

## **Abschlussbericht**

### **zum Vorhaben:**

Gekoppelte Strom- und Dampferzeugung im kleinen Leistungsbereich  
mit Mikrogasturbine

Nr. des Vorhabens: 20252

UBA-Aktenzeichen: 70441 – 2/28

### **Fördernehmer/-in:**

Interquell GmbH

### **Umweltbereich**

Energie

### **Laufzeit des Vorhabens**

10.12.2012 bis 31.12.2014

### **Autor**

Melinda Weigt, Bernhard Negele

Gefördert aus Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt,  
Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB)

### **Datum der Erstellung**

10.04.2015



## Berichts-Kennblatt

<b>Aktenzeichen:</b> UBA 70441-2/28	<b>Vorhaben-Nr.:</b> 20252
<b>Titel des Vorhabens:</b> Gekoppelte Strom- und Dampferzeugung im kleinen Leistungsbereich mit Mikrogasturbine	
<b>Autor(en); Name(n), Vorname(n)</b> Weigt, Melinda (eta Energieberatung GbR) Negele, Bernhard (eta Energieberatung GbR)	<b>Vorhabensbeginn:</b> 10.12.2012
	<b>Vorhabensende (Abschlussdatum):</b> 31.12.2014
<b>Fördernehmer/ -in (Name, Anschrift)</b> Interquell GmbH Südliche Hauptstraße 38 86517 Wehringen	<b>Veröffentlichungsdatum:</b> 10.04.2015
	<b>Seitenzahl:</b> Bericht mit 47 Seiten plus Anhang
<b>Gefördert</b> aus Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB)	
<b>Kurzfassung/Summary</b> Um die Kapazitäten bei der Dampferzeugung zu steigern und gleichzeitig Energie einzusparen, hat das Unternehmen ein innovatives, ressourcenschonendes und hocheffizientes Energiekonzept umgesetzt. Dabei wird ein Teil des Stromverbrauchs durch Kraft-Wärme-Kopplung gedeckt. Die bestehende Kesselanlage wurde durch einen mit Erdgas befeuerten Dampfkessel in Kombination mit einer vorgeschalteten Mikrogasturbine ersetzt. Die Mikrogasturbine setzt die eingebrachte Brennstoffenergie zu 33 % in elektrische Energie um. Die restlichen 67 % werden bis auf einen geringen Abstrahlungs- und Kühlverlust in Form von thermischer Energie direkt als heiße Abluft einem Gasturbinen-Abgasbrenner zugeführt. Mit der Anlage wurden im ersten Betriebsjahr 1.180 MWh elektrische Energie und 2.595 MWh thermische Energie erzeugt. Durch die moderne Feuerung, Kessel und Economiser sowie durch die Wärmerückgewinnung mithilfe von Brüdenwärmetauschern zur Nutzung in der Gebäudeheizung (Heizwasser) konnten etwa 1.900 MWh an Erdgas (heizwertbezogen) eingespart werden. Insgesamt wurden im ersten Betriebsjahr im Vergleich zur Altanlage knapp 2.100 MWh Primärenergie eingespart und somit 464 Tonnen CO <sub>2</sub> -Emissionen vermieden.	
<b>Schlagwörter</b> Energieeffizienz, Dampferzeugung, Kraft-Wärme-Kopplung, Mikrogasturbine, Verbrennungsluftvorwärmung	

<b>Anzahl der gelieferten Berichte</b> Papierform: Elektronischer Form:	<b>Sonstige Medien:</b> Veröffentlichung im Internet geplant auf der Homepage: <a href="http://www.energieberatung.de">www.energieberatung.de</a> <a href="http://www.interquell.de">www.interquell.de</a> , <a href="http://www.energieatlas.bayern.de">www.energieatlas.bayern.de</a> , <a href="http://www.microturbine-sued.de">http://www.microturbine-sued.de</a>
---	--

## Kurzfassung

***Das innovative Vorhaben stellt einen optimierten Lösungsansatz zur intelligenten Strom- und Dampferzeugung mit einer Mikrogasturbine im kleinen Leistungsbereich dar.***

In vielen Industrie- und Gewerbebetrieben spielt die Dampferzeugung eine zentrale Rolle. Sie ist neben elektrischer Energie, Wärme und Druckluft eine entscheidende Größe für die Wirtschaftlichkeit und Produktionssicherheit des Herstellungsprozesses. Durch steigende Energiepreise wird es für Unternehmen immer wichtiger sich mit Energieeinspar- und Energieeffizienzmaßnahmen zu beschäftigen. Gerade bei Unternehmen, die bei ihren Produktionsprozessen nicht auf Dampf verzichten können, werden energiesparende und somit kostensenkende Lösungen erforderlich.

