



Naturenergie Hersbruck GmbH & Co. KG

Biomasseheizkraftwerk mit GuORC

Projektabschlussbericht über eine Maßnahme,
gefördert unter dem Az: 31159 von der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

von

B.Eng Sebastian Blab

Dezember 2014

Projektkennblatt
der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

Az **31159**Referat **24/2**

Fördersumme

124.050 EUR**Antragstitel** **Biomasseheizkraftwerk mit GuORC****Stichworte** Biomasse, extern befeuerte Gasturbine, ORC, KWK, EEG

Laufzeit

24 Monate

Projektbeginn

16.06.2013

Projektende

16.06.2015

Projektphase(n)

1

Abschlussbericht

01.12.2014

Bewilligungsempfänger Naturenergie Hersbruck GmbH & Co. KG
An den Sandwellen 114

93326 Abensberg

Tel 09443-929-0

Fax 09443-929-292

Projektleitung

Herr Klaus Röhrmoser

Bearbeiter

Herr Kilian Birkeneder

Herr Sebastian Blab

Kooperationspartner ---**Zielsetzung und Anlaß des Vorhabens**

Im Biomasseheizkraftwerk der Naturenergie Hersbruck kommt zur Steigerung des elektrischen Wirkungsgrades ein neuartiger Kombiprozess zum Einsatz. Dieser besteht aus einem Biomassevergaser und einer extern beheizten Gasturbinenanlage.

Nach der Gasturbine wurde der bestehende Abgaswärmetauscher durch ORC-Vorwärmer und Verdampfer ersetzt (GuORC).

Ziel des Projekts war die Anbindung der ORC-Anlage an den Bestand, die erfolgreiche Inbetriebnahme sowie das Erreichen eines stabilen Anlagenbetriebs.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Nach Abschluss der Planungsarbeiten wurden Vorbereitungen für die ORC-Einbindung getroffen. Zunächst wird ein Fundament errichtet, Leerrohre verlegt, sowie die Fassade und Isolierung vom Bestand demontiert. Vor der Lieferung des ORC-Moduls wurde außerdem der Kühlkreislauf sowie Elektroarbeiten vorbereitet.

Fa. Dürr begann die Inbetriebnahme mit der Installation des ORC. Parallel liefen abschließende Elektroarbeiten und letzte Rohrleitungen wurden verlegt.

Fa. Gröbl hat den ORC in die bisherige Prozessautomatisierung eingearbeitet. Hierzu waren mehrere Anpassungen des bisherigen KombiPowerProzesses notwendig sowie mehrere Testläufe durchgeführt. Die darauffolgenden Wochen wurde das System mit steigender Betriebserfahrung ständig weiter optimiert.

Folgende Arbeitsschritte haben sich im Zuge ergeben:

- Optimierung der Regelungstechnik
- Lösung mechanischer Probleme (Klappe blockiert)
- Austausch einer Pumpe aufgrund zu geringer Kühlmenge für den ORC
- Verminderung von Abwärme am ORC-Eintritt
- Einplanung einer weiteren Klappe ORC-Austritt

Ergebnisse und Diskussion

Die ORC-Anlage als Erweiterung in das bestehende Biomasseheizkraftwerk Naturenergie Hersbruck ist erfolgreich in Betrieb genommen.

Während der Inbetriebnahme und der Optimierung wurde eine Vielzahl an Problemen erkannt. Die erforderlichen Optimierungsmaßnahmen wurden abgeleitet und durchgeführt. Zu grundlegenden Problemen, die den Erfolg des Gesamtprojektes gefährdet hätten, kam es Dank der gründlichen Prozessplanung nicht.

Die ORC-Turbine erreichte bisher eine maximale Leistung von 112 kW el. Um die berechnete Nominalleistung von 120 kW zu erreichen, wird zusammen mit Fa. Dürr an weiteren Optimierungsmaßnahmen gearbeitet.

Die Inbetriebnahme erfolgte Step-by-Step, und so können auch die Prozessgrößen wie Temperatur und Volumenstrom am ORC-Eintritt schrittweise erhöht bzw. optimiert werden.

Die Bedienerfreundlichkeit und das Intervall von Wartungsarbeiten werden weiter beobachtet und ggf. angepasst.

