6 Modell Einspar-Contracting

1.5 Förderbedingungen

Der Antrag auf Gewährung einer Förderung aus dem Innovationsfonds Klima- und Wasserschutz der badenova AG & Co. KG wurde im Oktober 2003 eingereicht. Im April 2004 wurde der Antrag mit einer Fördersumme in Höhe von 207.500 Euro bewilligt. Zuwendungsempfänger ist der Geschäftsführer der Kur und Bäder GmbH Herr Rolf Rubsam.

2 Projektbeschreibung

2.1 Projektablauf

Abb. 7 zeigt die wesentlichen zeitlichen Rahmendaten des Vorhabens. Bereits im März 2003 erstellte badenova eine Energiestudie mit dem Ziel der Umsetzung von Energie-Einspar-Maßnahmen in der Vita Classica. Nachdem der Antrag im Innovationsfonds im Oktober 2003 gestellt wurde, konnte im Oktober 2005 die erdgasbetriebene Wärmepumpe in Betrieb gehen. Die Verzögerung der baulichen Umsetzung war durch den neuen Anbau in der Vita Classica bedingt.

- **Mär 2003**
Energiestudie, Ermittlung von Energie-Einspar-Maßnahmen
- **Okt 2003**
Antragstellung im Innovationsfonds Klima- und Wasserschutz badenova
- **Okt 2004**
Inbetriebnahme der lufttechnischen Anlagen (Schwimmhalle und Nebenräume)
- **Okt 2005**
Inbetriebnahme und Beginn Probebetrieb erdgasbetriebene Wärmepumpe
- **Okt 2005 – Mär 2006**
Mängelbeseitigung - Optimierungsmaßnahmen
- **Jan 2006**
Inbetriebnahme des Lastmanagementsystems und Blindstromkompensationsanlage
- **Apr 2006**
Beginn der vertraglich garantieren Wärmelieferung durch erdgasbetr. Wärmepumpe
- **Apr 2007**
Auswertung der Ergebnisse nach erstem Betriebsjahr der erdgasbetr. Wärmepumpe
- **Apr 2008**
Auswertung der Ergebnisse nach zweitem Betriebsjahr der erdgasbetr. Wärmepumpe

Abb. 7 Projektablauf

2.1.1 Projektidee



Die Zielsetzung der Betriebskosteneinsparung wurde dadurch erreicht, indem ein Wärmemanagement mit intelligentem Regelungssystem entwickelt und umgesetzt wurde, welches alle relevanten Wärmesysteme einbindet.

Entsprechend werden in Abhängigkeit von den Anforderungen der Wärmeabnehmer (z.B. Raumluftwärmung über lufttechnische Anlagen) die Abwärme liefernden Prozesse (z.B. Rückspülung von Filtern) zeitlich gesteuert. Zudem wurde eine erdgasbetriebene Wärmepumpe ins vorhandene Wärmenetz eingebunden. Das Abwärmepotenzial aus den anfallenden Abwässern (Schwimmb Becken, Wannen und Duschen) wird somit genutzt, und nicht wie bisher direkt ins Abwassersystem eingeleitet.

Die erdgasbetriebene Wärmepumpe wurde mit umfangreicher Messtechnik ausgestattet. Sowohl der Eigentümer, der Anlagenbetreiber als auch der Badegast erhalten mittels Visualisierung, Informationen über das Wärmemanagement und speziell über die erdgasbetriebene Wärmepumpe.

Abb. 8 „Die Idee“ der beiden Partner Vita Classica und badenova

Durch ein umfangreiches Monitoring wird die Wärmepumpe nicht nur ständig überwacht, sondern kontinuierlich werden alle Messdaten der Energieflüsse und Medienzustände erfasst. Anhand der Aufzeichnungen wurden und werden Auswertungen vorgenommen und die Betriebsweise der Wärmepumpe weiterhin optimiert.

2.1.2 Projektpartner

Kur- und Bäder GmbH Bad Krozingen

- 60 %-Tochter der Gemeinde Bad Krozingen
- Tätig im Rewesen, Kurwesen, Tourismus und Freizeit
- Hauptaufgaben sind Errichtung, Betrieb u. Unterhaltung von Kur-, Bäder, Tourismus- und Freizeiteinrichtungen
- Badepalast „Vita Classica“ und „Freizeitbad aquarado“
- Tourist-Information und Kurpark
- Veranstaltungszentrum Kurhaus
- Events, Großveranstaltungen, Messe- und Tagungsorgan.
- Gesundheitsberatung, Arzt-/Patientenseminare, Gesundheitsmessen

Abb. 9 Kur- und Bäder GmbH Bad Krozingen

Vita Classica Bad Krozingen

- Thermalbad mit Saunaparadies, Therapie- sowie Wellness
- Wohlfühlhaus (u. a. japanisches Bad, Wannenbäder, Krankengymnastik und Massageräume)
- Neues Außenbecken mit Attraktionen (Massagedüsen, Sprudelliegen, Unterwasserfarblicht und Strömungskanal)
- Außenanlage mit großzügiger Liegefläche
- Türkisches Bad mit Hamam
- Ayurveda-Zentrum mit Indischem Bad
- Schlaf-/Ruheraum mit Kamin, Whirlpool unter Palmen
- Cafeteria

Abb. 10 Vita Classica Bad Krozingen

2.1.3 Terminplan

	Jan 04	Feb 04	Mrz 04	Apr 04	Mai 04	Jun 04	Jul 04	Aug 04	Sep 04	Okt 04	Nov 04	Dez 04	Jan 05		Jan 06		Dez 06
Energiekonzept																	
Vorplanung																	
Entwurfsplanung																	
Ausführungsplanung																	
Vorbereitung der Vergabe																	
Ausschreibung																	
Vergabe																	
Demontagearbeiten																	
Montage																	
Betrieb													→	...	...	...	...
Monitoring													→	...	...	...	...
Öffentlichkeitsarbeit													→	...	...	...	...

Abb. 11 Zeitplan bei Antragsstellung (2003)

	Jan 04		Mrz 05	Apr 05	Mai 05	Jun 05	Jul 05	Okt 05		Apr 06		Mrz 07		Mrz 08		Mrz 09		Mrz 18
Energiekonzept																		
Vorplanung																		
Entwurfsplanung																		
Ausführungsplanung																		
Vorbereitung der Vergabe																		
Ausschreibung																		
Vergabe																		
Demontagearbeiten																		
Montage																		
Betrieb														→	...	...	...	
Monitoring														→	...	...	...	
Öffentlichkeitsarbeit														→	...	...	...	
Vertragsbeginn																		
Ende 1. Betriebsjahr																		
Ende 2. Betriebsjahr																		
Vertragsende																		

Abb. 12 Tatsächlicher Zeitplan

Durch die im Jahre 2004/2005 realisierte Erweiterung der Badebeckenlandschaft mittels eines neuen Außenbeckens sowie die Umgestaltung der Nebenräume, ergab sich eine Verschiebung des Innovationsvorhabens um mehr als ein Jahr. Erst nachdem alle zusätzlichen Wärmeabnehmer und auch Wärmequellen dimensioniert waren, konnte mit der Entwurfs- bzw. Ausführungsplanung der erdgasbetriebenen Wärmepumpe begonnen werden.

2.1.4 Budgetplanung und Förderung

	im Jahr 2005	2006	2007	Gesamtbetrag	Förderbeitrag badenova *
Personalkosten	 €	 €	 €	 €	 €
Kommunikation	 €	 €	 €	 €	 €
Öffentl.arbeit	5.000,- €	5.000,- €	5.000,- €	15.000,- €	7.500,- €
Planungskosten	94.000,- €	 €	 €	94.000,- €	47.000,- €
Sachkosten	 €	 €	 €	 €	 €
Baukosten	466.500,- €	 €	 €	466.500,- €	93.300,- €
Betrieb.+ Optimierung Wärmepumpe	14.500,- €	14.500,- €	14.500,- €	43.500,- €	21.750,- €
Monitoring	20.000,- €	20.000,- €	20.000,- €	60.000,- €	30.000,- €
Energiestudien	15.000,- €	 €	 €	15.000,- €	7.500,- €
Gesamtkosten	615.000,- €	39.500,- €	39.500,- €	694.000,- €	207.500,- €

Abb. 13 Budgetplanung und Förderung

Die geschätzten Baukosten des Gesamtvorhabens wurden auf rund 700.000 Euro (Bau- und Nebenkosten) veranschlagt, wobei die reinen Anlagenkosten für die erdgasbetriebene Wärmepumpe bei rund 415.000 Euro lagen. Das Vorhaben wurde durch den Innovationsfonds Klima- und Wasserschutz der badenova mit 207.500 Euro (ca. 30%) bezuschusst.

2.2 Projektplanung

2.2.1 Energiekonzept und Studien

Die Grundlage für das Gesamtvorhaben wurde im Jahr 2003 durch die erarbeitete Energiestudie für sämtliche relevanten Gewerke (Heizungs- Lüftungs- und Mess-, Steuer-, Regelungs- und Elektrotechnik) im Thermalbad geschaffen. Im Folgenden sind die wesentlichen Inhalte der Energiestudie stichwortartig zusammengestellt:

Ziele der Energiestudie

- Ermittlung von Energieeinsparmaßnahmen (EEM) --> Reduktion der Betriebskosten
- Anhand tatsächlicher Nutzungs- und Betriebsbedingungen erste Bewertung der EEM
- Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der EEM

Inhalt der Energiestudie

- Wärme: Erzeugung, Verteilung, Warmwasserbereitung und Abwärmenutzung aus Abwässern sowie Abwärmenutzung aus Raumabluft
- Strom: Lastmanagement, Blindstromkompensation, Beleuchtung und Energiedatenbewertung

Grunddaten

- Studie über Erneuerung, Optimierung und Erweiterung der Wärmepumpenzentrale zur Abwärmenutzung sowie Wärme- und Stromerzeugung – IB Kannewischer – 07. Mai 1997
- Energieversorgungskonzept - IB Sütterlin – 11. Mai 1998
- Systemanalyse der Energie- und Stoffflüsse – 18. Nov 2002
- Datenerhebung Vorort – badenova 11. Dez 2002
- Verbrauchsdaten (Erdgas 2001 und Strom 2002)

Energieverbrauch und Energiekosten

Verbrauchsdaten Gesamt / Thermalbad Vita Classica

➤ Wärme/Erdgas

Gesamtjahresverbrauch (2000 - 2002) 8.000 bis 9.000 MWh/a

Jahresverbrauch (nur) in der Vita Classica ca. 6.700 MWh/a

➤ Strom

Gesamtjahresverbrauch(2000 - 2002) 2.400 bis 2.700 MWh/a

Jahresverbrauch (nur) in der Vita Classica ca. 2.400 MWh/a

➤ Thermalwasser

Vita Classica 40°C aus Tiefbrunnen ca. 43.000 m³/a

Energieeintrag ca. 1.250 MWh/a bezogen auf 15 °C

Von den ca. 8.000- bis 9.000 MWh/a Erdgas gehen entsprechend der Systemanalyse vom 18.11.2002 etwa 15 % bzw. 1.320 MWh/a als Verluste (Kesselwirkungsgrad, Abgasverluste, Bereitschaftsverluste und Verteilverluste) verloren. Zusätzlich entfallen etwa 10 % der verbleibenden Nutzwärme, also etwa 750 MWh/a auf die Bereiche Verwaltung/Pavillon. Somit verbleibt ein Nutzwärmeanteil von etwa 90 % bzw. 6.700 MWh/a für die Vita Classica.

Sonstiges: Neben den fossilen Brennstoffen Erdgas und Erdöl, wird dem System über das eingespeiste Thermalwasser mit einer Temperatur von ca. 40 °C zusätzliche Wärmeenergie zugeführt. Bei einem jährlichen Verbrauch an Thermalwasser von 43.000 m³/a (ohne Fremdverbraucher!) ergibt sich ein zusätzlicher Energieeintrag von etwa 1.250 MWh/a (bezogen auf T=15 °C).

Die bereitgestellten Verbrauchsdaten beziehen sich auf die Bereiche Verwaltung, Pavillon und Vita Classica. Eine weitere Aufschlüsselung der Verbrauchsdaten zu den einzelnen Bereichen wurde in der Systemanalyse nicht vorgenommen und lag nicht vor. Die Anteile für die Bereiche Verwaltung und Pavillon dürften erfahrungsgemäß jedoch maximal 10-15 % betragen.

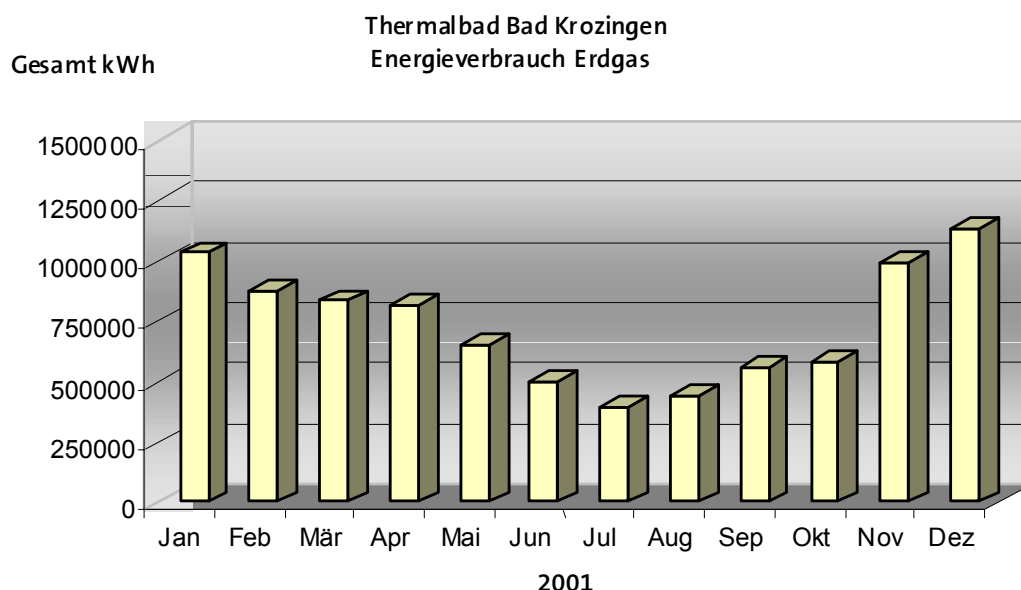


Abb. 14 Erdgasverbrauch 2001

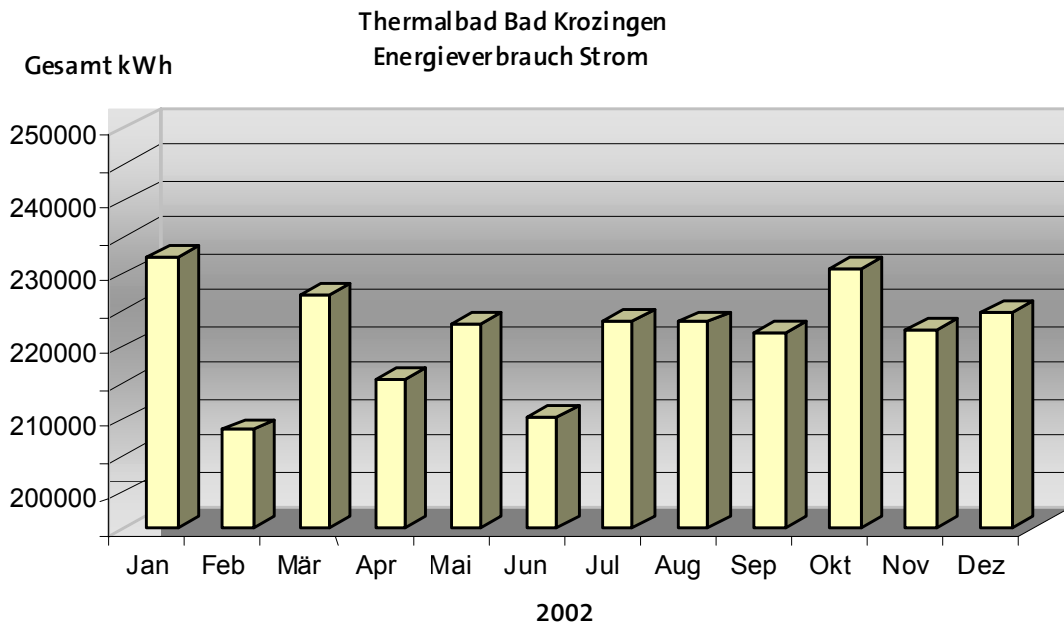


Abb. 15 Stromverbrauch 2002

Wärmeerzeugung / Wärmeverteilung

- 3 Stk. Heizkessel mit Zweistoffbrennern (Erdgas und HEL) je 1.120 kW
→ Gesamtleistung 3.360 kW
- Wärmeverteilung über zwei Wärmeversorgungsnetze, Bereich Verwaltung und Pavillion über 80/60 °C und im Bereich Vita Classica mit Saunaparadies über 60/45 °C
- Warmwasserbereitung in mehreren Speichern an unterschiedlichen Standorten
→ ca. 9.900 m³/a dies entspricht ca. 495 MWh/a

Wärmepotenziale/Abwärme/Kältebedarf

Mit den vorliegenden Daten konnten ungefähr die Abwärmepotenziale (vgl. Abb. 16) abgeschätzt werden. Folgende Annahmen wurden dabei getroffen:

- Betriebszeiten Beckenkreisläufe kontinuierlich 340 d/a mit 24 h/d
- Betriebszeiten Wannenbäder/Japanisches Bad kontinuierlich 340 d/a mit 8h/d
- Betriebszeiten der Duschen kontinuierlich 340 d/a mit 14 h/d
- Abkühlung der Abwässer über das Kaltwassernetz auf 15 °C:

Einrichtung/Wärmequelle	Wasservolumenstrom Wassertemperatur	Wärmemenge	Leistung	Einbindung
Abwasser Rückspülspeicher Beckenkreisläufe 1-3	46.300 m³/a bei 30 °C	807 MWh/a	99 kW	vorhanden
Abwasser Rückspülspeicher Beckenkreislauf 4	19.800 m³/a bei 30 °C	345 MWh/a	42 kW	fehlt
Vorkühlung Thermalwasser Kühlung Abwasser	10.000 m³/a bei 40 °C	290 MWh/a	106 kW	vorhanden
Abwasser Duschen	18.000 m³/a bei 30 °C	314 MWh/a	66 kW	vorhanden
Summe	94.100 m³/a	1.756 MWh/a	313 kW	

Abb. 16 Wärmepotenziale Abwärme und Kältebedarf

Wärmepotenziale Wärmerückgewinnung Lüftungstechnik

Im Rahmen der Systemanalyse vom 18.11.02 ergibt sich ein Wärmebedarf von 2.280 MWh/a für die Lüftungsanlagen, Angaben zum Stromverbrauch wurden hierin nicht ermittelt.

Unter Verwendung von verschiedenen Annahmen zum Anlagenbetrieb (Betriebszeiten, Betriebsstufen, Umluftanteil) in Verbindung mit Erfahrungswerten wurden die Energieverbräuche für Wärme und Strom für die einzelnen Anlagen im Rahmen der Energiestudie abgeschätzt und aufgeschlüsselt (vgl. Abb. 17).