Einen zukunftsfähigen Lösungsansatz stellt die Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) dar, die bei der Verstromung von beispielsweise Erdgas, zusätzlich thermische Energie produziert. Derzeit sind jedoch die Einsatzmöglichkeiten einer Kraft-Wärme-Kopplung in mittelständischen Betrieben aufgrund der anspruchsvollen Randbedingungen in Kombination mit einem wirtschaftlichen Dauerbetrieb sehr begrenzt.

Das bei der Firma Interquell realisierte Projekt beschreibt eine innovative und hocheffiziente Variante, mit der die Kapazitäten der Dampferzeugungsanlage erhöht, die Energieeffizienz gesteigert und ein Teil des Strombedarfs durch Kraft-Wärme-Kopplung bereit gestellt wird. In Zukunft soll darüber hinaus die Abgas-Abwärme des Dampfkessels mit Hilfe eines Brennwerttauschers zur Wärmebereitstellung für Lüftungsanlagen genutzt werden.

Die wesentlichen Komponenten der hier beschriebenen Lösung zur Dampferzeugung bestehen aus einer Mikrogasturbine, angepasster Steuer- und Regeltechnik, einem Gasturbinen-Abgasbrenner sowie einem Brennwerttauscher. Die Systemkomponenten sind exakt aufeinander abgestimmt und gewährleisten dadurch ein perfektes Zusammenspiel.

Die Mikrogasturbine setzt etwa 33 Prozent des Brennstoffes in elektrische Energie und die restlichen 67 Prozent in thermische Energie um, wobei diese, bis auf einen geringen Anteil an Abstrahlverlusten, direkt als heiße Abluft einem Gasturbinen-Abgasbrenner zugeführt wird. Das Abgas einer Mikrogasturbine mit 200 kW elektrischer Nennleistung reicht mit einem Sauerstoffgehalt von bis zu 18 % aus, um einen Erdgasbrenner mit mehr

als 4 MW Feuerungswärmeleistung ohne weitere Zuführung von Verbrennungsluft mit Sauerstoff zu versorgen.

Der innovative Charakter dieses Vorhabens besteht darin, die Komponenten konventioneller Dampfkessel, Mikrogasturbine, Spezialbrenner und Brennwert-Wärmetauscher regelungstechnisch so zu kombinieren, dass in jedem Lastfall eine optimale Energieausnutzung gewährleistet ist. In Bezug auf die Mikrogasturbine gibt es kaum einen vergleichbaren Anwendungsfall, bei dem die Kraft-Wärme-Kopplungseinheit einen derart hohen Nutzungsgrad von über 97 Prozent erreichen kann. Bei Produktionsstillstand gewährleistet die Kraft-Wärme-Kopplungseinheit die Warmhaltung des Dampfkessels, die bei konventionellem Betrieb über den Gasbrenner bereitgestellt werden müsste.

Die Gesamtinvestition für das Vorhaben liegt bei 3,05 Mio. €. Die Mehrkosten für diese innovative und hocheffiziente Variante liegen bei rund 1,16 Mio. €. Durch den Zuschuss aus dem Umweltinnovationsprogramm in Höhe von 339.600 € sind von der Fa. Interquell noch 2,71 Mio. € zu investieren. Die Förderung verringert die erwartete Amortisationszeit von ursprünglich 10 Jahren auf 7 Jahre.

Neben ökonomischen sprechen auch ökologische Vorteile für das Konzept: Mit der Anlage wurden im ersten Betriebsjahr 1.180 MWh elektrische Energie und 2.595 MWh thermische Energie erzeugt.

Durch die moderne Feuerung, Kessel und Economiser sowie durch die Wärmerückgewinnung mithilfe von Brüdenwärmetauschern zur Nutzung in der Gebäudeheizung (Heizwasser) konnten etwa 1.900 MWh an Erdgas (heizwertbezogen) eingespart werden.