Durch Anpassungen in der Regelungstechnik ist mittlerweile ein stabiler Dauerbetrieb des ORC-Moduls sowie der kompletten KombiPower-Anlage zu garantieren. Der ORC sowie die vorgeschaltete Gasturbine produzieren zuverlässig und nahe an der Nennleistung Strom.

Insbesondere seit einer Anlagenrevision im September 2014 läuft die Gesamtanlage sehr stabil, erzielt hohe Stromerlöse und weist nahezu keine Stillstandszeiten auf.

Diese Anlagentechnik der Naturenergie Hersbruck als GuORC-Kraftwerk auf Biomassebasis ist weltweit die erste Anlage Ihrer Art.

Durch hohe Investitionen und viel Entwicklungsarbeit konnte allerdings zügig ein stabiler Anlagenbetrieb erreicht werden und Erfahrungen gesammelt werden, welche in Zukunft als Grundlage für weitere Projekte dieser Art eingesetzt werden.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

- „Bayerischer Energiepreis für Gammel“ – Artikel vom 22.10.2014 in der Mittelbayerischen Zeitung

Fazit

Durch die Inbetriebnahme der zweiten Verstromungseinheit, dem ORC, konnte der elektrische Wirkungsgrad des Biomasseheizkraftwerks der Naturenergie Hersbruck um weitere 6% erhöht werden.

Nach anfänglichen Problemen konnte durch eine Vielzahl von Optimierungen ein stabiler GuORC-Betrieb erreicht werden mit sehr geringen Ausfallzeiten.

Das ORC-Modul passt perfekt in das Gesamtkonzept der Anlage. Durch die Gegenstrom-Vergasungstechnologie erzeugt die Naturenergie Hersbruck nicht nur effizient Strom, sondern weist auch hervorragende Werte bei Emissionen und Staub vor.

Inhaltsverzeichnis

1 Zusammenfassung	5
2 Einleitung	6
3 Hauptteil	7
3.1 Terminmanagement	7
3.2 Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden	8
3.3 Durchgeführte Maßnahmen im Zuge des Förderprojekts	9
3.3.1 Inbetriebnahme	9
3.3.2 Optimierungsmaßnahmen	10
3.3.3 Grafische Darstellung Leittechnik	11
3.4 Restmittelabruf	15
4 Fazit	16

1 Zusammenfassung

Die Erweiterung des Biomasseheizkraftwerks der Naturenergie Hersbruck GmbH & Co. KG um ein ORC-Modul ist erfolgreich abgeschlossen worden. Während der Inbetriebnahme und ersten Probeläufen wurden einige Probleme erkannt. Die erforderlichen Optimierungsmaßnahmen wurden abgeleitet und durchgeführt, so dass das Förderprojekt hiermit abgeschlossen werden kann. Zu grundlegenden Problemen, die den Erfolg des Gesamtprojektes gefährdet hätten, kam es Dank der gründlichen Prozessplanung nicht.

Die ORC-Turbine erreicht bisher eine maximale Leistung von 112 kW el. Die berechnete Nominalleistung von 120 kW el ist somit zu mehr als 93% erreicht. Es wird hier allerdings davon ausgegangen, die vollen 120 kW el bei höherer Wärmeabnahme in den Wintermonaten und weiteren kleineren Optimierungen noch zu erreichen bzw. ggf. sogar zu übertreffen.

Die Dauerlauffähigkeit, Bedienerfreundlichkeit und das Intervall von Wartungsarbeiten werden weiter beobachtet und optimiert.

Das KombiPowerSystem (vgl. AZ 29616) aus Biomasse-Gegenstromvergaser, Brennkammer, indirekt befeuerter Gasturbine sowie der Nachverstromungseinheit ORC wurde im Projekt Naturenergie Hersbruck erstmals umgesetzt.

Die Erkenntnisse, Optimierungs- und Verbesserungsmaßnahmen aus dieser Anlage werden weiterhin bei der Planung und Betreuung neuer bzw. zukünftiger Anlagen helfen, Kosten zu senken und die Verfügbarkeit zu steigern.

2 Einleitung

Die Naturenergie Hersbruck GmbH und Co. KG hat sich für die erstmalige Realisierung eines Biomasseheizkraftwerks mit extern beheizter Gasturbine und nachgeschaltetem ORC-Modul entschieden.