Orientiert man sich an der vorliegenden Systemanalyse liegt man also im oberen Bereich der ermittelten Verbrauchswerte. Es ergibt sich ein Stromverbrauch von etwa 730 MWh/a und ein Wärmeverbrauch von etwa 2.200 MWh/a durch die Lüftungsanlagen.

Deutliche Einsparpotentiale bestehen vor allem bei den Lüftungsgeräten mit einem Alter von mehr als 15 Jahren. Diese Anlagen entsprechen nicht mehr dem Stand der Technik und müssen in absehbarer Zeit ohnehin saniert werden. Es handelt sich hierbei durchgehend um Zu-/Abluftgeräte ohne Wärmerückgewinnung.

Für die Anlagen jüngerer Datums ab Baujahr 1998 besteht aus wirtschaftlicher Sicht kein Handlungsbedarf. Hier wären lediglich die Betriebsweisen und Regelstrategien zu überprüfen.

Die erfassten lufttechnischen Anlagen sind alle im Technikeller installiert und je nach funktionaler / bereichsweiser Zuordnung in direkter räumlicher Nähe aufgestellt, so dass eine Nachrüstung von Zentrallüftungsgeräten mit WRG und bedarfsabhängiger Regelung unter Anbindung an das bestehende Kanalnetz durchweg mit vertretbarem Aufwand realisiert werden könnte.

Nach einer entsprechenden Sanierung ergeben sich voraussichtlich folgende Energieverbräuche für Wärme und Strom im Bereich Lüftungstechnik:

Lüftungsgerät	Verbrauch IST	Verbrauch nach Sanierung	Einsparung MWh/a
Thermenhalle (25000 m³/h)			
Wärme	1.320 MWh/a	184 MWh/a	1.136 MWh/a
Strom	165 MWh/a	102 MWh/a	63 MWh/a
Ruhekabinen (2900 m³/h)			
Wärme	131 MWh/a	16 MWh/a	115 MWh/a
Strom	15,8 MWh/a	14,7 MWh/a	1,1 MWh/a
Eingang/Cafe (7000 m³/h)			
Wärme	315 MWh/a	32 MWh/a	283 MWh/a
Strom	36,8 MWh/a	25,2 MWh/a	11,6 MWh/a
Summe			
Wärme	1.766 MWh/a	232 MWh/a	1.534 MWh/a
Strom	217,6 MWh/a	141,9 MWh/a	75,7 MWh/a

Abb. 17 Wärmepotenziale Wärmerückgewinnung Lüftungstechnik

Ergebnis der Energiestudie

	EEM	Investition	Einsparung	Amortisation (statisch)
Wärme	Sanierung lufttechn. Anlagen LG Thermenhalle, LG Ruhekabinen und LG Eingang, Cafe	248 T EUR	62 T EUR/a	4 a
	Erdgasbetriebene Wärmepumpe Abwärme Rückspülspeicher der Beckenkreisläufe Vorkühlung Thermalwasser Kühlung Abwasser Wannenbäder Abwärme Abwasser Duschen	520 T EUR	58 T EUR/a	9 a
Strom	Energiedatenerfassung Lastgangmessung	8 T EUR	3 T EUR/a	2,7 a
	Instandsetzung der Leistungs- Optimierungsanlage (Lastmanagemen)	25 T EUR	7,5 T EUR/a	3,3 a
	Blindstromkompensation	3,5 T EUR	1 T EUR/a	3,5 a
	Beleuchtungssteuerung	8 T EUR	1,8 T EUR/a	4,4 a

Abb. 18 Ergebnis der Energiestudie

Empfehlung für die weitere Vorgehensweise / Umsetzung**Pool aus Energie-Einsparmaßnahmen**

- Heizungstechnik
Finanzierung, Planung, Errichtung und Betrieb einer erdgasbetriebenen Wärmepumpe
- Lüftungstechnik
Finanzierung, Planung und Errichtung von zwei lufttechnischen Anlagen mit WRG
- Elektrotechnik
Finanzierung, Planung und Errichtung von Lastmanagementsystem,
Blindstromkompensationsanlage und drehzahlgeregelten Umwälzpumpen

Abb. 19 Maßnahmenpool für Einspar-Contracting

2.2.2 Ausführungsplanung

Mit der Ausführungsplanung der Heizungs- Lüftungs- und Elektrotechnik wurde das Ingenieurbüro tga Planungsgruppe mit Sitz in Freiburg beauftragt. Die Dimensionierung bzw. Ausführungsplanung der erdgasbetriebenen Wärmepumpe wurde direkt von der Planungsabteilung der Johnson Control Deutschland GmbH (ehemals Fa. York) durchgeführt. In die Konzeption und Ausführung des Monitoring-Systems (Hardware und Software) wurde die Firma H&S mit Sitz in Denzlingen eingebunden.

Im Zuge des Einspar-Contracting-Vertrages wurde ein Maßnahmen-Pool umgesetzt. Der Vollständigkeit halber wird an dieser Stelle über die Gewerke Lüftungstechnik und Elektrotechnik ein grober Überblick gegeben.

Lüftungstechnik

Altgeräte

- keine Wärmerückgewinnung > 15 Jahre

Neugerät „Weiße Halle“

- mehrstufige Wärmerückgewinnung (Rekuperator-Einheit) mit Wärmepumpe
- Nennluftleistung 22.500 m³/h
- asymmetrischer Hochleistungs-Wärmeübertrager aus Polypropylen, korrosions- und alterungsbeständig
- bedarfsgerechte Entfeuchtung (intelligente Mess- und Regeltechnik) optimale Frischluft rate, nur notwendiger Außenluft-Anteil, geregelte Schadstoffabfuhr
- Luftmengenregulierung durch stetig geregelte Bypassklappe

Neugerät „Eingang/Foyer“

- mehrstufige Wärmerückgewinnung (Rekuperator-Einheit)
- Nennluftleistung 9.500 m³/h

Abb.20 Sanierung Lüftungsgeräte

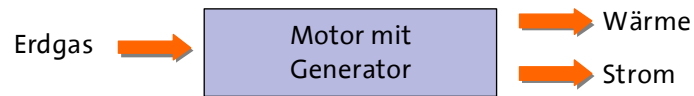
Elektrotechnik

- Lastmanagement Reduzierung Spitzenlast
Leistung 443 kW zu 5,67534 EUR/kW und Monat --> 31 T EUR/a
Leistungsoptimierungsanlage ist außer Betrieb
- Blindstromkompensation
durch ausreichend dimensionierte und optimal einregulierte
Kompensationsanlage sollten keine Blindstromkosten auftreten
--> Überprüfung und evtl. Erweiterung ca. 3,5 T EUR
--> Einsparung 1 T EUR/a

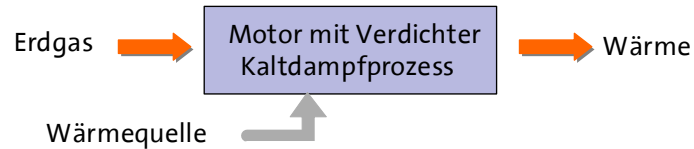
Abb.21 Sanierung Stromanalgen

Heizungstechnik

➤ Blockheizkraftwerk (BHKW)



➤ Gasmotor Wärmepumpe (GMWP)



➤ Gasklimagerät (GHP)

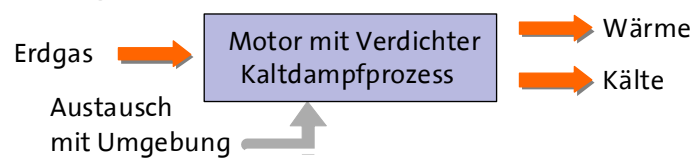


Abb. 22 Energiesysteme mit Gasmotor

In Abb. 22 sind verschiedene Anwendungen von Gasmotoren aufgezeigt. Sehr hohe Wachstumsraten hatten in den vergangenen Jahren vor allem Blockheizkraftwerke (BHKW), d.h. Gasmotoren die durch Antrieb eines Generators Strom erzeugen. Sowohl bei der Gasmotor- Wärmepumpe als auch beim Gasklimagerät treibt der Gasmotor einen Verdichter für den Kaltdampfprozess an. Abb. 23 zeigt nochmals schematisch den gasmotorischen Dampfprozess.

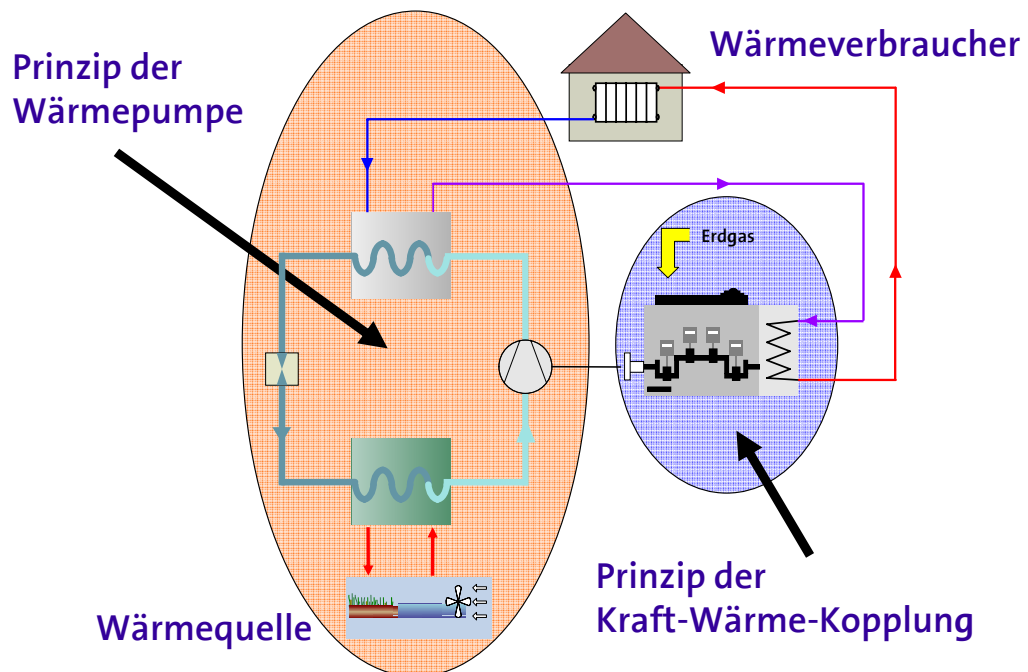


Abb. 23 Gasmotorischer Dampfprozess

Hier ein kurzer Überblick über die historische Entwicklung der Gasmotorwärmepumpe.

- 1852 englischer Physiker William Thomson, liefert mit der Beschreibung eines mechanischen System zur Heizung oder Kühlung von Gebäuden die Grundlage jeder modernen Wärmepumpe
- 1912 Überlegungen zur Nutzung des Erdreichs als Wärmequelle durch den Schweizer Heinrich Zoelly (bekannt durch seine Turbinenentwicklungen)
- 1920-iger erste Wärmepumpenheizungen in GB und USA
- 1970-iger nach Energiekrise verstärktes Interesse für ressourcenschonende Möglichkeit der Gebäudebeheizung
- HEUTE vor allem Aspekte des Umweltschutzes, sehr geringer Primärenergieeinsatz im Vergleich zu anderen Heizsystemen

Abb. 24 Geschichte Gasmotorwärmepumpe

Der entscheidende energetische Vorteil von Gasmotor Wärmepumpen gegenüber Stromwärmepumpen ist der, dass eine Nacherwärmung des Heizungswassers über die Motorabwärme (Kühlwasser und Abgas) erfolgt. Zudem kommt die Gaswärmepumpe mit einem geringeren Temperaturhub aus.

Nachteilig ist, dass es derzeit nahezu keine Standardprodukte auf dem Markt gibt. Zu Beginn des Bauvorhabens konnte nur die Fa. Johnson Control (ehemals Fa. York International) mit Sitz in Mannheim eine erdgasbetriebene Wärmepumpe im Nennleistungsbereich von 400 – 1000 kW liefern. Lt. Hersteller ist die Regelbarkeit bei diesen Aggregaten auf 50 % begrenzt. Abb. 25 zeigt die vom Hersteller genannten Leistungsdaten der eingesetzten Wärmepumpe.

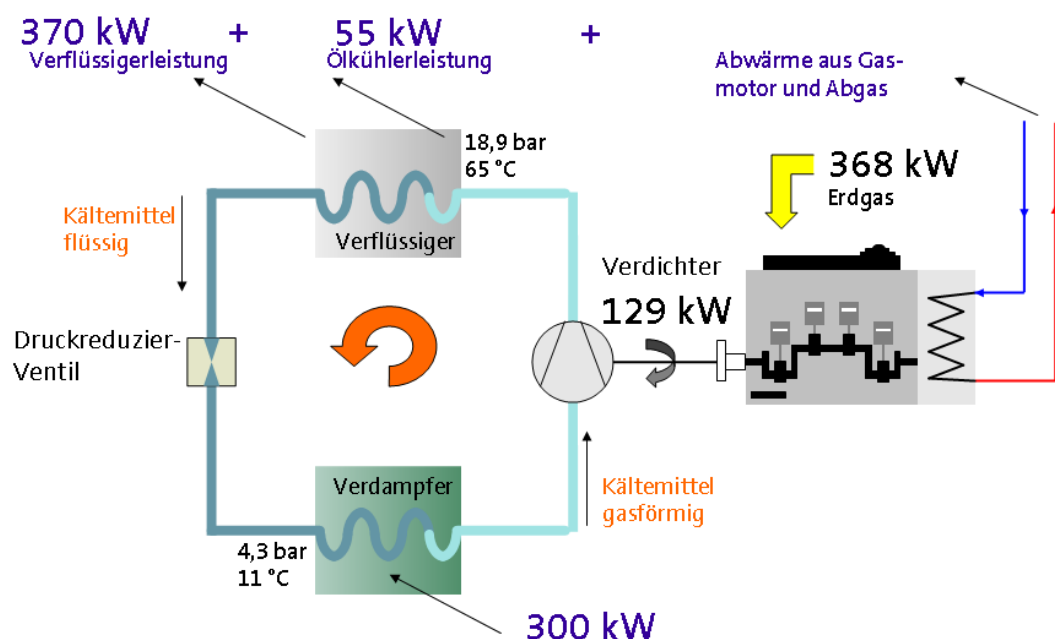
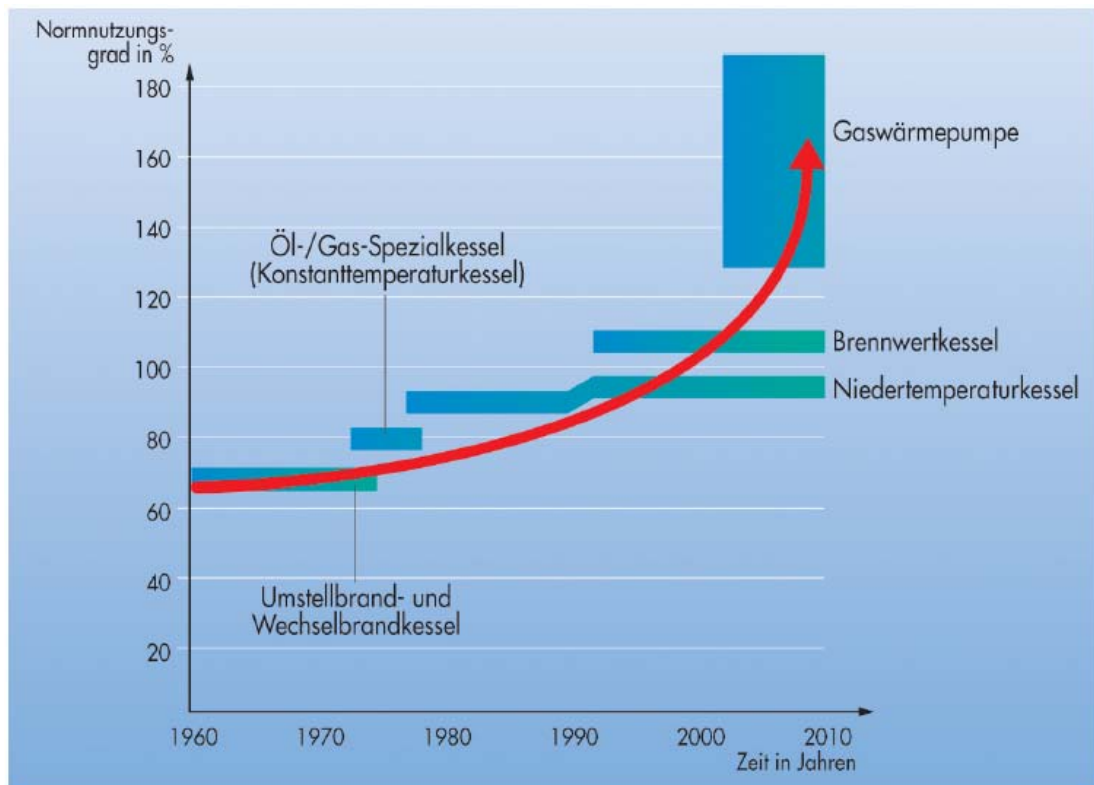


Abb. 25 Leistungsdaten der einzelnen Komponenten

Nach Angaben der ASUE (siehe Abb. 26) ist noch mit einem deutlichen Potential der energetischen Effizienzsteigerung zu rechnen. Heutzutage sind schon Normnutzungsgrade von bis zu 150 % bei Gaswärmepumpen zu erzielen.



Quelle ASUE

Abb. 26 Energieeffizienz Gasmotorwärmepumpe im Vergleich zu Kesselanlagen

Heizleistung

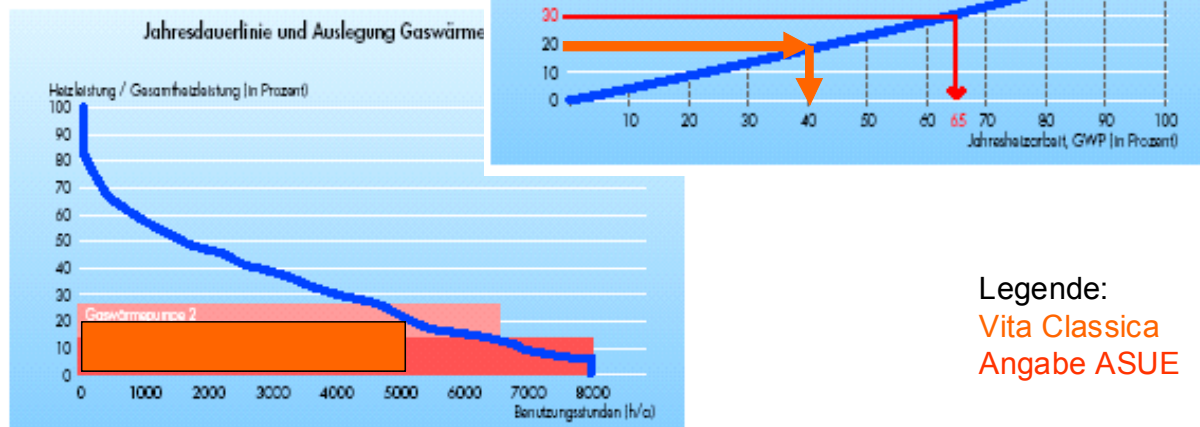
Thermalbad ges. 3300 kW

GMWP (18%) 618 kW

Jahresheizarbeit

Thermalbad ges. 7.500 MWh

GMWP (40%) 3.000 MWh



Legende:

Vita Classica

Angabe ASUE

Abb. 27 Auslegung Gasmotorwärmepumpe nach der Jahresdauerlinie

In die Jahresdauerlinie (vgl. Abb. 27) ist die Auslegung der Gasmotorwärmepumpe eingezeichnet. Die gesamte installierte thermische Leistung in der Vita Classica beträgt 3.300kW. Die Gasmotorwärmepumpe stellt somit bei Volllastbetrieb mit 618 kW rund 20 % an thermischer Leistung bereit. Die Gesamtjahresarbeit durch die Gasmotorwärmepumpe war mit rund 40 % (3.000 MWh) projektiert.