Insgesamt wurden im ersten Betriebsjahr im Vergleich zur Altanlage knapp 2.100 MWh Primärenergie eingespart und somit 464 Tonnen CO<sub>2</sub>-Emissionen vermieden.



## Summary

*This innovative project is an optimized approach to the intelligent production of power and steam through a micro gas turbine in the low load range.*

Steam generation plays a central role in many industrial and commercial operations. Apart from power, heat and pressurized air, steam generation is an essential parameter in the economic efficiency and production reliability of the production process. Rising energy costs make it increasingly important for companies to deal with energy saving and efficiency measures. Particularly companies whose production process necessitates steam are in need of energy and cost saving solutions.

A sustainable solution approach is CHP, where auxiliary thermal energy is produced during the electrification of e.g. natural gas. Yet currently, the application options of CHP in medium-sized companies are very limited, due to the sophisticated ancillary conditions combined with an economic nonstop operation.

The project which was implemented at the company Interquell describes an innovative and highly efficient alternative which heightens the steam generation unit's capacity, increases the energy efficiency, and covers part of the power usage through CHP. In the future, the steam boiler's exhaust heat rejection shall be used to supply the ventilating system with heat through a heat exchanger.

The essential components of the described steam generation solution are: micro gas turbine, customized control technology, a gas turbine flue gas burner as well as a heat exchanger. The components are exactly synchronized to guarantee perfect interaction.

The micro gas turbine converts appx. 33 % of the fuel into power, the remaining 67 % are converted into thermal energy which is – apart from minimal radiation losses – directly fed into a gas turbine flue gas burner in the form of hot exhaust air. The flue gas of a micro gas turbine with 200 kW nominal capacity, containing up to 18 % oxygen, is sufficient for the oxygen supply of a natural gas burner of over 4 mW rated thermal input, without any extra feed of combustion air.

This enterprise is innovative due to the fact that a conventional boiler, micro gas turbine, a customized burner and a calorific value exchanger are combined and the control technology is optimized to guarantee maximum energy efficiency in all load ranges. With regard to the micro gas turbine, there are hardly any comparable cases where CHP achieves such



high performance ratios of over 97 percent. During production stops the CHP unit guarantees that the boiler is kept warm, for which conventional operations require a gas burner.

The total invest for the project is € 3.05 million. The additional costs for this innovative and highly efficient alternative are around € 1.16 million. Due to a subsidy of € 339.600 by the Environmental Innovation Programme, Interquell must invest € 2.71 million. The subsidy reduces the expected amortization period from initially 10 to 7 years.

Economic as well as ecological benefits speak in favor of this project: in the first year of operation this plant generated 1,180 MWh power and 2,595 MWh thermal energy.

It saved appx. 1,900 MWh in natural gas (referring to the heating value) through its state-of-the-art combustion, boiler and economizer as well as by the heat recovery via exhaust heat exchangers, which was then used in the building heating (heating-circuit water).

Overall, compared to the former plant, in the first year of operation close to 2,100 MWh primary energy could be saved, meaning 464 tons of CO<sub>2</sub> emissions were avoided.



# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1 Kurzbeschreibung des Unternehmens.....	1
1.2 Ausgangssituation (im Unternehmen, in der Branche bezogen auf das Vorhaben - Verfahrensablauf/Anlagentechnik, Einsatzstoffe, Umweltauswirkungen, ggf. Problembeschreibung).....	3
<b>2. Vorhabensumsetzung</b> .....	<b>4</b>
2.1 Ziel des Vorhabens.....	4
2.2 Projektstandort.....	4
2.3 Darstellung der technischen Lösung (Auslegung und Leistungsdaten).....	5
2.3.1 Technische Beschreibung.....	5
2.3.2 Leistungsdaten der Anlage.....	9
2.3.3 Hocheffizienzkriterium.....	10
2.4 Darstellung der Umsetzung des Vorhabens (Darstellung der einzelnen Arbeitsschritte von der Planungsphase bis zur Inbetriebnahme, Darstellung evtl. Hemmnisse).....	11
2.4.1 Projektschritte und Zeitplan.....	11
2.4.2 Chronologischer Projektverlauf.....	12
2.4.3 Hemmnisse.....	15
2.5 Behördliche Anforderungen (Genehmigungen).....	16
2.6 Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten.....	16
<b>3. Ergebnisse</b> .....	<b>18</b>
3.1 Bewertung der Vorhabensdurchführung.....	18
3.2 Stoff- und Energiebilanz (Dampf- und Stromerzeugung).....	19
3.3 Umweltbilanz.....	24
3.4 Konzeption, Durchführung und Ergebnisse des Messprogramms.....	27
3.4.1 Gasverbrauch und Stromerzeugung.....	27
3.4.2 Kessel – feuerungstechnischer Nutzungsgrad.....	29
3.4.3 Funktion Economiser.....	30
3.4.4 WRG & Abwärmenutzung durch Brüdenwärmetauscher.....	32
3.4.5 Abgas-Brennwerttauscher.....	33
3.5 Wirtschaftlichkeitsanalyse.....	34

---

3.6 Technischer Vergleich zu konventionellem Verfahren .....	40
<b>4. Empfehlungen .....</b>	<b>43</b>
4.1 Erfahrungen aus der Praxiseinführung .....	43
4.2 Neuerungen in der Umsetzung (im Vergleich zum Planungsstand).....	44
4.3 Modellcharakter (Verbreitung und weitere Anwendung des Verfahrens/ Anlage/ Produkt) .....	45
4.4 Zusammenfassung .....	47
<b>5. Anhang/Anlagen .....</b>	<b>48</b>
5.1 Abkürzungsverzeichnis .....	48
5.2 KWK-Gutachten .....	48
5.3 Verfahrensbeschreibung Fa. Saacke.....	48
5.4 Fließbild KWK-Anlage Fa. Saacke.....	48



# 1. Einleitung

## 1.1 Kurzbeschreibung des Unternehmens

Die Wurzeln des bayerischen Familienunternehmens Interquell reichen bis ins Jahr 1765 zurück. Im 18. Jahrhundert begann alles mit einer Getreidemühle an der Singold in Wehringen. Ab 1955 wurde mit der Kartoffelflockenproduktion begonnen. 1968 wurde am Standort Wehringen die Marke *Happy Dog* eingeführt, die mittlerweile nicht nur in Deutschland, sondern auch in Europa, den größten Teilen Osteuropas sowie in einzelnen Ländern in Asien, Afrika und Südamerika erhältlich ist. Ebenfalls am Standort Wehringen wurde 2002 die Marke *Happy Cat* eingeführt. In den Jahren 2004 bis 2006 wurde die Firma auf über 1.500 m<sup>2</sup> Produktions- und Lagerfläche vergrößert.

Im zwei Kilometer entfernten Standort Großaitingen wurde 1969 ein Lebensmittelwerk zur Herstellung von Backpulver und Babynahrung in Betrieb genommen. Ein Jahr darauf begann man auf drei Walzentrocknern die Quellmehlproduktion. Die Produktionsanlage wurde im Jahr 1974 um einen Extruder zur Quellmehlherstellung erweitert. Ein zweiter Produktionsbereich zur Herstellung von Cerealien entstand 1978 mit einer variabel gestalteten Mikronizeranlage. Eine Puffreisproduktion wurde von 1978 bis 1982 betrieben. Mit einem Zweiwellen-Extruder erweiterte man 1985 das Produktionssortiment mit Formextrudaten. Als weiteres Standbein der Firma wurde 1995 eine Entbitterungsanlage mit modernster Abpackstraße für Endverbraucher-Kleinpackungen aufgebaut. 2001 wurde der Erweiterungsbau für die prozessgesteuerte Walzentrocknung fertiggestellt.



**Abbildung 1-1:** *Firma Interquell Großaitingen*

Die Firma Interquell in Großaitingen ist ein moderner und leistungsfähiger Betrieb, der innovative Produkte für die Lebensmittelindustrie herstellt. Einer der Schwerpunkte heute liegt auf der Produktion von Quellmehlen und Instant-Cerealienflocken. Neben mehreren Walzentrockner und Extrudern werden ein Mikronizer und eine Entbitterungstrommel für die Stabilisierung und den thermischen Aufschluss von Getreideprodukten verwendet. Im Werk Großaitingen werden derzeit pro Jahr 19.000 Tonnen Produkt mit 45 Mitarbeitern hergestellt.