Anlass für die ORC-Erweiterung war, das hohe Temperaturniveau nach der Gasturbine zu nutzen und durch eine zusätzliche Verstromungseinheit den elektrischen Wirkungsgrad der Gesamtanlage von bisher 16%-20% ohne ORC auf 22%-25% mit ORC zu steigern, was in Biomasseheizkraftwerken dieser Leistungsklasse einen bisher unerreicht hohen Wert darstellt. Vor der ORC-Erweiterung wurde die heiße Turbinenabluft der Gasturbine lediglich zur Wärmeerzeugung für das Fernwärmenetz genutzt.

Ziel des Projektes war die erfolgreiche Inbetriebnahme der ORC-Anlage, das Erreichen eines stabilen Anlagenbetriebes des ORC-Moduls sowie eine stetige Optimierung des ORC-Betriebs, insbesondere hinsichtlich des Gesamtanlagenbetriebs.

3 Hauptteil

3.1 Terminmanagement

Der Gesamtterminplan der ORC-Erweiterung befindet sich im Anhang.

Dieser Terminplan zeigt den Zeitraum von der Planung bis zur Inbetriebnahme des ORC. Dieser Terminplan wurde Ende Januar 2014 erstellt und diente auch den ausführenden Firmen als Grundlage für zu erledigende Arbeiten.

Nach den Planungsarbeiten wurde mit der Errichtung der neuen Bodenplatte begonnen, da das neue ORC-Modul keinen Platz im bestehenden Kesselhaus hatte. Außerdem begann die Automationsfirma Grübl bereits mit der Vorbereitung der Regelungstechnik für die Anbindung des ORC an die Bestandsanlage.

Vor der Lieferung des ORC-Moduls wurde seitens der Betreiber die Fassade des Heizhauses demontiert sowie notwendige Gerüste aufgebaut.

Anschließend begannen Mitte April mehrere Arbeiten parallel. Der ORC selbst wurde am 16.04.2014 geliefert. Daraufhin begannen zunächst Rohrleitungsarbeiten (Verrohrung Heißluft und Heizungsanbindung) sowie Elektroinstallation.

Wie der Terminplan zeigt, standen zeitgleich auch Arbeiten bzgl. des bestehenden Heizkraftwerkes an. So wurde die restliche Anlagenrevision gleich im Zuge des Anlagenstillstandes aufgrund der ORC-Anbindung erledigt.

Ende April wurden die Arbeiten abgeschlossen, so dass in den Folgewochen die Kalt- und Warminbetriebnahme erfolgen konnte.

Aufgrund einiger Probleme am ORC-Modul, welche während der Kalttests sowie eines Probelaufs aufgefallen sind, wurden seitens Fa. Dürr die notwendigen Anpassungen durchgeführt, sodass sich die reguläre Inbetriebnahme des Moduls bis Ende Mai hingezogen hat.

Von einem stabilen Dauerbetrieb der Gesamtanlage inklusive ORC-Nachverstromung kann ab Anfang Juli 2014 gesprochen werden.

Durch tägliche Beobachtungen des Prozesses konnten weitere Optimierungen kurzfristig durchgeführt werden. Außerdem wurden während der Anlagenrevision im September einige Komponenten des Heizkraftwerks ersetzt/umgebaut/verbessert, was die Anlagenverfügbarkeit und –leistung deutlich gesteigert hat.

3.2 Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Die Anlage wurde gezielt Step-by-Step in Betrieb genommen. Zunächst wurden Kalttests durchgeführt, anschließend wurde der Prozess schrittweise an die Auslegungsbedingungen herangeführt. Dieses Hochregulieren der Parameter wurde über mehrere Wochen hinweg behutsam durch Gammel Engineering, den Betreibern vor Ort sowie den ausführenden Firmen vorgenommen. Eine permanente Betriebsbetreuung, ein Entwickeln von Lösungsstrategien sowie gute Kommunikation der oben aufgezählten Parteien waren notwendig, um schnell von den Versuchsläufen in einen geregelten und sicheren Dauerbetrieb überzugehen.