2.3 Technische Umsetzung

2.3.1 Technische Daten/Betriebsparameter

Eine Wärmepumpe benötigt, um sinnvoll arbeiten zu können, für die Verdampferseite ein Medium, dem Wärme entzogen werden kann. Diese Wärme wird beansprucht um das Medium im Wärmepumpenkreislauf zu verdampfen. Je höher das Temperaturniveau dieser Wärmequelle ist, desto energieeffizienter. Auf der Seite des Kondensators wird Wärme an den Heizkreislauf abgegeben. Dieses Temperaturniveau sollte möglichst niedrig sein. Die benötigte Wärme auf der Verdampferseite wird aus den Abwässern des Bades gewonnen. Zu den Quellen gehören Dusch-, Becken- und Thermalabwässer sowie Luftkühler.

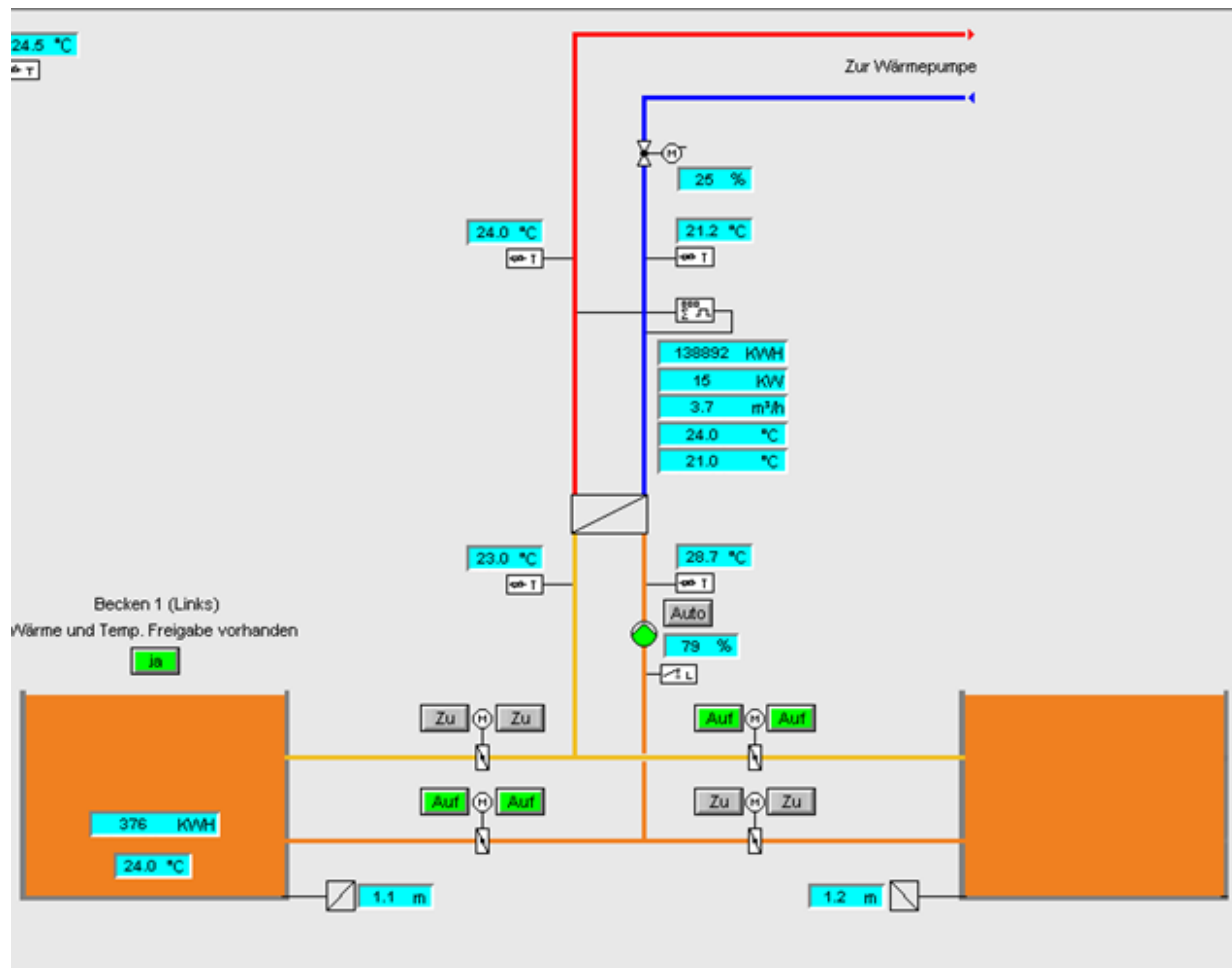


Abb.28 Wärmequellen am Beispiel „neues Außenbecken“

Im Folgenden wird kurz dargestellt, wie die Regelung für die Nutzung der Wärmequellen aufgebaut ist.

Parameter Wärmeerzeugung	
Bezeichnung	Einstellwert
Freigabe Rückspül- /Abwasserbehälter	
> Auslegungstemperatur GMWP rücklaufseitig	12 °C
> Grenzwert EIN (dT zur Beckentemperatur)	5 K
> Grenzwert AUS (dT zur Beckentemperatur)	4,5 K
> Regelsollwert RL-Temperatur (dT zur Beckentemperatur)	3 K
> Grenzwert Gesamtwärmemenge	160 kWh
> Grenzwert minimale Beckentemperatur	18 °C
> dT Beckentemp. Zur Ermittlung der Wärmemenge	14 K
Parameter GMWP	
Bezeichnung	Einstellwert
Freigabe / Sperren GMWP	
> Abschalten GMWP Öltemperatur maximal	73 °C
> Wiedereinschalten nach Abschalten Öltemp. max.	55 °C
> Verzögerungszeit Wiedereinschalten nach Öltemp. max.	120 Min.
Abschalten / Wiedereinschalten über Leistungsschieber	
> Grenzwert Abschalten über Leistungsschieber	50%
> Überbrücken der Startzeit	30 Min.
> Verzögerungszeit Abschalten Leistungsschieber	60 Min.
> Verzögerungszeit Wiedereinschalten	60 Min.
> Grenzwert Außentemperatur Wiedereinschalten	40 °C

Abb. 29: Regelungsparameter der Gasmotorwärmepumpe in der Vita Classica

Die „Parameter Wärmeerzeugung“ geben den Rahmen für Wärmequellen der Wärmepumpe vor. Das heißt, diese Werte sind für die Verdampferseite der Pumpe maßgebend. Die unter „Parameter GMWP“ aufgelisteten Werte betreffen die interne Regelung der Wärmepumpe.

2.3.2 Anlagenbau und Technische Daten der GMWP

Die GMWP ist im Untergeschoss des Thermalbades in einem separaten Raum installiert. Neben dem Thermalbad werden noch Verwaltungs- und Kurbäude über das Nahwärmenetz versorgt. Die GMWP liefert im Rahmen eines Wärmelieferungsvertrages kombiniert mit einem Energie-Einsparvertrag Wärmeenergie an die Kur- und Bäder GmbH.

Technische Daten der Gasmotorwärmepumpe bei der Vita Classica:		
Kälteleistung	300	kW
Heizleistung	370	kW
Ölkühlerleistung bei Volllast	55	kW
Abwärme Gasmotor inkl. Abgas	191	kW
Gesamte thermische Leistung	616	kW
Verflüssigungstemperatur	65	°C
Verflüssigungsdruck	18,9	bar abs.
Verdampfungstemperatur	11	°C
Verdampfungsdruck	4,29	bar abs.
Temperatur Heizwasser Vorlauf	65	°C
Temperatur Heizwasser Rücklauf	50	°C
Durchflussmenge Heizwasser	35	m³/h
Temperatur Wärmequelle Vorlauf	26	°C
Temperatur Wärmequelle Rücklauf	14	°C
Durchflussmenge Wärmequelle	23	m³/h

Abb. 30 Technische Daten der Gasmotorwärmepumpe

Abb. 30 gibt die technischen Daten der installierten GMWP wieder. Ebenfalls sind die Bedingungen für die Auslegung des Gasmotors aufgelistet. In Abb. 31 ist die GMWP im Detail abgebildet. So sind die verschiedenen Punkte für die Wärmeabgabe mit dem Verflüssiger, dem Ölkühler und dem Motorkühler mit Abgaswärmetauscher zu erkennen.

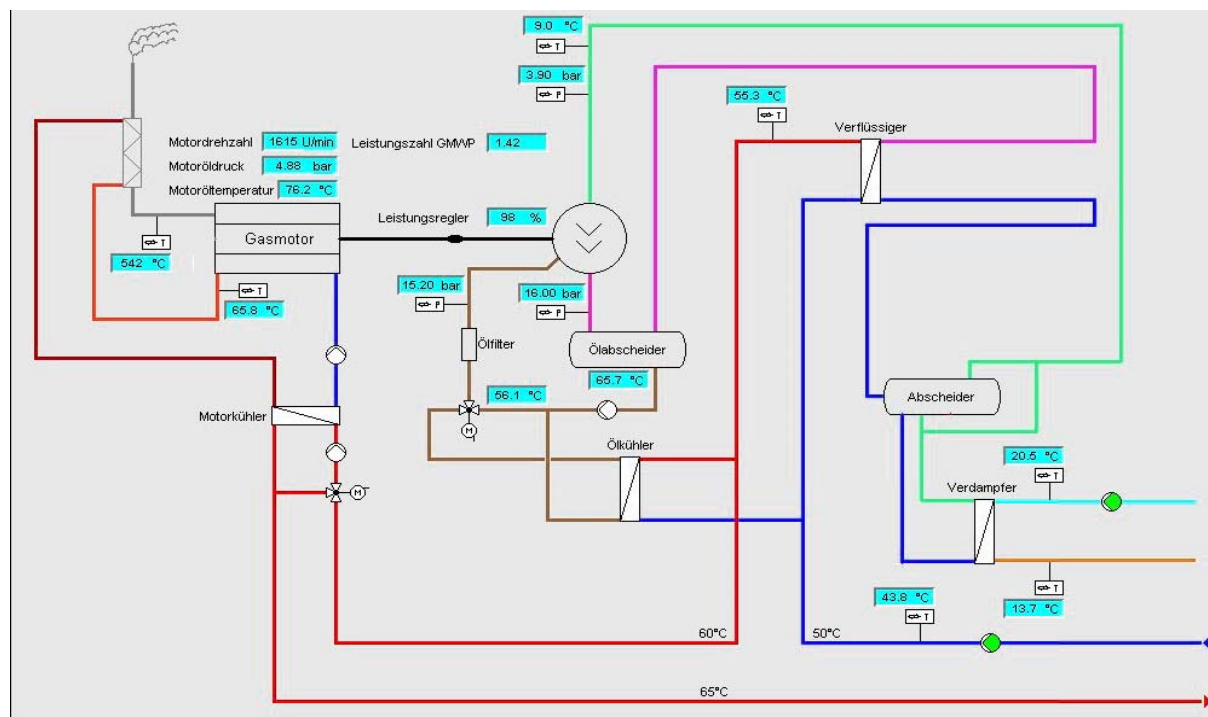


Abb. 31: Die GMWP im Detail in der GLT

Neben der GMWP sind noch drei Erdgas-Heizkessel installiert, wobei die GMWP als Grundlastsystem arbeitet. So wird erreicht, dass beinahe über den ganzen Sommer die mit der GMWP bereitgestellte Wärme ausreichend ist. Durch diese Grundlastabdeckung erreicht die GMWP eine lange Laufzeit, welche aus Gründen der Wirtschaftlichkeit erforderlich ist. Die neben der GMWP installierten Heizkessel sind mit Redundanz dimensioniert. Das heißt, dass auch bei einem Ausfall der GMWP die Wärmeversorgung gewährleistet ist.

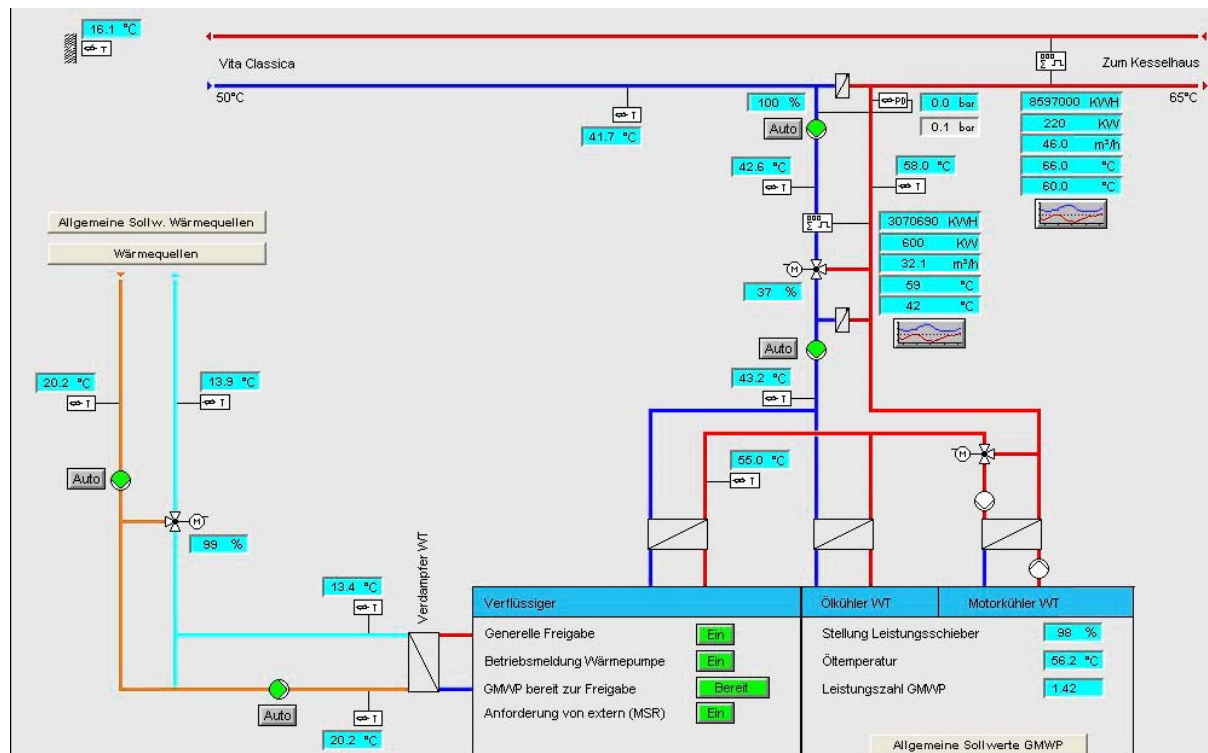


Abb. 32 Die Einbindung der GMWP in den Rücklauf zum Kesselhaus

Betrachtung des Anlagenbetriebs

Der reguläre Betrieb der Wärmepumpe mit einer fundierten Datenaufzeichnung begann am 01.04.2006. Die dabei gemessenen Daten beinhalten unter anderem die in der Abb. 33 aufgelisteten Daten mit deren Einheit. Die Aufzeichnung der Daten erfolgte viertelstündlich. Aus diesen Werten lassen sich sämtliche, für die Auswertung relevanten Parameter ermitteln. Die Aufzeichnung der Leistungszahl erfolgte erst ab Januar 2007.

GMWP WMZ RL-Temp. °C	GMWP WMZ VL-Temp. °C	Stellung Leistungsschieber %
GMWP Waermemenge Gesamt kWh	Stromverbrauch GMWP kWh	Gaszaehler GMWP m³
Leistungszahl GMWP -		

Abb. 33: Aufgezeichnete Messdaten

Außer den hier aufgeführten Werten liegen Daten aus der Datenerfassung der Kesselanlage vor. Hieraus wurden die Vor- und Rücklauftemperaturen für die Gesamtbewertung der Anlage verwendet. Um die über die Erdgasmenge aufgenommene Leistung zu ermitteln werden die von badenova angegebenen Heizwerte verwendet. Die zugeführte Erdgasmenge bezieht sich bei der GMWP immer auf den Heizwert und nicht auf den Brennwert.

Aus den Messdaten ist zu erkennen, dass die Wärmepumpenleistung in der Sommerzeit ausreicht um den Wärmebedarf - der im Nahwärmenetz angeschlossenen Verbraucher – zu decken. Die Heizzahl liegt jedoch, wie in Abb. 35 zu sehen ist, mit einem Wert von < 1,4 unter dem vom Hersteller genannten Wert von $\xi = 1,6$. Die Heizzahl definiert sich nach folgender Formel:

$$\xi_H = \frac{\text{abgegebene Nennheizleistung}}{\text{aufgenommene Nennleistung (bezogen auf Primärenergiebasis)}}$$

$$= \frac{\dot{Q}_{ab}}{\dot{Q}_{auf Gas} + \dot{Q}_{auf Elektrisch}}$$

Abb. 34: Nennheizzahl ξ_H

Dabei ist die aufgenommene Erdgasnennleistung auf den Heizwert bezogen und der angenommene elektrische Umwandlungs-Wirkungsgrad liegt bei 38 %. Abb. 35 ist mit den Momentanwerten erstellt worden, daher dient diese Abbildung als Orientierung.