Höchste hygienische Standards gewährleisten die bakteriologische Sicherheit für die Produktion von Babynahrung. Strikte Produktionslinientrennung vom Rohstoffsilo bis zur Abpackung und die Verwendung von CIP<sup>1</sup>-Reinigungsanlagen ermöglichen die Herstellung von glutenfreien Produkten. Eine LIMS<sup>2</sup>-protokollierte Rückverfolgbarkeit ermöglicht extrem schnelle Darstellung der Warenflüsse.

---

<sup>1</sup> CIP = Cleaning in Place

<sup>2</sup> LIMS = Labor-Informations- und Management-System



## 1.2 Ausgangssituation (im Unternehmen, in der Branche bezogen auf das Vorhaben - Verfahrensablauf/Anlagentechnik, Einsatzstoffe, Umweltauswirkungen, ggf. Problembeschreibung)

Die Dampferzeugung ist in vielen Industrie- und Gewerbeunternehmen zentraler Bestandteil der technischen Gebäudeausrüstung. Steigende Energiepreise erfordern zukunftsfähige Lösungen, die durch Optimierung der Wirkungsgrade und intelligente Regelungstechnik eine optimale Energieeffizienz ermöglichen.

Neben elektrische Energie, Wärme und Druckluft ist Dampf eine der wichtigsten Energieformen in vielen industriellen Produktionen. Sei es zu Heizzwecken, Reinigen, Trocknen, Luftbefeuchtung oder Sterilisation wie z. B. in Wäschereien, Großküchen, Brauereien, Käsereien, Fleischereien und anderen Nahrungsmittelunternehmen, Krankenhäusern oder der Industrie. Für diese Einsatzbereiche ist der Energieverbrauch für die Dampferzeugung eine Schlüsselgröße für die Gesamtwirtschaftlichkeit. Speziell für die anspruchsvollen Randbedingungen in Kombination mit einem wirtschaftlichen Dauerbetrieb in mittelständischen Unternehmen sind derzeit die Einsatzmöglichkeiten von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen begrenzt.

Die Firma Interquell in Großaitingen nutzte zur Dampferzeugung bislang einen fast 40 Jahre alten Loos Sattedampferzeuger zur Bereitstellung von maximal 5 t/h bei 9,5 bar<sub>abs</sub> und einen weiteren Reserve-Dampfkessel mit 2 t/h. Davon wurden ca. 4 t/h zur Beheizung von Trocknungsanlagen (Walzentrockner, Taumel-, Karussell- und Bandtrockner) benötigt und ca. 1 t/h zur direkten Lebensmittelbereitung (Extruder, Kocher). Die Anforderungen an die Dampferzeugung sind Kontinuität und eine hohe Grundlast. Der Jahreswärmebedarf liegt bei knapp 23 GWh<sub>th</sub>, der mit einem Brennstoffbedarf von fast 29 GWh mit den alten Kesseln bereitgestellt wurde.

Geplant war, die bestehende Kesselanlage der Firma Interquell durch einen Erdgas befeuerten Dampfkessel in Kombination mit einer Mikrogasturbine in einem neuen Heizwerk zu ersetzen. Darüber hinaus war ein Brennwärmtauscher zur Wärmebereitstellung für die Erweiterung der Lüftungsanlagen für das Produktions- und Silogebäude vorgesehen.