3.3 Durchgeführte Maßnahmen im Zuge des Förderprojekts

3.3.1 Inbetriebnahme

Folgende Arbeiten wurden im Zuge der Inbetriebnahme des neuen ORC-Moduls durchgeführt:

- Einbindung in die bestehende Prozessleittechnik
- Kalttests
- Einregulieren der Mischluftregelung
- Stufenweises Anfahren des ORC
- Langsames Einregeln wichtiger Prozessparameter
- Abschaltversuche/Tests
- Sicherstellung der Kühlmittelversorgung

3.3.2 Optimierungsmaßnahmen

Klappe ORC-Austritt

Nach Inbetriebnahme des ORC-Moduls ist aufgefallen, dass bei reinem Gasturbinenbetrieb und ORC-Stillstand durch Rückströmung dennoch viel Wärme in den ORC-Verdampfer gelangt und dieser sich langsam aufheizt. Vorübergehend wurde dies durch Setzen einer Steckscheibe bei ORC-Stillstand durch das Betriebspersonal kompensiert. Bei der nächsten geplanten Anlagenrevision im September 2014 wurde eine Klappe mit Handrad nachgerüstet.

Pumpe ORC

Der ORC wird zusammen mit zwei weiteren Wärmetauschern (ECO1 und ECO2; sh. 3.3.3) von einer gemeinsamen Pumpe gespeist. Ist der ORC nicht in Betrieb, wird wie bisher die heiße Turbinenabluft zur Erzeugung von Heizungswasser verwendet (ECO1). Es muss also entweder der ORC oder der ECO1 mit Kaltwasser von der Pumpe versorgt werden.

In der Übergangszeit bzw. beim Startvorgang des ORC steht am ECO1 allerdings noch viel Restwärme an, sodass der ECO1 weiterhin Kühlwasser benötigt. Gleichzeitig fordert der ORC aber Kühlwasser für die Kondensatorkühlung. Die Bestands-Pumpe war für diesen Fall zu klein dimensioniert, sodass eine größere Pumpe nachgerüstet wurde.

Regelung

Bei der Optimierung der Regelung war enormer Aufwand notwendig, um in einen sicheren Dauerbetrieb der Anlage übergehen zu können.

Zunächst wurde die Mischluftregelung angepasst. Diese sorgt für eine konstante ORC-Eintrittstemperatur in den Verdampfer von 530°C. In bestimmten Betriebszuständen war eine Rückströmung heißer Luft zum Mischluftventilator zu beobachten. Durch Anpassung der Druckregelung konnte dieses Problem gelöst werden.

Bei einer ORC-Störung wurde anfangs der ORC abgestellt. Dies hatte zur Folge, dass weiterhin viel Wärme im System war und der ORC zu überhitzen drohte. Durch Anpassung der Regelung wurde im Störfall der ORC nicht mehr abgestellt, sondern fiel in den Schritt „Kühlen“ zurück, wo weiterhin die Kühlung des Moduls gewährleistet war.

Im Zuge der ORC-Erweiterung wurden auch weitere Probleme der Regelung des vorgeschalteten Gasturbinenprozesses ersichtlich. Die Erkenntnisse hierfür wurden über mehrere Wochen hinweg gesammelt, um anschließend entsprechende Änderungen an einigen Regelparametern vorzunehmen. Durch dieses Update konnte merklich der Anlagenbetrieb verbessert werden sowie die Stromproduktion erhöht werden.

ORC-Modul

Beim Startvorgang des Moduls gab es anfänglich Probleme mit einem zu hohen Schmiermitteldruck des Turbinenöls (und darauf folgenden Stopp des ORC-Prozesses), was häufig an verschmutzten Ölfiltern lag. Durch mehrmaliges Wechseln und Reinigen der Filter

konnte der ORC zumindest zügig gestartet werden. In Rücksprache mit Fa. Dürr konnte durch Anpassungen der Prozessparameter am ORC das Problem behoben bzw. verringert werden.