Vita Classica Bad Krozingen Gasmotor Wärmepumpe

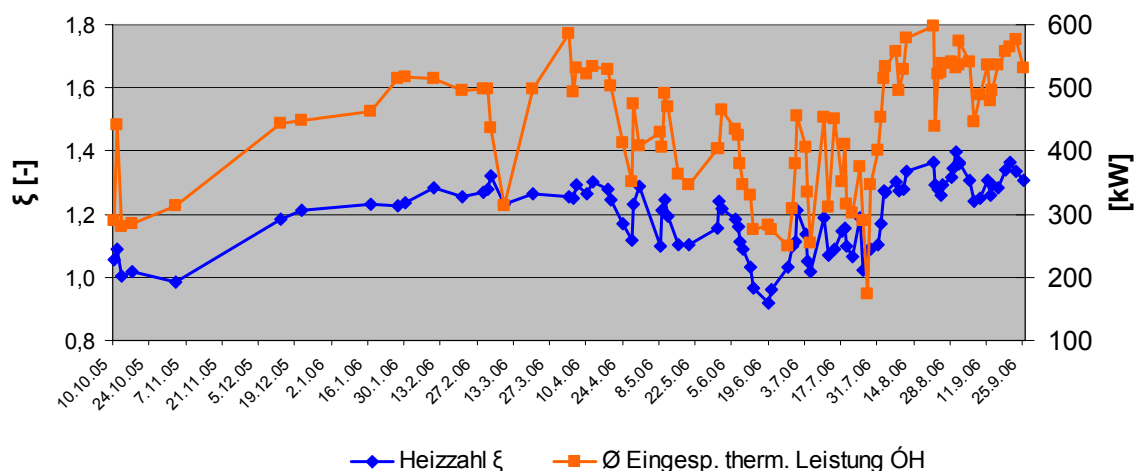


Abb.35 Heizzahl und thermische Leistung GMWP im Zeitraum 10.10.2005 bis 27.02.2006

2.4 Anlagenbetrieb

2.4.1 Auswertung der Betriebsergebnisse

Wärmepumpe

Insgesamt wurden 16 Wärmemengenzähler und drei Stromzähler für das Einspar-Contracting eingebaut. Hiervon dienen zwei Wärmezähler und zwei Stromzähler der Vermessung der Lüftungsgeräte, die restlichen Zähler für die Erfassung der Wärmeströme aus den Wärmequellen und der Wärmebereitstellung. Sämtliche Zähler sind auf die GLT über M-Bus aufgeschaltet und sämtliche Messdaten werden aufgezeichnet und archiviert.

Bezeichnung Zähler	VL-Temp.	RL-Temp.	Wärme momentan	Durchfluss momentan	Volumen Gesamt	Wärme Gesamt
Wärmezähler Wärmepumpe	67.0 °C	48.0 °C	433 kW	19.4 m³/h	314388 m³	5642870 kWh
Wärmezähler neues Aussenbecken	24.0 °C	21.0 °C	15 kW	3.7 m³/h	30391 m³	138892 kWh
Wärmezähler Weisse Halle	23.0 °C	20.0 °C	25 kW	8.0 m³/h	87237 m³	662567 kWh
Wärmezähler Kuppel-Halle	23.0 °C	21.0 °C	7 kW	2.6 m³/h	34381 m³	149644 kWh
Wärmezähler Thermalabwasserbehälter	29.0 °C	24.0 °C	0 kW	0.0 m³/h	88952 m³	266040 kWh
Wärmezähler Thermalabw. Vorkühlung	28.0 °C	20.0 °C	50 kW	5.4 m³/h	44167 m³	501170 kWh
Wärmezähler Duschabwasser	21.0 °C	21.0 °C	6 kW	5.8 m³/h	18613 m³	75581 kWh
Wärmezähler ULK Schallkabine	25.0 °C	21.0 °C	8 kW	1.7 m³/h	9394 m³	50110 kWh
Wärmezähler ULK Maschinenraum	25.0 °C	20.0 °C	10 kW	1.8 m³/h	6304 m³	98955 kWh
Wärmezähler ULK Beckenumgang	24.0 °C	21.0 °C	3 kW	0.8 m³/h	14988 m³	29276 kWh

Bezeichnung Zähler	VL-Temp.	RL-Temp.	Wärme momentan	Durchfluss momentan	Volumen Gesamt	Wärme Gesamt
Wärmezähler Gesamtwärme	59.0 °C	61.0 °C	0 kW	32.0 m³/h	955533 m³	11018000 kWh
Wärmezähler (Abgang Wohlfühlhaus)	59.0 °C	45.0 °C	242 kW	18.0 m³/h	690197 m³	14047000 kWh
Wärmezähler Lüftung weisse Halle	0.0 °C	0.0 °C	0 kW	0.0 m³/h	0 m³	0 kWh
Wärmezähler Eingang Gesamt	56.0 °C	51.0 °C	1 kW	0.2 m³/h	13959 m³	325800 kWh
Wärmezähler Lüftung Eingang	31.0 °C	31.0 °C	0 kW	1.1 m³/h	9235 m³	16020 kWh
Wärmezähler Verteiler Aussenbecken	65.0 °C	41.0 °C	118 kW	4.2 m³/h	79863 m³	2670993 kWh

Abb.36 Übersicht Wärmezähler

Im Oktober 2005 wurde die GMWP in Betrieb genommen. In Abb. 37 sind alle größeren Störungen aufgelistet, die einen längeren Betriebsausfall nach sich gezogen haben.

- Nov 2005 – Maßnahme konstanter Netztemperatur von 45 °C , Drehzahlregelung Pumpen, (entspr. Vorlauftemp. für GMWP)
- Apr 2006 – Zündung defekt → Austausch elektronischer Bauteile
- Juli 2006 – Optimierung Kesselsteuerung → gleitende Vorlauftemperatur
- Sep 2006 – Umbau am Thermalwasserbehälter (Kugelhahn → besseres Regelverhalten)
- Okt 2006 – Verdichter defekt
- Dez 2006 - Temperaturfühler getauscht
- Feb 2007 – Undichtigkeit am Abgassystem
- Sep 2007 – in Planung → Einbau innenliegender Wärmetauscher im Thermalwasserbehälter (Grund sind die 14tägigen Reinigungszyklen des bestehenden Wärmetauschers)

Abb.37 Aufgetretene Mängel und Optimierungsmaßnahmen

Nach Inbetriebnahme der Gasmotorwärmepumpe lag die Arbeitszahl (Tageswert), infolge sehr hoher Taktung (bis zu 40 Starts am Tag) bei rund 1,0. Daraufhin wurden hydraulische Maßnahmen umgesetzt, u. a. um die Vorlauftemperatur zur Wärmepumpe auf rund 45 °C zu begrenzen. Nach fast einjähriger Optimierungsphase konnten dann Arbeitszahlen von über 1,4 verzeichnet werden.

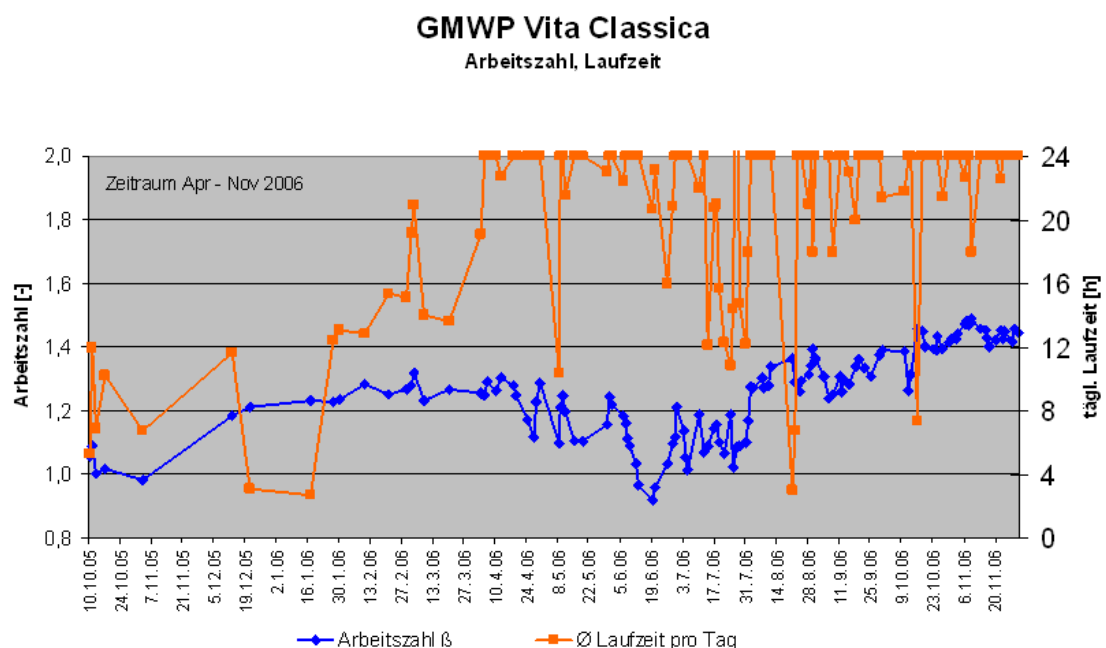


Abb.38 Arbeitszahl und durchschnittliche Laufzeit pro Tag

Anhand der Messdaten wurde die Regelbarkeit der GMWP hinsichtlich der wirtschaftlichen Betriebsweise untersucht. Die GMWP kann durch ihre Bauweise modulierend betrieben werden, d.h. die thermische Leistung kann bis auf 50% der Gesamtleistung reduziert werden. Dabei erreicht man nur noch Arbeitszahlen um 1,0, d.h. eine energieeffiziente Fahrweise ist nicht mehr gegeben.

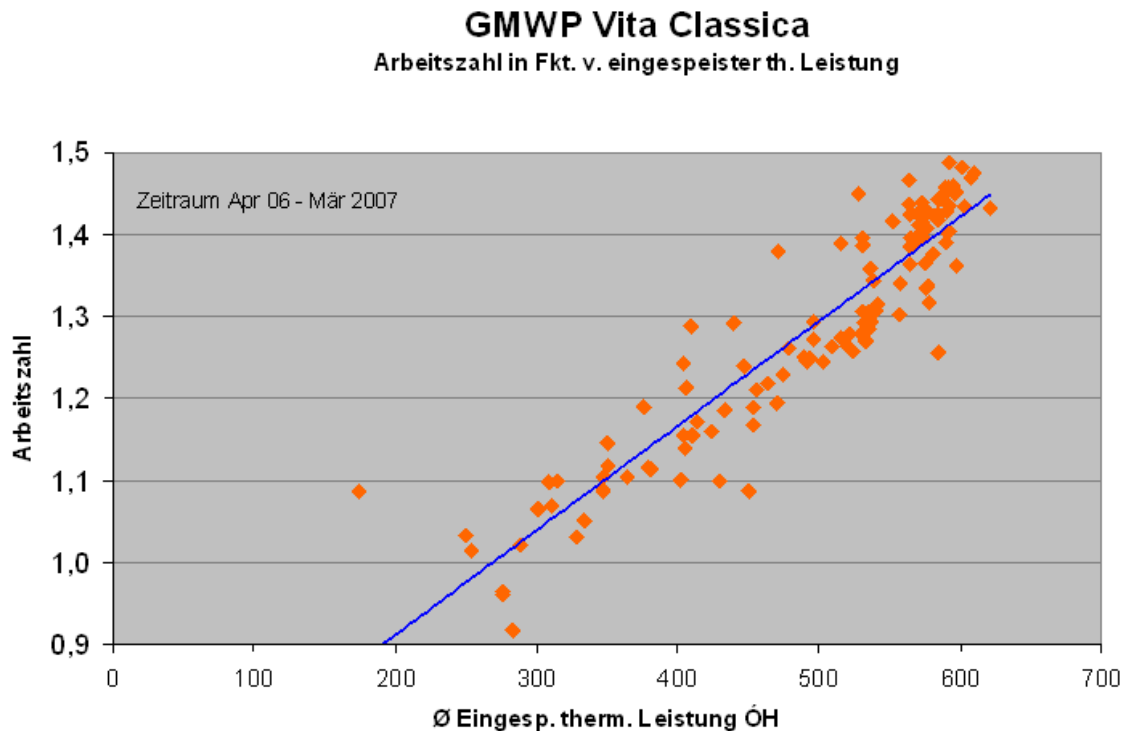


Abb.39 Arbeitszahl in Abhängigkeit von der Thermischen Leistung

Laut vertraglicher Vereinbarung war das Ziel, dem Kunden an der Übergabestelle jährlich eine Wärmemenge von 3.000 MWh/a durch die GMWP bereitzustellen. Dies entspricht rund 4.900 Vollbenutzungsstunden, was für Grundlastsysteme (z.B. BHKW) durchaus ein guter Anlagenbetrieb bedeutet. Anhand der Erdgasverbrauchszahlen der Vorjahre, wurde eine Aufsplittung des Jahresverbrauches auf die Einzelmonate vorgenommen (vgl. Abb. 40 monatliche Wärmeprognose). Während in den Monaten Mai bis Juli die bereitgestellten Wärmemengen ungefähr den Prognosewerten entsprachen, konnte vor allem in den Wintermonaten deutlich mehr Wärme geliefert werden. Nach dem ersten Betriebsjahr wurden fast 3.950 MWh/a bei rund 6.400 Vollbenutzungsstunden geliefert. Somit wurden rund 30% mehr Wärme an den Kunden geliefert.

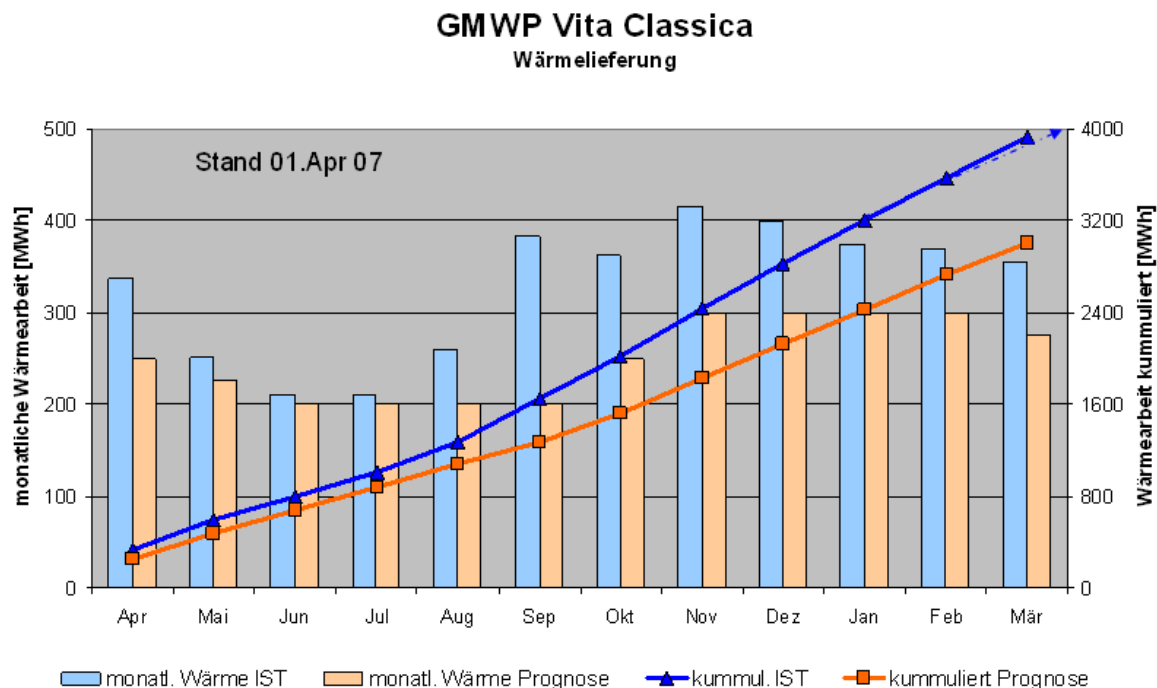


Abb.40 Wärmearbeit Prognose – Tatsächliche Wärmelieferung

In Abb. 41 ist die technische Verfügbarkeit, die Angabe des Betriebsausfalls durch Störungen und die durchschnittliche thermische Leistung für das erste Betriebsjahr dargestellt. Es ist zu erkennen, dass in den Wintermonaten die GMWP annähernd im Volllastbetrieb (monatliche Durchschnittsleistung ca. 600 kW) durchläuft, während sie in den Sommermonaten, bedingt durch den geringeren Wärmebedarf der Vita Classica in den Teillastbereich fährt.

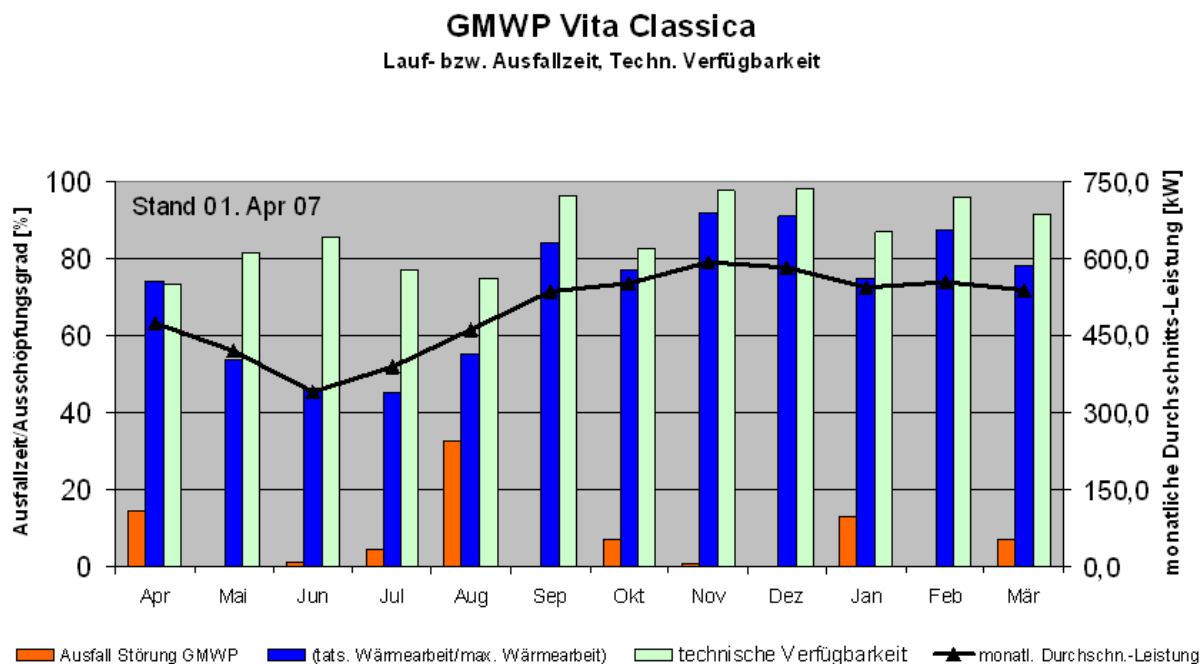


Abb.41 Ausfallzeit/Störungen und technische Verfügbarkeit

Die bereitgestellte Wärmemenge lag im zweiten Betriebsjahr bei knapp 3.500 MWh/a, was rund ca. 10 % weniger zu Vorjahr ist. Zudem sank die Jahresarbeitszahl von 1,32 auf 1,26 ab. Ursache hierfür waren vor allem die höhere Stillstandszeit und die vermehrte Anzahl an Starts.

Lüftungsanlagen

In diesem Abschnitt wird nur sehr kurz auf die weiteren technischen Anlagen im Zuge des Maßnahmenpools eingegangen. Für die Bereiche „Weiße Halle“ und „Foyer“ wurden neue lufttechnische Anlagen eingebaut. Die Altgeräte wurden noch vor dem Ausbau mit Wärme- und Stromzähler ausgestattet um deren Energiebedarf zu messen. Abb. 42 zeigt die Auswertung der Energiedaten der Alt- und Neugeräte. In der Summe konnten 86,4 % an Wärmearbeit und 35,2 % an Strommenge eingespart werden.