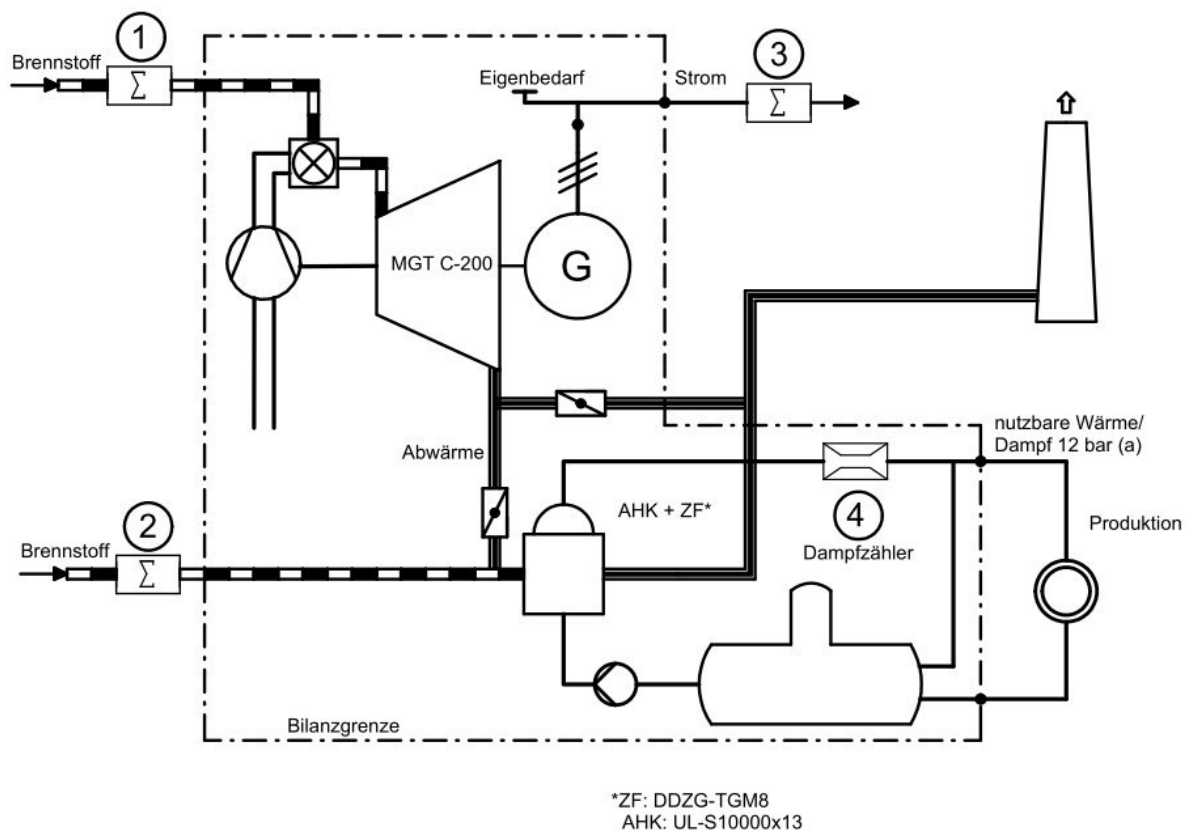


An dem in Abbildung 2-1 dargestellten Firmenstandort befinden sich neben der Firma Interquell noch eine Mälzerei, eine Gaststätte, eine Spedition und eine Firma für Tierernährung.

## 2.3 Darstellung der technischen Lösung (Auslegung und Leistungsdaten)

### 2.3.1 Technische Beschreibung

Die innovative und hocheffiziente Variante besteht aus einer Mikrogasturbine, angepasster Steuer- und Regeltechnik, dem Gasturbinen-Abgasbrenner in Verbindung mit einem darauf abgestimmten Dampfkessel sowie zusätzlich einem Brennwerttauscher, der zur weitgehend vollständigen Nutzung der Abgaswärme angedacht ist. Die Systemkomponenten sind exakt aufeinander abgestimmt und gewährleisten dadurch ein perfektes Zusammenspiel.



**Abbildung 2-2:** *Anlagenschema Mikrogasturbine mit Abhitzeessel (Dampfkessel) und Zusatzfeuerung (GTA-Brenner)*


**Tabelle 2-1:** *Tabelle Messstellen*

Nr.	Messstellen	Messverfahren / Hersteller Bezeichnung	Größe/Typ	Gerätenummer
1	Gasbezug MGT	Drehkolbengaszähler Elster-Instromet Zustands-Mengenumberter mit Druck-/Temp.aufnehmer	G 16 / DP 16 / DN 50 Elster-Instromet EK 280	77001094 4462811
2	Gasbezug Kessel	Drehkolbengaszähler Elster-Instromet Zustands-Mengenumberter mit Druck-/Temp.aufnehmer	G 650 / DP 16 / DN 150 Elster-Instromet EK 280	20532344 4462810
3	Stromeinspeisung KWK	Elektronischer Drehstromzähler Elster Fernauslesung Dr. Neuhaus Telekommunikation	A1500 ZDUE-GPRS-PLUS-VI	480506 30002009
4	Dampfzähler (Wärmeerzeugung)	Siemens Sitrans FX 300	DN 150	V-Nummer: 7ME2