Wie eingangs erwähnt lag die Maximalleistung des ORC-Moduls bisher bei 112 kW. Fa. Dürr arbeitet aktuell an weiteren Maßnahmen, die berechneten 120 kW zu erreichen bzw. sogar zu überschreiten. Mögliche Maßnahmen hierfür sind:

- Anpassungen am Direktverdampfer
- Weitere Erhöhung ORC-Eintrittstemperatur
- Sicherstellen, dass ORC berechneten Volumenstrom erhält (Klappendichtheit prüfen und ggf. nachdichten)
- Erhöhung Volumenstrom ORC-Medium
- Interne Anpassungen am ORC-Modul (Turbinenschaufeln, Prozessparameter)

Weitere geplante Maßnahmen

Nach in diesem Kalenderjahr ist eine Einhausung für das Modul geplant. Zwar sind die Schallemissionen angenehm niedrig (bisher gab es keine Beschwerden von den Anwohnern), allerdings soll das Modul vor der Witterung geschützt werden (Kosten hierfür ca. 18.000,- EUR).

Um die Wärmeverluste am ORC-Eintritt noch weiter zu verringern, wird bei der nächsten Anlagerevision ggf. der Stoffkompensator durch einen höherwertigen Metallkompensator ersetzt. Metallkompensatoren können isoliert werden und weisen somit einen geringeren Wärmeverlust auf (Kosten hierfür geschätzt 3.000,- EUR)

3.3.3 Grafische Darstellung Leittechnik

Die Leittechnik verfügt über einen Remote-Zugang. Passwortgeschützt können sich die Betreiber, Gammel Engineering und Grübl Automationstechnik über den Teamviewer einwählen und ggf. Änderungen vornehmen bzw. den Anlagenbetrieb kontrollieren.

Die Visualisierung wird aktuell aufgrund der ORC-Erweiterung angepasst bzw. komplett neue Seiten erstellt.

Nachfolgende Screenshots zeigen drei verschiedene Ansichten der Leittechnik.