Auch bei dieser Maßnahme wurden vertraglich Prognosewerte für den Wärme- und Strombedarf der Neugeräte zu Grunde gelegt, die auf Basis der technischen Daten der lufttechnischen Anlagen und deren angenommenen Betriebszeiten ermittelt wurden.

Die tatsächlichen Energiemengen lagen dabei nur knapp 3 % über den Prognosewerten.

		Lüftungsgerät für "Weiße Halle"			Lüftungsgerät "Eingang, Foyer"			Summe Lüftungsgeräte			Energie-Einsparung
		Altgerät	Neugerät		Altgerät	Neugerät		Altgerät	Neugerät		
		Studie u. Systemanalyse	Prognose Vertrag ⁽¹⁾⁽²⁾	Messdaten 1 Jahr	Studie u. Systemanalyse	Prognose Vertrag ⁽¹⁾⁽²⁾	Messdaten 1 Jahr	Studie u. Systemanalyse	Prognose Vertrag ⁽¹⁾⁽²⁾	Messdaten 1 Jahr	
Jahres-Bilanz 15.10.04 - 14.10.05	Wärme [MWh]	1320	184	56	315	32	166	1635	216	222	86,4%
	Strom [MWh]	165	102	97,5	36,8	25,2	33,3	201,8	127,2	130,8	35,2%
(1) Hochrechnung anhand VDI 2067, Blatt1, Tabelle 1 (2) Annahme: konstanter monatlicher Stromverbrauch											

Abb.42 Einsparung durch Sanierung Lüftungsgeräte

In Abb. 43 ist der Wärmeverbrauch der neuen lufttechnischen Anlagen für die ersten beiden Betriebsjahre im Vergleich zum Wärmeverbrauch der alten lufttechnischen Anlagen dargestellt.

Lüftungsgeräte Wärmeverbrauch

Altgerät-Prognose-1. und 2. Betriebsjahr

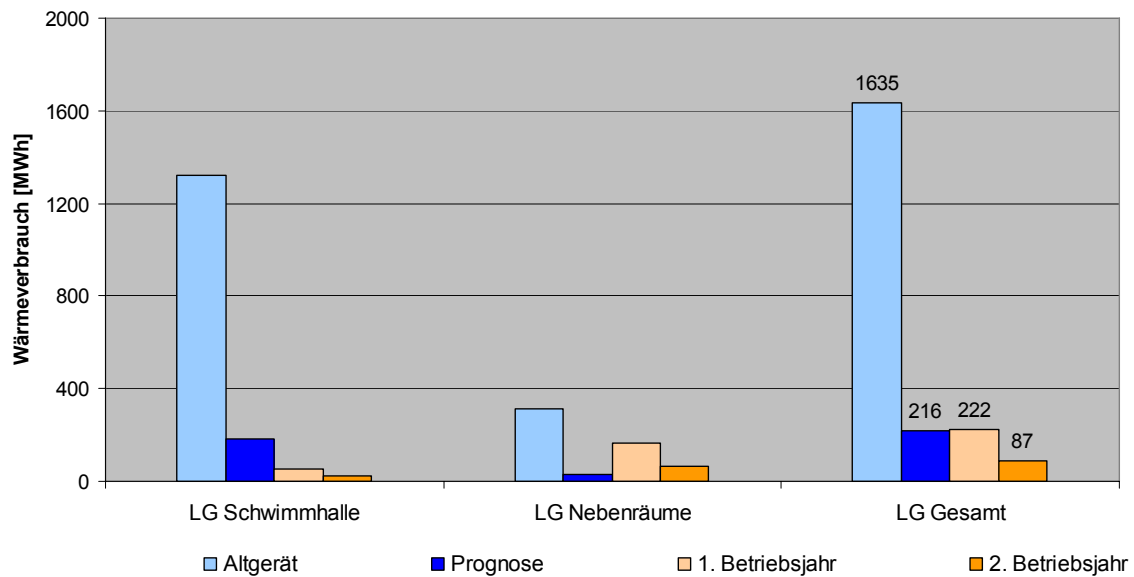


Abb.43 Wärmebedarf Gegenüberstellung Altgerät – Prognose - Neugerät

In Abb. 44 ist der Stromverbrauch der neuen lufttechnischen Anlagen für die ersten beiden Betriebsjahre im Vergleich zum Stromverbrauch der alten lufttechnischen Anlagen dargestellt.

Lüftungsgeräte Stromverbrauch

Altgerät-Prognose-1. und 2. Betriebsjahr

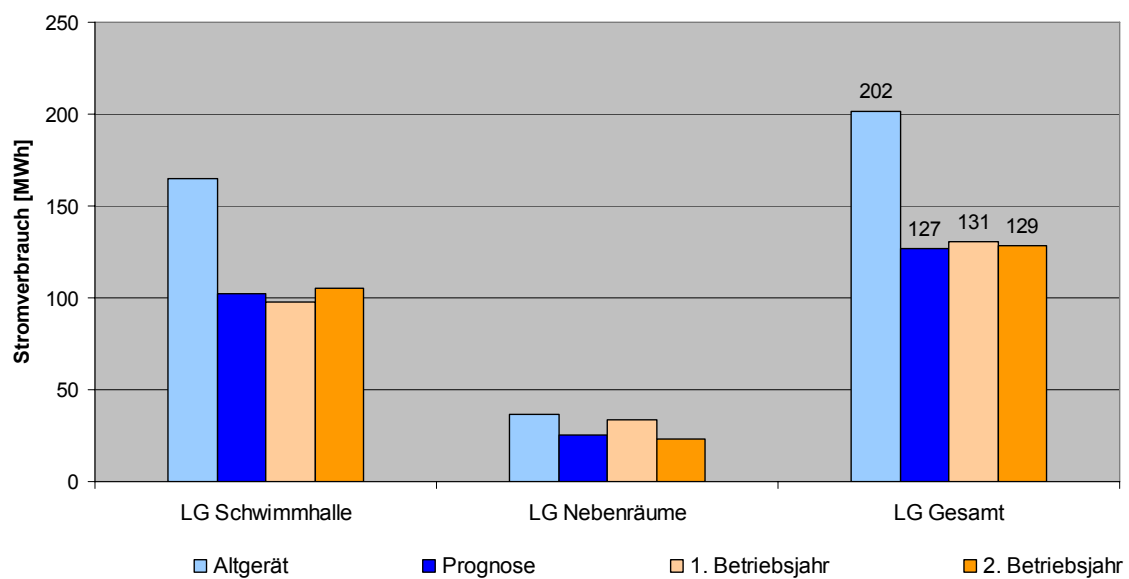
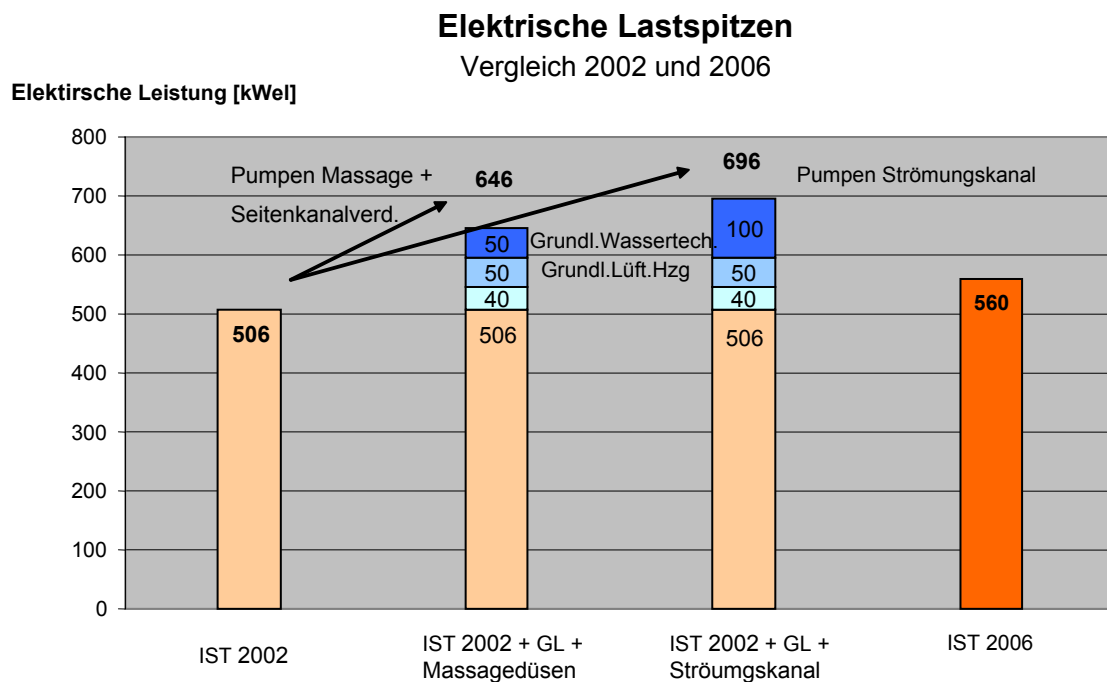


Abb.44 Strombedarf Gegenüberstellung Altgerät – Prognose - Neugerät

Stromanlagen

Das dritte Maßnahmenpaket lag im Bereich der Stromanlagen. Es wurde eine Blindstromkompensationsanlage, ein Lastmanagementsystem und verschiedenen Pumpen mit Frequenzumformer ausgestattet.

Ergebnis ist, dass zum einen die elektrische Lastspitze von rund 700 kW auf 560 kW abgesenkt werden konnte (Abb. 45), keine Kosten mehr für Blindleistung/-arbeit dem Kunden entstehen und dass der elektrische Verbrauch nennenswert gesenkt werden konnte.



Quelle: Abrechnung 2002, Aufstellung Zubau elektr. Verbraucher Neubau Außenbecken durch Ing. Büro Sütterlin

Abb.45 Übersicht elektrischer Lastspitzen vor und nach Umsetzung der „Strommaßnahmen“

2.5 Ökologischer Nutzen



Badische Zeitung Online - Die Wärmepumpe läuft "wie am Schnürchen"

Seite 1 von 1

Badische Zeitung
O · N · L · I · N · E

⏪ zurück

🖨 Druckansicht

✉ versenden

🔊 vorlesen

Badische Zeitung vom Mittwoch, 11. Juli 2007

Die Wärmepumpe läuft "wie am Schnürchen" ☆

Vita Classica senkt Energiebedarf / 1000 Tonnen weniger CO

Von unserem Mitarbeiter Hans Christof Wagner



Auch mit dem neuen Außenbecken haben sich die Betriebskosten der Vita- Cla ...mehr

BAD KROZINGEN. Ökologie und Ökonomie — noch immer werden beide oft als sich ausschließende Gegensätze gesehen. Beide Kategorien verbunden hat man jetzt in der Vita-Classica-Therme. Dort ist seit über einem Jahr eine Wärmepumpe im Einsatz, die aus dem Abwasser Wärme zurückgewinnt. Die Kur und Bäder GmbH (KBG) spart damit Betriebskosten. Die Umwelt freut sich über 1000 Tonnen weniger CO pro Jahr. Jetzt zogen KBG und Projektpartner Badenova nach einem Jahr Laufzeit Bilanz.

Der Einspareffekt war sogar noch größer als erwartet. Bislang kaufte die KBG Erdgas bei Badenova und verbrannte es, um daraus heißes Wasser für Heizung und Duschen zu gewinnen. Mit dem neuen System kauft sie von Badenova nicht mehr Gas, sondern Wärme. Die wird jetzt nicht mehr in einem Heizkessel erzeugt, sondern in einer Wärmepumpe im Keller der Therme. Das 35 Grad warme Abwasser aus den Duschen, Wannenbädern und Thermalbecken wird dort gesammelt. Die Anlage nutzt diese Restwärme und steigert sie in einem System von Wärmetauschern und einem Verdichter auf eine zum Heizen und Duschen verwertbare Temperatur von 65 Grad. Zwar wird der Verdichter auch mit Gas betrieben, doch die Energieeffizienz ist hier weit höher verglichen mit einem reinen Gasheizkessel.

Gegenüber der Presse sprach KBG-Geschäftsführer Rolf Rubsamen von einer "Win-Win-Situation". Das heißt, es profitieren beide Partner. Die Therme nutzt die Energie des Abwassers, die früher ungenutzt in die Kanalisation geflossen ist. Sie muss jetzt Badenova das heiße Wasser bezahlen. Aber die Kosten hierfür sind weit geringer als zuvor für den Kauf von Erdgas. "Wir konnten schon im ersten Betriebsjahr der Wärmepumpe 74 000 Euro einsparen", betonte Rubsamen. Mit um 50 000 Euro geringeren Kosten hatte man gerechnet. "Wir sind sehr froh, dass unsere Schätzung zu 30 Prozent übertroffen wurde", sagte Klaus Preiser von Badenova. Die Anlage laufe "wie am Schnürchen", besser und effektiver als erwartet. Preiser erklärte auch den Nutzen, den sein Haus aus der Zusammenarbeit zieht. Zwar setzt der Energieversorger jetzt weniger Erdgas ab. Doch das kann er verschmerzen, weil seine Gewinnmarge beim Verkauf von Wärme höher ist als beim Verkauf von Erdgas. "Der einzige Verlierer ist Herr Putin, weil wir bei dem jetzt nicht mehr so viel Gas einkaufen müssen", sagte Preiser.

700 000 Euro hat die Anlage gekostet. 200 000 Euro davon stammen aus dem Innovationsfonds der Badenova, woraus jedes Jahr innovative Projekte im Versorgungsgebiet gefördert werden. Weitere 200 000 Euro hat die Kur und Bäder GmbH beigesteuert. Den Rest über 300 000 Euro hat Badenova vorgestreckt. Sie werden mit den jährlichen Einsparsummen verrechnet. Nach zwölf Jahren Laufzeit wird die Anlage in den Besitz der KBG übergehen. Dass das Projekt aus dem Innovationsfond Geld erhielt, liegt darin begründet, dass die Wärmepumpe in Bad Krozingen die erste dieser Art und Größe ist und als Pilot- und Referenzanlage gilt. Rubsamen betonte im Pressegespräch, dass damit trotz der Erweiterungen der Therme um ein Außenbecken sowie um ein Türkisches und ein Indisches Bad der Energiebedarf hat gesenkt werden können. Dazu beigetragen hätten auch Investitionen in die Wärmedämmung der Gebäude und der Einbau von Lüftern, die Wärme aus der Abluft zurückgewinnen.

Abb. 46 Pressekonferenz 11 Juli 2007

2.5.1 Einsparung an Primärenergie

Durch den Einsatz einer erdgasbetriebenen Wärmepumpe wurde die durch die Kesselanlagen bereitzustellende Wärmemenge um ca. 1.800 MWh reduziert. Die Wärmepumpe arbeitete unter den gegebenen Randbedingungen in der Vita Classica mit einer Jahresarbeitszahl (bezogen auf H_u) von $\beta = 1,46$ (erstes Betriebsjahr) bzw. $\beta = 1,39$ (zweites Betriebsjahr). Die Arbeitszahl gibt das Verhältnis von abgegebener Heizwärme zu aufgenommener Antriebs- und Hilfsenergie an.

Des Weiteren wurden lufttechnische Anlagen mit hocheffizienten Wärmerückgewinnungssystemen (Regeneratoren sowie Rekuperatoren) installiert. Die Auswertungen der Wärmemengenzähler ergaben, dass ca. 1.500 MWh an Wärme- und ca. 75 MWh an Stromarbeit eingespart wurden.

2.5.2 Reduktion der CO₂-Emission

Insgesamt konnten durch diese beiden Maßnahmen also 3.300 MWh/a Wärme bzw. ca. 4.000 MWh/a Erdgas eingespart werden und damit ca. 40 % des bisherigen Gesamt-Erdgasverbrauchs. Dies entspricht einer eingesparten Menge von CO₂ in Höhe von rund 1.000 to. CO₂/a.

2.6 Betrachtung der Wirtschaftlichkeit

Eine Überprüfung der „Wirtschaftlichkeit der GMWP“ wurde ausführlich mit den aufgeführten Rahmenbedingungen durchgeführt.

- > Erdgaskosten
- > Wärmeerlös
- > Betrieblicher Aufwand (Personalkosten badenova)
- > Vollwartungskosten

An dieser Stelle sei erwähnt, dass nur die wesentlichen Ergebnisse bzw. Erkenntnisse im Abschlussbericht aufgeführt werden.

Auf Basis der Unterhaltsaufwendungen, der zugeführten Erdgasmenge, der abgegebenen Wärmemenge, Stellung Leistungsschieber und der Nennheizzahl, wurde Abb. 47 erstellt. Der Zeitraum 08. bis 11. Oktober wurde einerseits gewählt, weil in diesem Zeitraum signifikante Veränderungen der Kurven zu beobachten sind. Andererseits soll mit einem Zeitraum von vier Tagen die Übersichtlichkeit bei möglichst kleinen Wertesprüngen gewährleistet sein.

In Abb.47 ist zu erkennen, dass schon bei einer geringen Änderung des Leistungsschiebers eine massive Leistungsänderung erfolgt und sich der „Gewinn“ ins negative verschiebt. Dazu empfiehlt sich die Betrachtung des 10. Oktobers zwischen 12:00 Uhr und 14:00 Uhr (siehe Kreis). In diesem Zeitraum wird der Leistungsschieber um 6 % von 97 % auf 91 % verstellt. Darauf hin ändert sich die Wärmeleistung von 530 kW auf 450 kW um 15 %. Die Leistungszahl fällt von 1,25 auf 1,15 zwar nur um 8 %, der „Gewinn“ jedoch rutscht von 0,59 €/h auf -1,42 €/h in die Verlustzone. Somit ist der Betrieb bei niedrigen Heizzahlen wegen der hohen Betriebskosten für die Vollwartung bei dieser Betrachtung unwirtschaftlich.