Die verwendete Mikrogasturbine setzt die eingebrachte Brennstoffenergie zu rund 33 Prozent in elektrische Energie um. Die restlichen 67 Prozent stehen neben einem geringen Abstrahlungs- und Kühlverlust (Steuerungselektronik) in Form von thermischer Energie im Abgasstrom mit einer Temperatur von circa 280 Grad Celsius und einem Sauerstoffgehalt von 18 Prozent zur Verfügung. Mikrogasturbinen sind vielseitig in Voll- und Teillast einsetzbar, da sie auch im Teillastbetrieb nur geringe elektrische Wirkungsgradverluste aufweisen. Dies liegt daran, dass zur Synchronisation mit dem Stromnetz nicht wie bei Motoren üblich mechanische Bauteile benötigt werden. Die sich schnell drehende Mikrogasturbine erzeugt einen hochfrequenten Wechselstrom, der erst gleichgerichtet und danach über einen Wechselrichter ins Stromnetz eingespeist wird. Bereits Sekunden nach der Zündung in der Brennkammer beginnt die Anlage mit der Stromeinspeisung.

Die bei der Stromerzeugung anfallende Wärme oder thermische Energie wird direkt als heiße Abluft einem Gasturbinen-Abgasbrenner zugeführt der speziell für die Abgase von Gasturbinen ausgelegt und in der Lage ist, die komplette Turbinenabgasmenge von der Klein- bis zur Volllast aufzunehmen und energetisch zu nutzen. Dabei wird der Sauerstoffgehalt der Turbinenabgase effizient genutzt, um den Gesamtwirkungsgrad der Anlage zu maximieren. Die in der Mikrogasturbinen-KWK-Anlage erzeugte thermische Energie wird durch die nachgeschaltete Feuerung in einem Erdgasbrenner optimal genutzt.

Die Dampferzeugung ist mit einem Gasturbinenabgas-Erdgas-Brenner (GTA) ausgerüstet und liefert 10 t/h Dampf bei 12 bar<sub>abs</sub>. Die hohe Druckstufe soll die Erzeugung von lebensmittelechtem Dampf in Sterildampf- bzw. Lebensmittelqualität über einen Dampf/Dampferzeuger in der Produktion ermöglichen. Der erzeugte Dampf wird über eine Wärmetrasse zur bestehenden Dampfverteilung transportiert wobei das anfallende Kondensat zur Kesselanlage zurückgeführt wird. Das Kesselspeisewasser wird über einen Economiser vom Abgas vorgewärmt.





Die Turbinenabgase der Mikrogasturbine werden als Sauerstoffträger am Turbinenabgasbrenner genutzt. Bis zu einer Feuerungsleistung von ca. 3 MW wird der Sauerstoffbedarf ausschließlich mit dem Turbinenabgas und Kernluft (Frischlufte; Lambda ca. 0,1) abgedeckt. Der Brenner feuert somit nur mit den Turbinenabgasen und nutzt deren Restsauerstoff und Wärme optimal aus. Bei größerer Leistung wird dann Frischluft beigemischt.

Das System besitzt ein Verbrennungsluftgebläse, um die Feuerungsleistungen bis 7 MW zu ermöglichen. Nach dem Economiser (Speisewasservorwärmung) wurde ein Saugzug installiert, der einen entsprechenden Unterdruck erzeugt.

Die Feuerungsanlage kennt drei Betriebsarten:

- Hauptbetrieb: GTA-Betrieb (max. 7,0 MW Feuerungsleistung )
- Notbetrieb HEL: Frischluftbetrieb mit Leichtöl (max. 7,0 MW Feuerungsleistung)
- Abhitzebetrieb: GTA-Abgase ohne Zusatzfeuer zur Warmhaltung durch Kessel

Das Brennstoff-Luft-Verhältnis der Gasturbinen-Abgas-Feuerungsanlage wird über eine elektronische Verbundsteuerung realisiert.