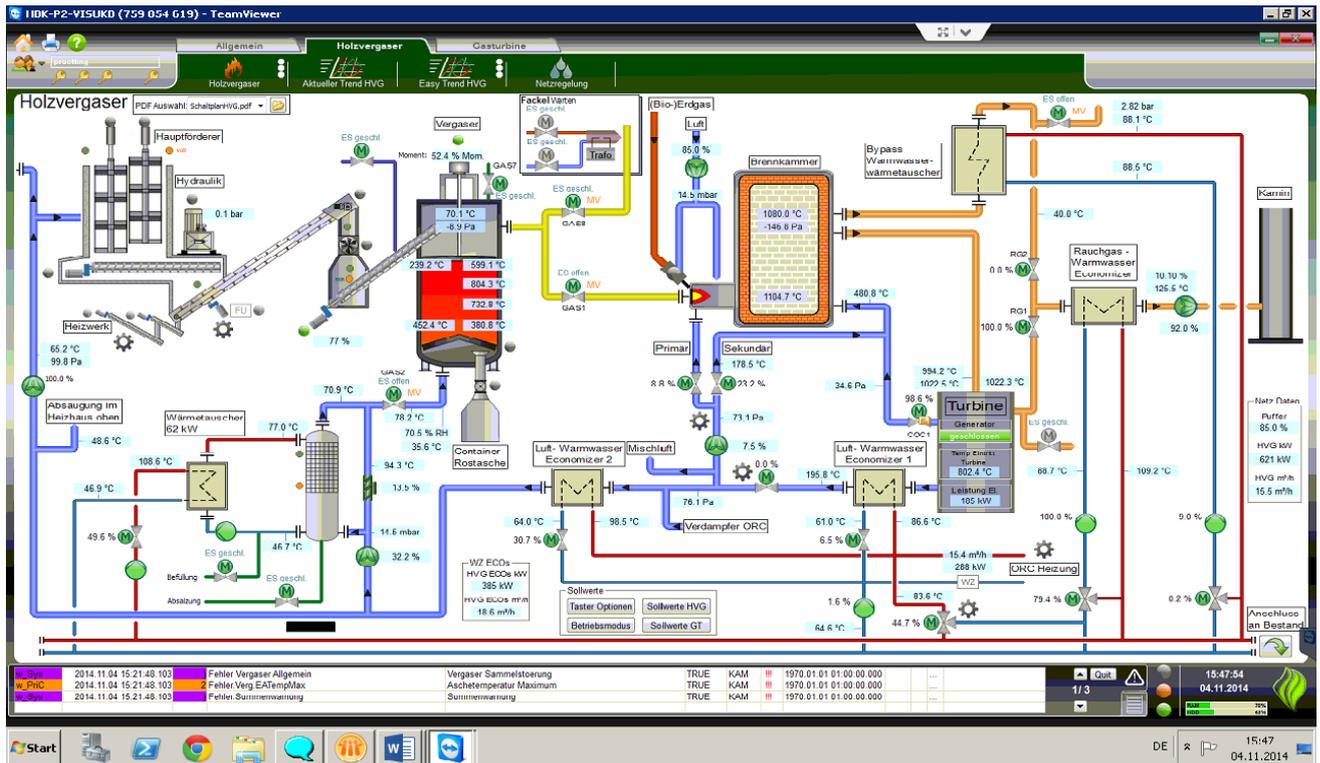


Abbildung 1: Gesamtprozess mit Fokus auf Vergaserfeuerung

Abbildung 1 zeigt größten Teils die Bestandsanlage vor der ORC-Erweiterung. Lediglich die ORC-Abluft („Verdampfer ORC“ bzw. ECO1 und ECO2) und die Mischluftanbindung sind erkenntlich. Alle wichtigen Parameter bzgl. des Vergasungsprozess sowie der Wärmegegewinnung sind auf diesem Übersichtsbild abgebildet und einstellbar.