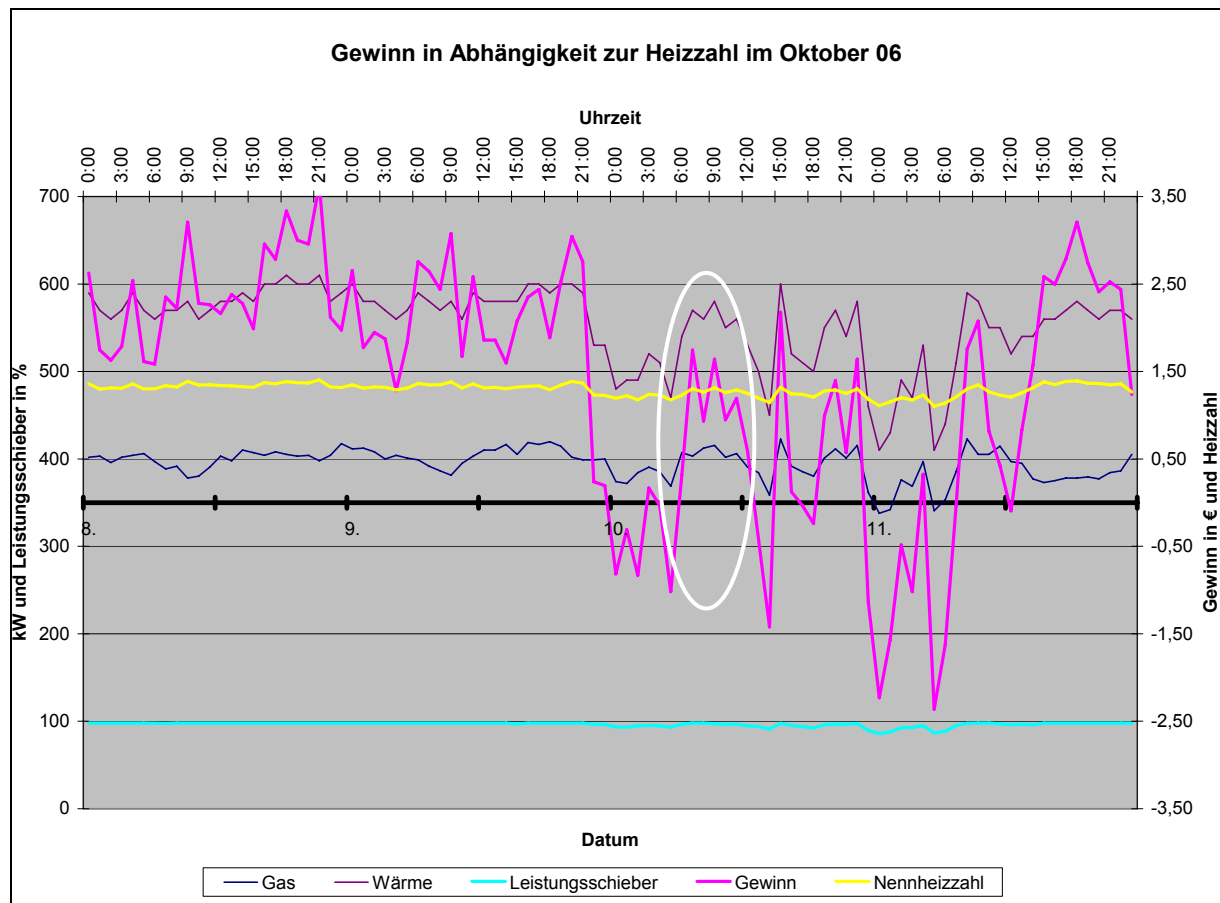


Abb. 47: Gewinn und Heizzahl vom 8. bis 11. Oktober 06

Auf diese Negativspitze folgt eine Verstellung des Leistungsschiebers nach oben, was das gleiche Szenario wie oben beschrieben nur in umgekehrter Reihenfolge hervorruft. Diese großen Spitzen weisen auf eine hohe Regelautorität des Leistungsschiebers hin. So wird im Weiteren der Leistungsschieber analysiert.

In Abb. 48 ist die Stellung des Leistungsschiebers mit den von ihr abhängigen Größen Nennheizzahl und Wärmeleistung aufgebracht. Der Leistungsschieber regelt die Leistungsabgabe der Wärmepumpe in Abhängigkeit zur Vorlauftemperatur aus dem Heizungsnetz, indem der Volumenstrom auf der Kondensatorseite reduziert bzw. erhöht wird. Wie schon in Abhängigkeit mit Abb. 47 erläutert, verläuft die Abnahme der Wärmeleistung mit linear abnehmendem Wert des Leistungsschiebers nicht linear. Bei einer linearen Kennlinie des Leistungsschiebers müsste bei einer Abnahme des Leistungsschiebers um 21 % die Wärmeleistung der GMWP 482 kW statt der tatsächlichen 340 kW betragen. Die Soll-Kurve wird von der gestrichelten Linie dargestellt. Die aufgetragenen Werte für die Wärmeleistung sowie für die Heizzahl sind der Datenauswertung des Monats Oktober entnommen.

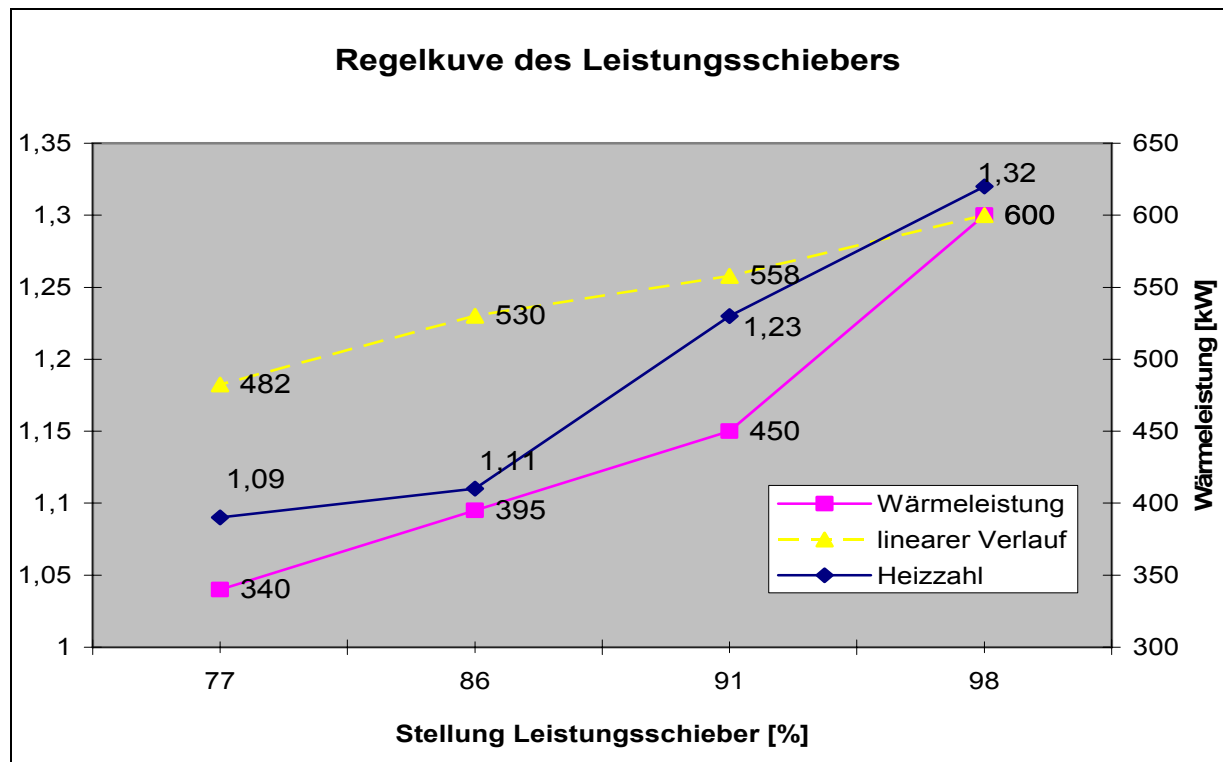


Abb.48 Auswirkungen des Leistungsschiebers

Im Juni 2006 ist die GMWP nur mit einer durchschnittlichen Leistungsschieberstellung von 68 % betrieben worden. Die somit erreichte monatliche Nennheizzahl beträgt 1,012 was einen „Verlust“ verursachte.

In der folgenden Abb. 49 ist zu beachten, dass der Verlustbereich bis 4 € begrenzt ist. Deshalb ist die Gewinnkurve, die die meiste Zeit einen höheren Verlust als 4 € anzeigt, abgeschnitten. Um die Übersichtlichkeit zu wahren ist nicht der ganze Monat sondern nur ein Zeitraum von 4 Tagen aufgetragen. Dennoch ist der Trend des Leistungsschiebers und der davon abhängigen Nennheizzahl sowie des Gewinnes gut zu erkennen.

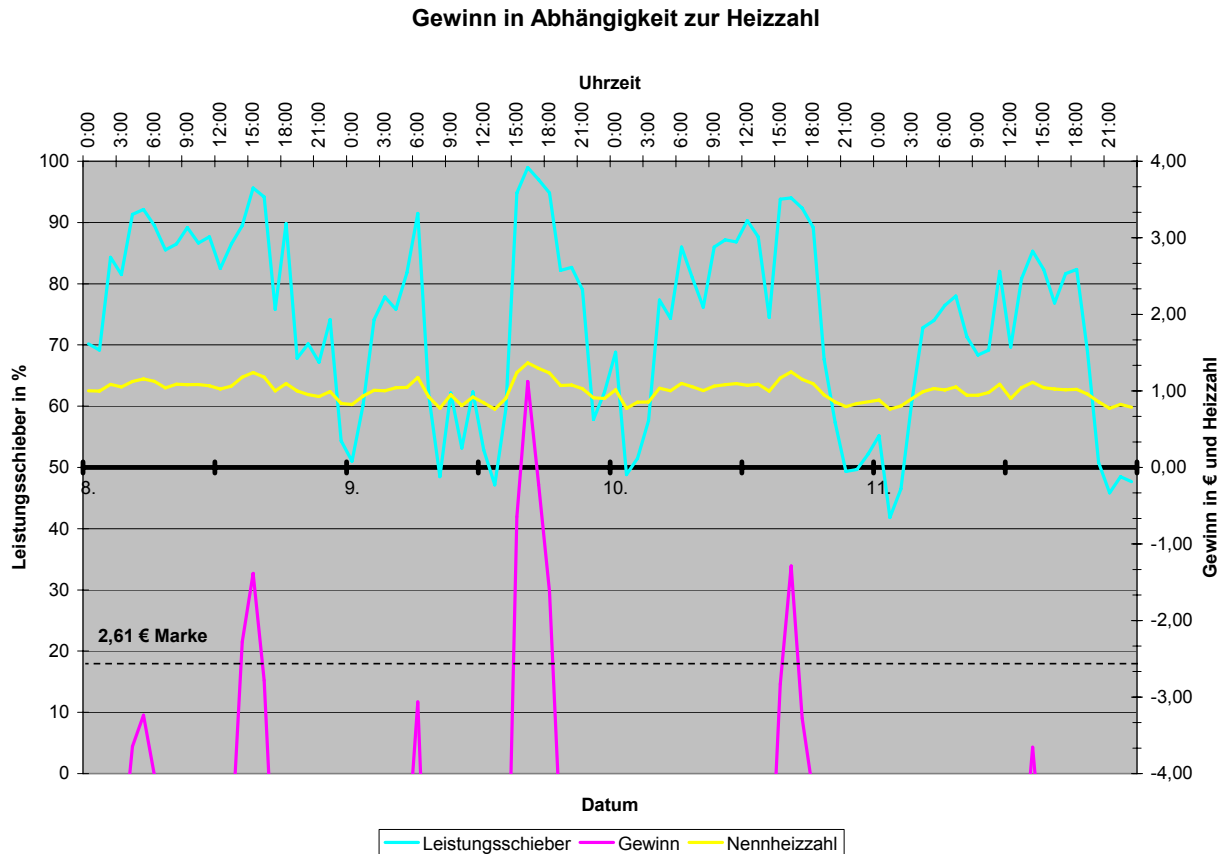


Abb.49: Absolutgewinn und Heizzahl vom 8. bis 11. Juni

Es ist klar ersichtlich, dass der Betrieb im Juni 2006 sehr unwirtschaftlich war. Die Untersuchung hat ergeben, dass die Vorlauftemperatur aus dem Heizungsnetz zu der Kondensatorseite der Wärmepumpe sehr hoch lag. Der Grund dafür lag in der Betriebsweise der Kessel in der Heizzentrale. Diese wurden mit einer Konstanttemperatur von 85 °C betrieben. Diese hohe Vorlauftemperatur von den Kesseln schlägt sich bei der geringen Abnahme im Sommer bis in den Rücklauf durch, der ja von der Wärmepumpe wieder angehoben werden soll.

In der folgenden Abb. 50 vom Oktober 2006 ist diese Problematik behoben. Dennoch kann es zu kurzfristigen Steigerungen der Temperaturen kommen. Dies ist gewollt, da in regelmäßigen Abständen eine thermische Desinfektion durchgeführt werden muss.

Die Wirtschaftlichkeit passt sich dementsprechend in die gewünschte positive Richtung an. Dennoch werden beim Gewinn negative Bereiche erreicht, die es gilt zu minimieren. So wurde ein Kriterium für das Ausschalten der Gasmotorwärmepumpe festgelegt. Dieses Ausschaltkriterium ist für den Sommer gedacht, damit Ergebnisse wie im Juni 2006 verhindert werden.

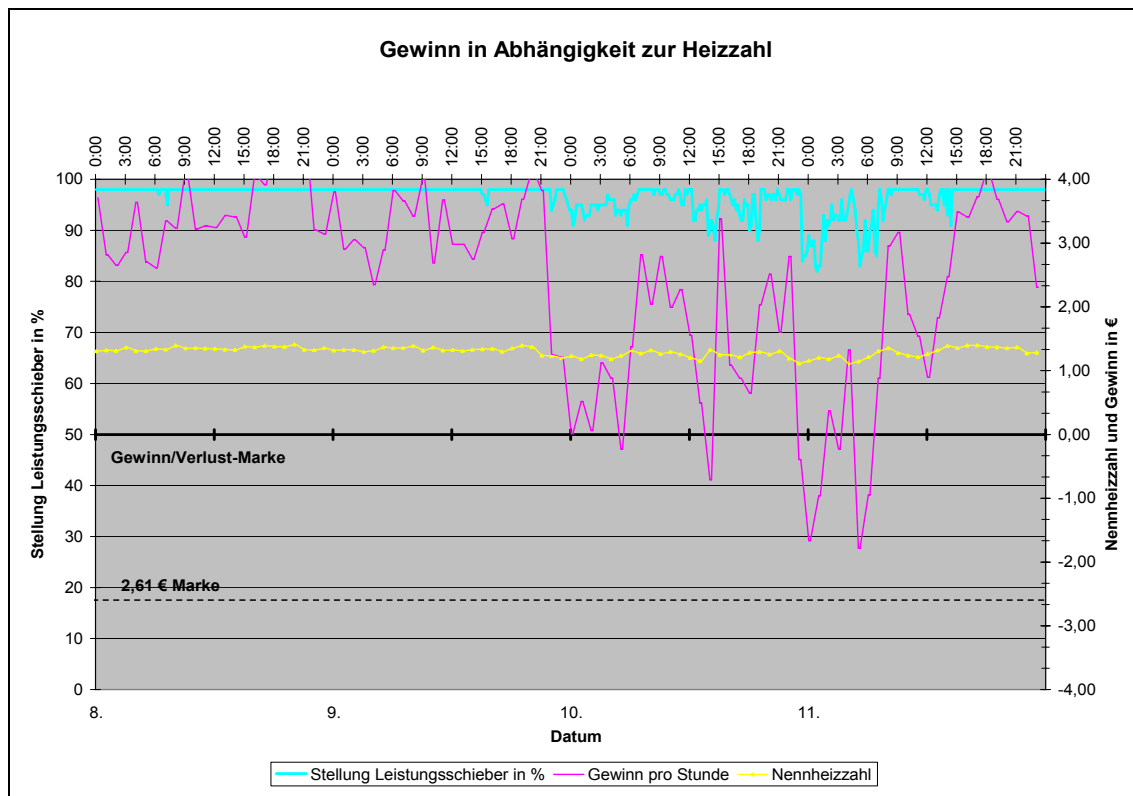


Abb.50: Absolutgewinn und Heizzahl vom 8. bis 11. Oktober

Die Untersuchung ergibt, dass ab einem höheren Verlust als 2,61 € pro Stunde, der Betrieb größere Verluste verursacht als der Stillstand. Diese 2,61 € werden benötigt, um die mindestens anfallenden Fixkosten zu erreichen. Dieser Punkt, bei dem ein Stillstand wirtschaftlicher ist als der Betrieb, wird bei einer Leistungszahl von 1,07 erreicht. Die Leistungszahl ist der Mittelwert eines Bereiches über mehrere Stunden, in dem durchschnittlich der oben beschriebene Verlust von 2,60 € pro Stunde während des Betriebes der Gasmotorwärmepumpe erreicht wird. Bis zu einer Leistungszahl von 1,19 werden zwar immer noch Verluste eingefahren, bei einem Stillstand der Anlage wären diese Verluste jedoch noch höher. Diese Leistungszahl wurde mit der gleichen Methode wie oben beschrieben ermittelt. In der Abb.50 ist diese Marke mit einer gestrichelten Linie eingezeichnet. Es ist zu erkennen, dass die GMWP zu dieser Zeit nicht in den Bereich kommt, in dem sich ein Abschalten lohnt.

Neben der GMWP für die Grundlast sind, wie bereits erwähnt, Brennwertkessel eingebaut. In Abb. 51 sind die Vor- und Rücklauftemperatur der Kessel mit der Leistungsmodulation der GMWP aufgetragen. Die Kesselrücklauftemperatur ist die Temperatur des Wärmepumpenvorlaufs, da die GMWP ja in den Rücklauf der Anlage eingebunden ist.

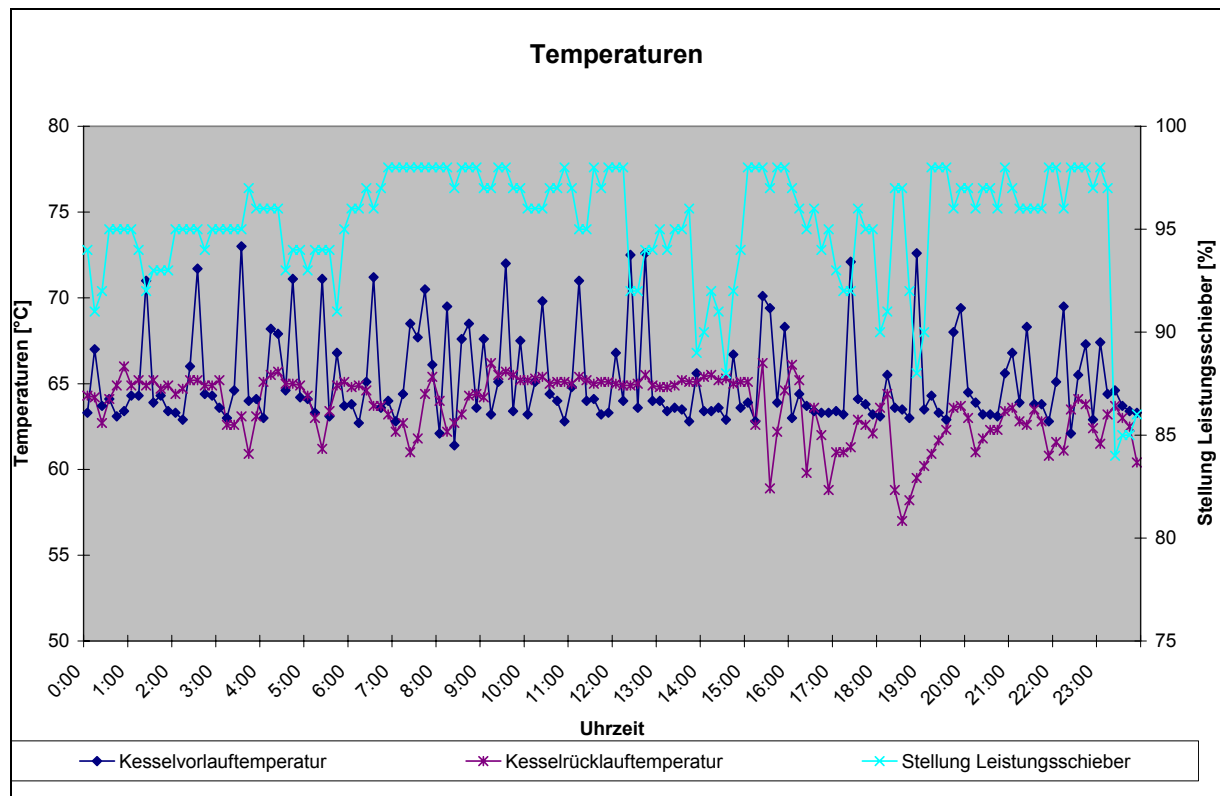


Abb. 51: Kesseltemperaturen am 10. Oktober 2006

So lässt sich eine Abhängigkeit zwischen der Modulation und der Kesselrücklauftemperatur zeitversetzt erkennen. Für den Anlagenbetrieb von Bedeutung ist jedoch etwas anderes. Im Diagramm ist ein ständiges „Auf und Ab“ der Kesselvorlauftemperatur zu erkennen. Das bedeutet, dass die Kessel im Taktbetrieb sind. Diese Begebenheit ist nicht vorteilhaft für die Kessel, da diese durch ein häufiges Takten sehr beansprucht werden. Durch das Hinterlegen einer tieferen Heizkurve in der Kesselsteuerung wird das „Takten“ unterbunden. Auch die hohen Vorlauftemperaturen werden mit dieser Umstellung vermieden. Die positiven Auswirkungen dieser Umstellung sind bereits in Abb. 52 erkenntlich. Die Abweichungen vom Idealfall, was der Modulation konstant bei Volllast entspricht, in dieser Abbildung werden im Folgenden Abschnitt erklärt. Die Modulation ist jedoch in der meisten Zeit auf einem konstanten Wert und die Kesselvorlauftemperatur meist auf gewünschten niedrigen Temperaturen.

Die 100 %-Marke für die Stellung des Leistungsschiebers wird nicht erreicht. Die Volllaststellung ist laut Datenerfassung mit einer Stellung von 98 % erreicht. In den Verbesserungspotenzialen wird darauf noch einmal eingegangen. Dieses Problem ist jedoch nicht wesentlich.

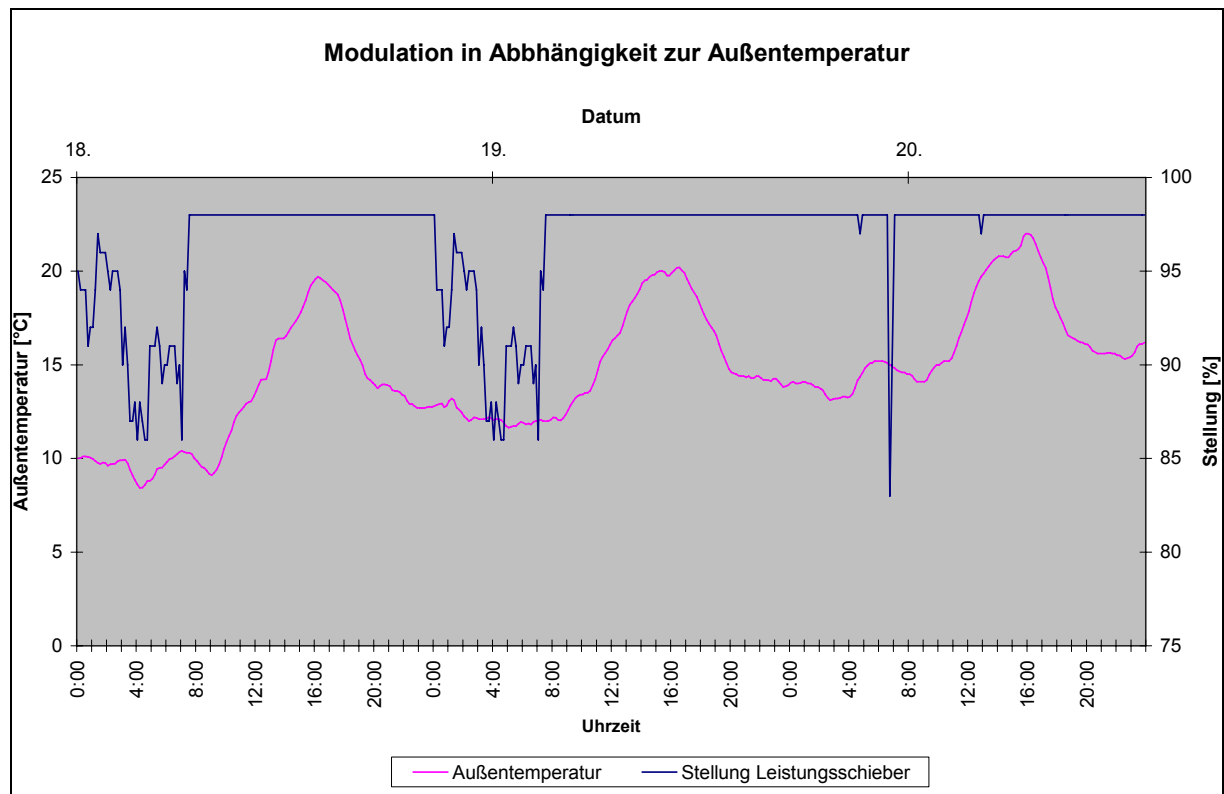


Abb.52 Modulation zur Außentemperatur vom 18. bis 20. Oktober 06

In Abb. 52 ist deutlich zu erkennen, dass bei sinkender Außentemperatur die Wärmepumpe moduliert. Bei einer ersten Überlegung wäre jedoch genau das Gegenteil zu erwarten, dass nämlich mit sinkenden Temperaturen die Heizlast steigt und somit die Wärmepumpenauslastung. Es ist jedoch zu beachten, dass bei der steigenden Heizlast die Kessel in Betrieb gehen. Da die Wärmepumpe in den Rücklauf eingebunden ist steigt bei Kesselbetrieb auch die Vorlauftemperatur der Wärmepumpe. Die Pumpe wiederum beginnt mit steigenden Vorlauftemperaturen zu modulieren.

Diese Annahme bestätigt sich in Abb. 53. Dort sind die Temperaturen von und zu den Kesseln im Heizungsnetz dargestellt. Dabei ist ja die Kesselrücklauftemperatur die Vorlauftemperatur der GMWP. Es ist auch noch einmal die Stellung des Leistungsschiebers der Wärmepumpe aufgetragen um ein leichteres Erkennen des Zusammenhanges zu ermöglichen. Am 18. Oktober morgens erreichen die Kessel über einen längeren Zeitraum bis zu 80 °C im Vorlauf. Dieses hohe Aufheizen des Vorlaufes ist durch die vorgeschriebene thermische Desinfektion des Trinkwassers zu erklären. Die Überschneidungen mit der sinkenden Außentemperatur sind also zu diesem Zeitpunkt nur zufällig. Der Beginn der Leistungsmodulation am 19.10 ist um 23:00 Uhr. Zu dieser Zeit schließt das Bad, das heißt Verbraucher wie die Warmwasserbereitung fallen weg. Wenn dieser Wegfall nicht durch andere Abnehmer ausgeglichen wird steigt die Vorlauftemperatur der GMWP, was zu einer geringeren Leistungsanforderung führt. Das heißt der Leistungsschieber reduziert den Durchfluss zum Kondensator. Am 20. ist um 6:00 Uhr ein starker Anstieg der Kesselvorlauftemperatur zu erkennen. Dieser Anstieg hebt die Rücklauftemperatur zur Wärmepumpe so stark an, dass diese wieder mit einer Leistungsminderung reagiert.

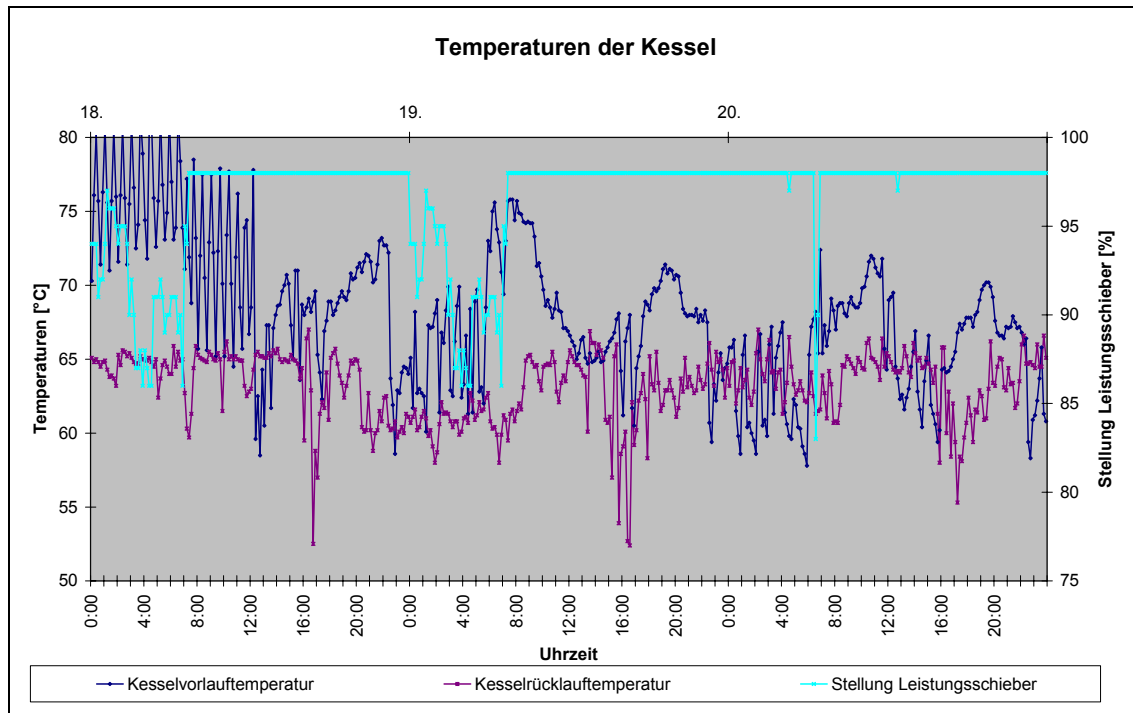


Abb.53: Kesseltemperaturen mit der WP-Modulation im Oktober 06

Die Leistungsabnahme gliedert sich in verschiedene Verbraucher:

Wärmemengenzähler der Verbraucher bis Mitte November		
Zählerbezeichnung	Gesamtvolumen	Gesamtwärme
Gesamtwärme der Kessel	62.332 m ³	8.597.000 kWh
altes Thermalbad + Saunaparadies	577.725 m ³	11.031.000 kWh
Lüftung weiße Halle	0 m ³	0 kWh
Eingang gesamt	11.923 m ³	287.590 kWh
Lüftung Eingang	5.086 m ³	10.297 kWh
Verteiler Außenbecken	38.749 m ³	1.376.026 kWh
Warmwasser Außenbecken	1.152 m ³	2.559 kWh
WW-Zirkulation Außenbecken	739 m ³	

Abb.54 Wärmeverbraucher

Die Leistungsaufnahme am Verdampfer der GMWP verteilt sich folgendermaßen:

Wärmemengenzähler der Wärmequellen bis Mitte November		
Zählerbezeichnung	Gesamtvolumen	Gesamtwärme
Abgabe der Wärmepumpe	175.696 m ³	3.070.840 kWh
Quellen für die Gasmotorwärmepumpe:		
neues Außenbecken	11.898 m ³	58.526 kWh
Weißer Halle	57.750 m ³	360.684 kWh
Kuppelhalle	21.545 m ³	91.258 kWh
Thermalabwasserbehälter	77.728 m ³	206.640 kWh
Thermalabw. Vorkühlung	18.279 m ³	171.705 kWh
Duschabwasser	7.991 m ³	34.943 kWh
Umluftkühler Schallkabine	5.201 m ³	26.786 kWh
Umluftkühler Maschinenraum	4.558 m ³	55.021 kWh
Umluftkühler Beckenumgang	8.148 m ³	16.217 kWh
<i>Summe der Quellen:</i>	<i>213.098 m³</i>	<i>1.021.780 kWh</i>

Abb.55: Wärmequellen der GMWP

Das Gesamtvolumen ist die Summe der bisher durch den Verbraucher bzw. die Quelle geflossenen Wassermenge.

Abb. 55 listet die von der GMWP genutzten Wärmequellen auf. Die Werte sind jedoch nur als Richtwerte zu betrachten, da die Zähler teilweise in der Vergangenheit ausgefallen oder ausgewechselt wurden. Ein grobes Urteil kann jedoch abgegeben werden. So ist zu erkennen, dass der Wärmebezug unterschiedlich verteilt ist und die Umluftkühler sowie die Duschabwässer dabei eine geringe Rolle spielen.

Eine genauere Analyse der Verbraucher kann nicht durchgeführt werden. Das liegt daran, dass die Aufzeichnung der Gesamtwärmemenge in Megawattstunden erfolgt. Diese große Skalierung wurde wegen der großen Wärmemenge und der von der Datenerfassung begrenzten Stellenanzahl gewählt. Bei der Datenauswertung ist mit dieser Skalierung jedoch keine Auswertung einzelner Tage möglich.

3 Beispielwirkung

3.1 Folgeprojekte mit der gleichen Technologie

Bislang konnte durch badenovaWÄRMEPLUS noch kein weiteres Folgeprojekt mit einer gasmotorisch betriebenen Wärmepumpe umgesetzt werden, jedoch wird derzeit ein Bauvorhaben mit einer Absorptionswärmepumpe in einem Thermalbad auf ihre Machbarkeit hin untersucht.

Bei einem anderen Schwimmbad ist angedacht, eine Kompressionswärmepumpe mit einer „durchgehender Welle“ im Gasmotor vorzusehen, um eine Umschaltung zwischen Generator und Kälteverdichter zu ermöglichen. Somit kann dieser Gasmotor entweder als Blockheizkraftwerk (elektrische Lastspitzen abdecken) oder als Gasmotorwärmepumpe arbeiten.

4 Öffentlichkeitsarbeit

4.1 Führungen und Vorträge

Es fanden zahlreiche Führungen für Fachinteressierte wie Planer, Betreiber öffentlicher Bäder und sonstigen Besuchergruppen. Hier drei Veranstaltungen in der Vita Classica.

- 26 Sep 2006 Tag der offenen Tür
- 11 Jul 2007 Pressekonferenz
- 07 Jun 2008 Samstagsforum



Dr. Georg Löser
Vorsitzender
ECOTrinova e.V.
Weiherweg 4B
D-79194 Gundelfingen
ecotrinova@web.de
www.ecotrinova.de

PRESSEMITTEILUNG 1. Juni 2008
Freiburg i.Br./Bad Krozingen/Gundelfingen i.Br.

Herzliche Einladung und Termin-Ankündigung
für das Samstags-Forum Regio Freiburg

Gemeinschafts-Vortragsveranstaltung in Freiburg i.Br.
mit anschließender Führung in Bad Krozingen
am Samstag 7. Juni 2008 zum aktuellen Thema
<Tragen Wärmepumpen zum Klimaschutz bei?>

Mit der Bitte um terminliche und insbesondere redaktionelle Ankündigung
sowie Berichterstattung (Interviews möglich s.u.)

Zum einem allgemeinverständlichen Vortrag mit anschließender Führung lädt das Samstags-Forum Regio Freiburg von ECOTrinova e.V. und u-asta der Universität zusammen mit der Energieagentur Regio Freiburg, dem Iesa e.V., BUND-Freiburg und Agenda21-Büro Freiburg sowie weiteren Partnern herzlich ein für

Samstag, den 7. Juni 2008 10:15 Uhr in die
Universität Freiburg (Stadtmitte) KC 1, Hörsaal 1015. Das Vortragsthema ist
Nicht jede Wärmepumpe trägt zum Klimaschutz bei.
Ergebnisse eines Feldtests zwischen Freiburg und Baden-Baden.
Referent ist Dr. Falk Auer, Lokale Agenda 21 Gruppe Energie, Lahr

Der Eintritt ist frei. Für die anschließende
Führung 12:30-13:30 Uhr in Bad Krozingen zum Thema
< Die Gasmotor-Wärmepumpe der Vita Classica in Bad Krozingen >
ist eine vorherige Anmeldung bis Freitag-Mittag, 6. Juni, erforderlich an ecotrinova@web.de
oder an den Treffpunkt Freiburg T. 0761-21687-30, Fax - 32.
Es führt Christoph Weiler, Projektleiter bei der badenovaWÄRMEPLUS GmbH

Treffpunkt und Fahrhinweise (auch per Zug) erhalten TeilnehmerInnen bei Anmeldung.
Schriftführer der Veranstaltung ist die Freiburger Umweltbürgermeisterin Gerda Stuchlik

Presse-Kontakt und Leitung des Samstags-Forums:

Dr. Georg Löser, ECOTrinova e.V., gemeinnütziger Verein
www.ecotrinova.de, ecotrinova@web.de,
p, d: georg.loeser@gmx.de, p, d: T. 0761-5950161 AB

*** Vorsitzender Dr. Georg Löser, Post: Weiherweg 4 B, 79194 Gundelfingen**

- 2 -

ECOTrinova e.V., VR Freiburg i.Br. Nr. 2551, als gemeinnützig (Umweltschutz) anerkannt vom Finanzamt Freiburg-Stadt, vormals Arbeitsgemeinschaft Freiburger Umweltinstitute (FAUST) e.V., Gründerin der Umweltakademie Freiburg.
Vorstand: Dr. Georg Löser (Vorsitz.), Dorothea Schütz (Stv. und Schriftführerin), Bruno Natusch (Stv.), Klaus-Dieter Käser, Hans-Jörg Schwarzer. Bankverbindung: Sparkasse Freiburg-Nördlicher Breisgau, Konto 307 50 54 (BLZ 680 501 01)

Abb. 56 Führung für Fachinteressierte am 07 Juni 2008, Organisation über Ecotrinova

.....

Hinweise zur PRESSEMITTEILUNG vom 1.6.2008

* Die Veranstaltung dient zur Sachinformation im Rahmen der derzeitigen Diskussion zu zum Einsatz von verschiedenartigen Wärmepumpen in Gebäuden für Heizzwecke und Warmwasser.

Dr. Auer, langjährig erfahrener und unabhängiger Experte für erneuerbare Energien, leitet den nun 2-jährigen Feldtest zu elektrisch betriebenen Wärmepumpen für Wohnhäuser am südlichen und mittleren Oberrhein für mehrere renommierte Auftraggeber.

Ingenieur Weiler betreute den Bau und den bisher recht erfolgreichen Betrieb der großen Gasmotor-Wärmepumpe des Thermalbads in Bad Krozingen.