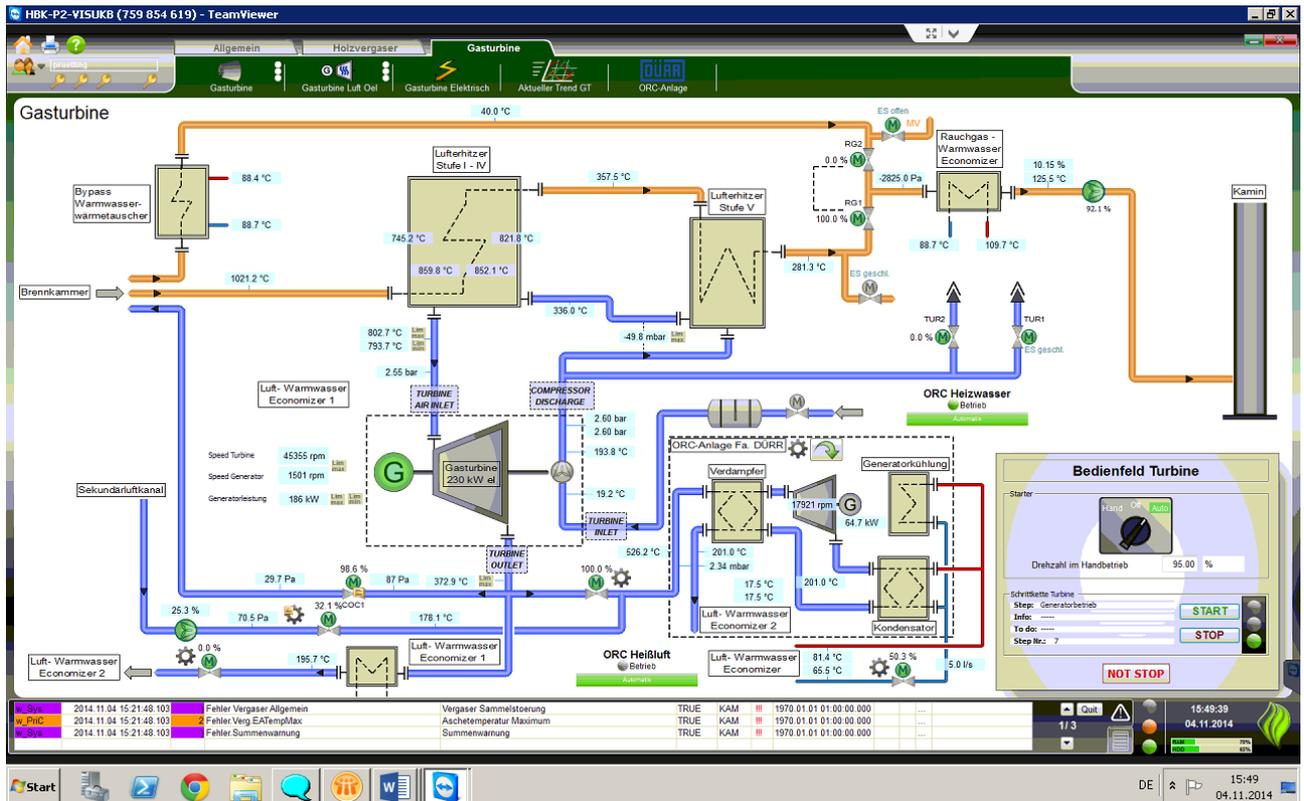


Abbildung 2: Übersicht Verschaltung Gasturbine und ORC

Diese Abbildung zeigt in Blau die Heißluftverrohrung sowie in Orange das Rauchgas. Es ist zu erkennen, dass zum Zeitpunkt der Aufnahmen die COC1-Klappe weit geöffnet ist (Rezirkulationsklappe) und aufgrund eines geringen Wärmebedarfs des Fernwärmenetzes der ORC nur einen Teil seines Auslegungsvolumenstroms erhält und somit nur auf Teillast mit ca. 65 kW el läuft.

Der Verlauf der Heißluft kann bei regulärem GuORC-Betrieb wie folgt beschrieben werden:

Der Kompressor der Gasturbine saugt Umgebungsluft an, verdichtet diese auf knapp 3 bar und ca. 190°C. Durch die fünf Stufen des Lufterhitzers wird die Luft auf ca. 800°C erhitzt. Diese Luft treibt die Gasturbine an und wird dort entspannt/abgekühlt.

Die Restwärme von bis zu 600 °C gelangt (auf 530 °C gemischt) in den ORC-Direktverdampfer, verdampft dort das Arbeitsmedium und verlässt das Modul mit ca. 220 °C. Die Restwärme wird im ECO2 genutzt um Warmwasser für das Wärmenetz zu gewinnen.

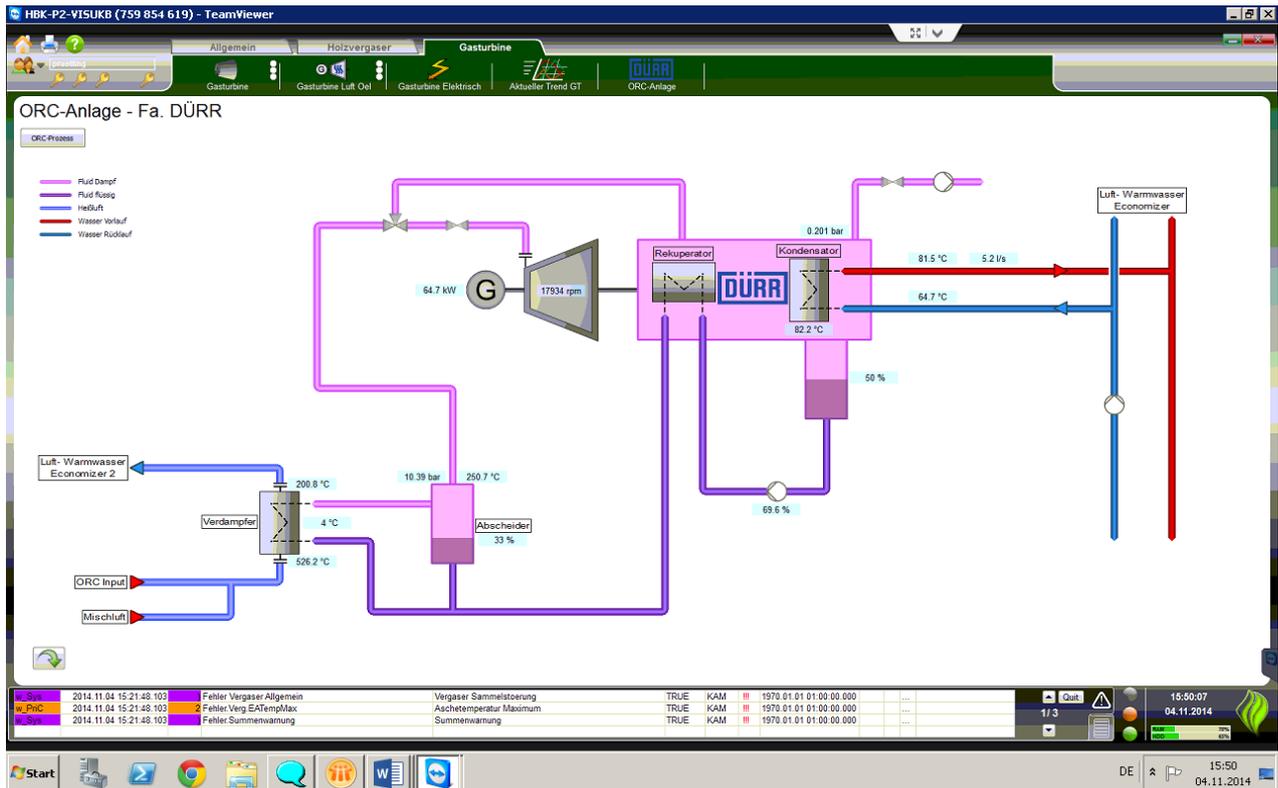


Abbildung 3: ORC Schema

Das Bild ORC Schema verdeutlicht den verfahrenstechnischen Aufbau des ORC-Prozesses und liefert außerdem alle interessanten Parameter beim ORC Betrieb auf einen Blick.

Die heiße Gasturbinenabluft (= ORC Input) wird durch die Mischluft auf eine einstellbare Temperatur geregelt (ca. 530°C). Die Heißluft verdampft im Verdampfer das ORC-Arbeitsmedium. Durch den Abscheider wird sichergestellt, dass keine Tropfen in die Turbine gelangen und möglicherweise Schäden verursachen. Das dampfförmige Arbeitsmedium wird in der Turbine entspannt und treibt direkt einen Generator an. Anschließend wird das Medium über Rekuperator und Kondensator verflüssigt, wodurch der Kreisprozess von vorne beginnen kann. Die notwendige Kühlleistung für den Kompensator liefert der Wärmenetz-Rücklauf. Somit wird die thermische Leistung des ORC-Moduls ebenfalls verwertet und ins Wärmenetz eingespeist.

3.4 Restmittelabruf

Gemäß den beiliegenden Tabellen (siehe 5.1) wurden die förderfähigen Gesamtkosten des Projekts von 460.346,- EUR erreicht bzw. überschritten.

Des Weiteren liegen der Naturenergie Hersbruck bereits eine Schlussrechnung der Firma Grübl vor, die noch nicht bezahlt wurde da noch kleinere Änderungen vollzogen werden müssen, sowie das Angebot für die ORC-Einhausung, welche noch dieses Kalenderjahr vollzogen wird.

Der Eigenanteil wurde gemäß dem Bewilligungsschreiben vom 16.06.2013 bereitgestellt.

Bisher wurden 81.718,52 EUR an Fördermitteln ausbezahlt. Die Verwendungsnachweise für die verbleibenden Mittel in Höhe von 42.281,48 EUR werden in den Tabellen dargestellt und können aus Sicht des Antragstellers freigegeben werden.

4 Fazit

Die ORC-Anlage als Erweiterung in das bestehende Biomasseheizkraftwerk Naturenergie Hersbruck ist erfolgreich in Betrieb genommen.

Während der Inbetriebnahme und der Optimierung wurde eine Vielzahl an Problemen erkannt. Die erforderlichen Optimierungsmaßnahmen wurden abgeleitet und durchgeführt. Zu grundlegenden Problemen, die den Erfolg des Gesamtprojektes gefährdet hätten, kam es Dank der gründlichen Prozessplanung nicht.

Die ORC-Turbine erreichte bisher eine maximale Leistung von 112 kW el. Zusammen mit Fa. Dürr wird an weiteren Optimierungsmaßnahmen gearbeitet, um auf die berechnete Nominalleistung von 120 kW zu kommen.

Die Bedienerfreundlichkeit und das Intervall von Wartungsarbeiten werden weiter beobachtet und ggf. angepasst.

Es wird weiterhin in enger Zusammenarbeit der Betreiber mit den verantwortlichen Planern von Gammel Engineering an einer Optimierung des Gesamtprozesses gearbeitet, um die Störanfälligkeit weiter zu senken, die Verfügbarkeit noch weiter zu steigern und den Gesamtwirkungsgrad des Systems Step-by-Step auf ein Maximum zu heben.

Insgesamt ist das Projekt ORC-Erweiterung als erfolgreich abgeschlossen zu sehen.