Die Referenten stehen Ihnen auf Wunsch nach Absprache anlässlich der Veranstaltung auch für Interviews und Hintergrundinformationen zur Verfügung. Hintergrundinformationen sind auch bei ECOTrinova e.V. erhältlich.

* Das Plakat zu der Doppel-Veranstaltung am 7. Juni 2008 ist als pdf beigelegt.

Das Gesamtprogramm der Reihe 6 des Samstags-Forums mit den weiteren ideellen Mitveranstaltern finden Sie schnell auf der Startseite von www.ecotrinova.de

* Das Samstags-Forum Regio Freiburg

ist ein Gemeinschaftsprojekt von ECOTrinova e.V. mit dem u-asta der Universität/Umweltreferat in Zusammenarbeit mit Freiburger und regionalen Vereinen, Institutionen und Gruppen sowie Partnern aus der Universität. Es wendet sich mit Vorträgen und Führungen an die Öffentlichkeit, Vereine und Studierende. Pioniere und Experten tragen vor, gezeigt werden vorbildliche Objekte und Projekte. Themen sind Klimaschutz, Energie, Umwelt, Verbraucherschutz sowie die ökologische Entwicklung von Stadt und Region. Das Samstags-Forum erhielt 2007 einen Aesculap-Umweltpreis der Aesculap AG und 2006 einen CO2NTRA-Förderpreis der Klimaschutzinitiative von St-Gobain Isover G+H für gemeinnützige Projekte, und trägt sich auch durch Förderung der ECO-Stiftung und des Agenda 21-Büros der Stadt Freiburg sowie hauptsächlich durch ehrenamtliches Engagement. Es wurde Ende 2007 mit dem Logo „Echt Gut! Ehrenamt in Baden-Württemberg“ ausgezeichnet. Schirmherrin ist die Freiburger Umweltbürgermeisterin Gerda Stuchlik. Kontakt und Leitung: Dr. Georg Löser, ECOTrinova e.V., www.ecotrinova.de, ecotrinova@at-jweb.de

Abb. 57 Führung für Fachinteressierte am 07 Juni 2008, Organisation über Ecotrinova

Samstags-Forum Regio Freiburg

Samstag 7. Juni 2008

10:15 -11:45 Vortrag in der Universität, Stadtmitte, KG 1 Hörsaal 1015

Nicht jede Wärmepumpe trägt zum Klimaschutz bei

Dr. Falk Auer, Lokale Agenda 21 Gruppe Energie, Lahr

12:30-13:30 Führung in Bad Krozingen:

Gasmotor-Wärmepumpe der Vita Classica

Dipl.-Ing. Ch. Weiler, badenova AG, Freiburg

Eintritt frei. Zur Führung ist Anmeldung erforderlich s.u. Tipp: Fahrrad mit Zug ab Freiburg 12:15

Schirmherrin Umweltbürgerm. Stuchlik, Freiburg, Veranstalter: ECOTrinova e.V., u-asta Univ. Umweltref. idell mit Klimabündnis+BUND-Freibg., Energieagentur Regio FR, fesa e.V., Energie-3Regio, Bad.-Elsäss. BZs, AK Wasser BBU, Inst.f. Forstökonomie u. FS Geohydro, Physik, Bio, Forst, 13-6 Politik Univ. FR. *Anmeldung erforderlich: ecotrinova@web.de oder „Treffpunkt Freiburg“ T. 0761-21687-30, Fax -32



Abb. 58 Plakat zum Samstags-Forum Führung für Fachinteressierte am 07 Juni 2008

4.2 Flyer, Presse, Veröffentlichungen Flyer



Abb. 59 Flyer Seite -1- und -2-

| Wärmemanagement |

Mineralthermalwasser – zweifach wirksam

Die Kur und Bäder GmbH Bad Krozingen ist Betreiberin des Thermalbades Vita Classica in Bad Krozingen. 2003 wurde die Vita Classica bereits mit dem „Öko Audit“, einem in der Europäischen Gemeinschaft einheitlichen Zertifikat für kontinuierliches Umweltmanagement, ausgezeichnet.

In den Jahren 2005 und 2006 wurde die Badebeckenlandschaft durch ein neues Außenbecken sowie eine Umgestaltung der Nebenräume und der Einrichtung eines Indischen Bades mit Ayurvedazentrum und eines Türkischen Bades erweitert. Trotz der Attraktivitätssteigerung des Thermalbades sollten die Betriebskosten durch energiesparende Maßnahmen in den Bereichen Wärme und Strom um 10 Prozent gesenkt werden.

Diese Zielsetzung wird durch ein übergreifendes Wärmemanagement mit intelligentem Regelungssystem realisiert. Kernelement des optimierten Wärmeverversorgungssystems ist die neu installierte erdgasbetriebene Wärmepumpe. Bisher nicht genutzte Abwärme aus den Thermalbecken und den Thermal-Wannenbädern, Wannenbädern und Duschen kann damit zum Heizen eingesetzt werden.

Die Umsetzung der energiesparenden Maßnahmen in der Vita Classica Bad Krozingen erfolgt gemeinsam mit badenova im Rahmen einer Contracting-Partnerschaft.

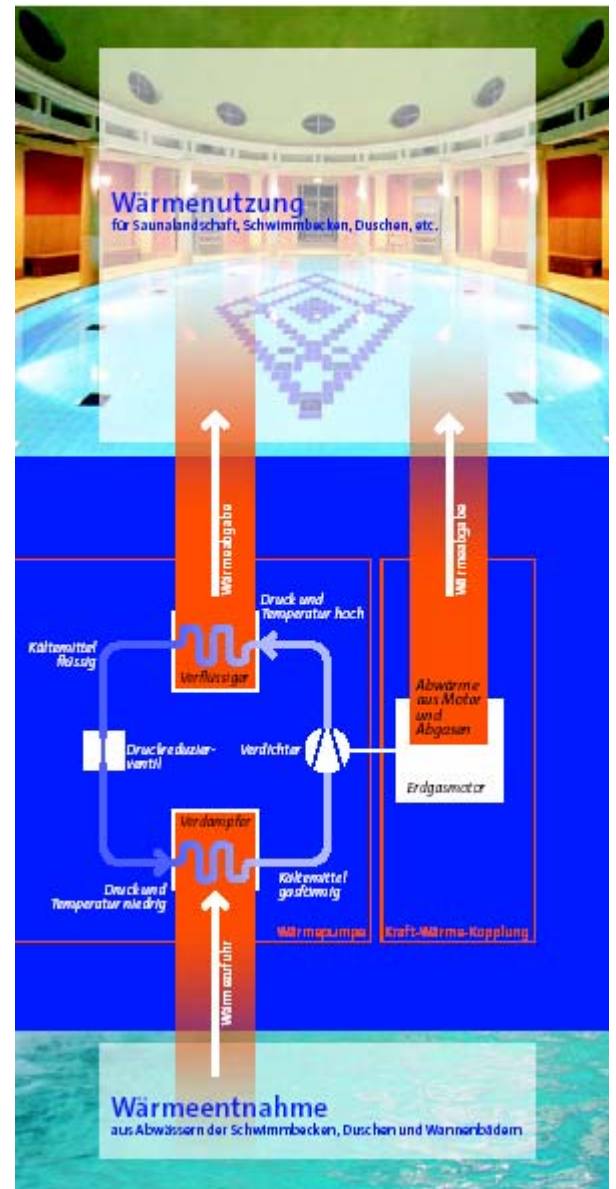
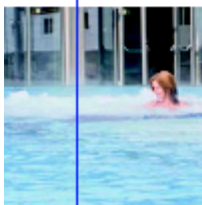


Abb. 60 Flyer Seite -3- und -4-

| Funktionsprinzip |

Von warm zu wärmer

Eine Wärmepumpe ist ein Aggregat, das Energie in Form von Wärme mit einem niedrigen Temperaturniveau aufnimmt und unter Einsatz von Antriebsenergie – über einen Verdichter – auf einem höheren, nutzbaren Temperaturniveau abgibt.

Damit eignet sich eine Wärmepumpe grundsätzlich für die Nutzung nieder-energetischer Umwelt-Wärmequellen wie z.B. Erdwärme, Außenluft oder Abwärme. Je niedriger dabei der sogenannte Temperaturhub ist, desto weniger Antriebsenergie wird benötigt und desto besser ist die Energieeffizienz. Wärmepumpen können dabei so konzipiert werden, dass sie sowohl zum Heizen als auch zum Kühlen eingesetzt werden können.

Anlagenkomponenten:**Wärmepumpe**

Firma York

> 616 kW Wärmeleistung

> 368 kW Energieeinsatz

Gas-Otto-Motor

MWB AG

> 8 Zylinder

Schraubenverdichter-

aggregat

Firma Frick

> 129 kW Antriebsleistung

> 98% Wirkungsgrad (Vollast)

Verdampfer

Firma Alfa Laval

> 300 kW Kälteleistung

Kondensator

Firma Alfa Laval

> 370 kW Wärmeleistung

Bei der Erdgas-Wärmepumpe wird in einem Ottomotor umweltschonendes Erdgas zum Betrieb des Verdichters eingesetzt. Die dabei entstehende Abwärme von Motor und Abgasen wird mittels Kraft-Wärme-Kopplung über Wärmetauscher ebenfalls dem Heizkreislauf zugeführt.

**Erdgas-Wärmepumpe im Systemvergleich**

Abb. 61 Flyer Seite -5- und -6-

Erdgas im Einsatz

Effizient und umweltfreundlich

Durch den Einsatz der erdgasbetriebenen Wärmepumpe wird die durch die bestehende Heizkesselanlage bereitstellende Wärmemenge um circa 3.000 Megawattstunden (MWh) reduziert. Die Einsparung an Primärenergie Erdgas beträgt insgesamt ca. 1.600 MWh pro Jahr, was rund 20 Prozent des bisherigen jährlichen Gesamt-Erdgasverbrauchs entspricht. Damit verbunden ist eine Reduzierung der CO₂-Emissionen von jährlich etwa 360 Tonnen.

Erdgas-Brennwertheizung

102% Nutzungsgrad
1,02 Leistungszahl
2% Abgase

Erdgas-Wärmepumpe

63% Nutzungsgrad
1,57 Leistungszahl
47% Umgebungsenergie
34% Motorwärme
66% Wärmepumpe

Eintrag: Primärenergie
Austrag: Heizenergie

■ Nutzungsgrad
■ Leistungszahl

02/1004/303553

Haben Sie Fragen?
Sprechen Sie uns an.
Wir senden Ihnen gern
weitere Informationen.

► **badenova AG & Co. KG**
Tullastraße 51
79106 Freiburg
Telefon 03180 2 93 8485
(0,06 €/Freiwahl-Anruf)

► **Kundenzentrum Altkorn**
Augustinerplatz
Freiburg

► www.badenova.de

Förderung des Projekts durch
den Innovationsfonds
Klima- und Wasserschutz von
badenova

Zur Geschichte der Wärmepumpe

- 1852: englischer Physiker William Thomson liefert mit der Beschreibung eines mechanischen Systems zur Heizung oder Kühlung von Gebäuden die Grundlage jeder modernen Wärmepumpe
- 1920/30-iger Jahre: Begriff Wärmepumpe wird geprägt, erste Wärmepumpenheizungen in den USA, GB und der Schweiz
- Nach der Energiekrise in den späten 70-er Jahren verstärktes Interesse für diese ressourcenschonende Möglichkeit der Gebäudebeheizung. Mit sinkenden Ölpreisen ließ dann aber auch rasch die Nachfrage wieder nach
- Heute sind es vor allem Aspekte des Umweltschutzes, die die Wärmepumpe als sparsame Alternative zu herkömmlichen Heizungs- und Warmwassersystemen so beliebt macht

badenova
Enough. Big. No/No

Abb. 62 Flyer Seite -7- und -8-

Energie Fakt. Der Newsletter für Kommunen und Geschäftskunden



Seit im Bad Krozinger Thermalbad Vita Classica mit Unterstützung von badenova eine erdgasbetriebene Wärmepumpe das im Bad verwendete Thermalwasser zur Wärmegewinnung nutzt, spart die Therme jährlich rund 74.000 Euro Betriebskosten.

■ Früher wurde das nach Gebrauch immer noch 35 Grad warme Thermalwasser einfach ungenutzt in die Abwässerkanäle geleitet. Heute ermöglicht moderne badenova-Technologie die Nutzung dieses Thermalwassers als Heizenergie. Und was die Betreiber besonders freut: Ursprünglich hatte man mit jährlichen Einsparungen von 50.000 Euro gerechnet, doch

diese Erwartungen wurden weit übertroffen. 74.000 Euro sind es geworden! Bereits im ersten Betriebsjahr von April 2006 auf März 2007 hat die Erdgaswärmepumpe dem Thermalwasser mehr als 1.800 MWh Wärme abgezapft und ins Heizungsnetz des Bades eingespeist. Das sind 30 Prozent mehr Wärmeertrag als ursprünglich angenommen.

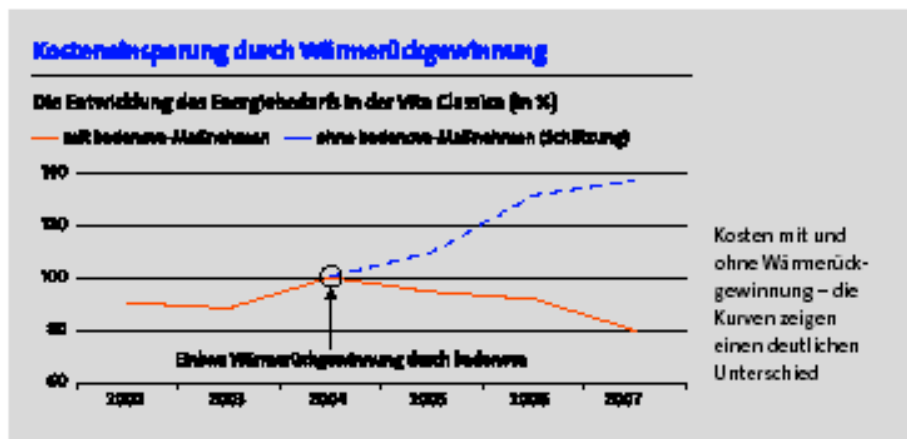


Abb. 63 Auszug aus Energie Fakt. Juli 2007

Weitere Informationen über die Pressekonferenz vom 11 Juli 2007 sind in Abschnitt 2.4 zu finden.

5 Zusammenfassung

Die vom Hersteller genannten Leistungsdaten sowie Arbeits- und Heizzahl konnten nicht ganz erreicht werden. Auf die Probleme im technischen Betrieb wurde bereits ausführlich eingegangen. Eine umfangreiche Untersuchung der Wirtschaftlichkeit war ebenso Bestandteil der mehrjährigen Untersuchung. Fazit ist, dass ein wirtschaftlicher Betrieb nur bei „annäherndem“ Volllastbetrieb (Leistungsschieber > 95%) erzielt werden kann. Dies bedingt mehrmals wöchentlich Kontrollgänge, da die Gasmotorwärmepumpe bei bestimmten Parametern (Temperaturen von Heiznetz und Wärmequellen, Wärmeabnahmeprofil des Objektes, etc.) sehr störanfällig reagiert. Dank dem sehr umfangreichen Monitoringsystem konnten sehr viele Störungen bereits im Vorfeld durch die Einwahl vom Arbeitsplatz aus verhindert oder schnellstmöglich beseitigt werden.

Die hohe Laufzeit (7.800 Betriebsstunden im ersten und 7.350 im zweiten Betriebsjahr) konnte nur durch den sehr hohen Personalaufwand (Ingenieur, Anlagenmeister und Monteure der badenovaWÄRMEPLUS) ermöglicht werden.

Die Jahresarbeitszahl lag im ersten Betriebsjahr bei 1,32 bezogen auf Ho (entspr. 1,46 bezogen auf Hu), im zweiten Betriebsjahr bei 1,26 bezogen auf Ho (entspr. 1,39 bezogen auf Hu). Die technische Verfügbarkeit lag im ersten Betriebsjahr bei 90 % im zweiten Betriebsjahr bei 84 %. Insgesamt gab es im ersten Betriebsjahr 366 Starts im zweiten 487 Starts.

Das Projekt kann nach nun fast dreijährigem Betrieb der Anlage als Innovationsvorhaben mit sehr großem Erfolg bewertet werden. Die Vereinbarungen mit dem Kunden,

- Lieferung von 3000 MWh/a Wärme durch die Gasmotorwärmepumpe
⇒ im ersten Betriebsjahr wurden 3.900 MWh/a geliefert
- Monetäre Einsparung von 50.000 Euro/a
⇒ im ersten Betriebsjahr wurden 74.000 Euro/a eingespart

wurden mehr als erfüllt!

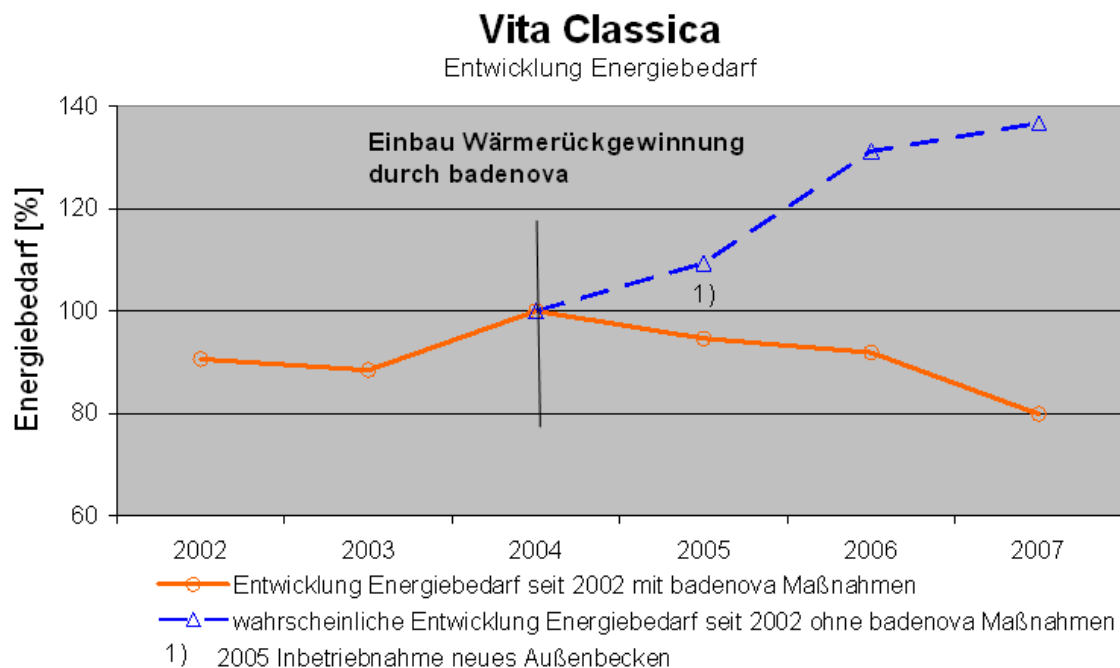


Abb. 64 Energieeinsparung durch Einspar-Contracting mit badenova