Die Abgase der Mikrogasturbine werden immer zu 100 % über den neuen Stahlschornstein abgeleitet:

- Direkt in den Kamin
- Über den GTA-Brenner, Kessel, Abgaswärmetauscher in den Kamin
- Bei Erfordernis der Brennereinstellung teilweise über beide Abgaswege (nur wenn dies bei der Brennereinstellung unbedingt notwendig wird; z.B. bei Zünden des Brenners).

In der GTA-Abgasleitung zwischen Turbine und Kamin gibt es vor dem direkten Kamineintritt eine Regelklappe mit EP-Antrieb, welche den GTA-Druck nach Turbine zwischen 0...2 mbar regelt. Bei Überdruck werden die Turbinenabgase somit zum Schornstein abgeleitet. Die Regelklappe öffnet stromlos; somit werden bei Stromausfall die restlichen Abgase direkt zum Kamin abgeleitet. Die GTA-Zuleitung zum Brenner, vor Gebläse, enthält eine pneumatisch angetriebene Regelklappe, welche stromlos geschlossen wird. Bei Stromausfall können keine Turbinenabgase zum Brenner gelangen.

Zukünftig soll auch die thermische Energie der Abgase des Dampfkessels genutzt werden. Die Abgase des Dampfkessels können nach dem Speisewasser-Economiser zur weiteren Wärmenutzung auf niedrigem Temperaturniveau genutzt werden, indem durch einen Edelstahl-Wärmetauscher das Abgas bis unter den Taupunkt abgekühlt wird. Zur Wär-

mebereitstellung für die Erweiterung der Lüftungsanlagen für das Produktions- und Silobebäude wurde daher ein Brennwerttauscher installiert. Die Erweiterung der Lüftungsanlage ist in Planung.

Durch die Brennwertnutzung lässt sich im Vergleich zu konventionellen Systemen mit üblichen Abgaswärmetauschern die Brennstoffmenge und der Schadstoffausstoß deutlich reduzieren. Die Brennwertnutzung reduziert somit die CO<sub>2</sub>-Emissionen und leistet dadurch einen zusätzlichen Beitrag zum Klimaschutz.

Tabelle 2-2 zeigt eine Übersicht der installierten Hauptkomponenten:

**Tabelle 2-2:** *Tabelle der Hauptkomponenten*

Bez.	Hersteller	Typ/Nr	Bj.	Nennleistung	Bemerkung
MGT	Capstone	C-200, Nr. 7491	2013	200 kW <sub>el</sub> 395 kW <sub>th</sub>	Hochdruckausführung HD
AHK	Bosch Industriekessel GmbH	UL-S 10000 x 13, Herstell-Nr.:114081	2013	6.846 kW <sub>th</sub>	Dampfkessel 12 bar(a)
ECO	Bosch Industriekessel GmbH	ECO1 1750/10/10 , Nr.: 1105991	2013	409 kW <sub>th</sub>	Economizer
ZF	SAACKE GmbH	DDZG-TGM 8, Nr.: 114081	2013	6.900 kW <sub>th</sub>	Gasturbinenabgasbrenner
SPW	Gestra	Behälter SW 08 (8m <sup>3</sup> ); Entgaserdom NDR 650 (8,1 – 11,0 m <sup>3</sup> /h)	2013	138 (*) kW <sub>th</sub>	Speisewasserbehälter m. Entgaserdom

\* P<sub>th</sub> über Da-Ko-Enthalpie berechnet.

### 2.3.2 Leistungsdaten der Anlage

Die Leistungsdaten der Mikrogasturbine und des Dampfkessels beruhen auf Herstellerangaben und Messungen und sind in Tabelle 2-3 zusammengefasst:

**Tabelle 2-3:** *Leistungswerte MGT (Herstellerangaben und Messungen) und Kessel*

<b>Herstellerangaben Datenblatt MGT</b>		Capstone C-200, Seriennummer 7491 - Hochdruckausführung HD	
Brennstoffwärmeleistung ( $H_u$ bzw. $H_I$ )	$P_W KWK$	606,0 kW	
Stromerzeugung (brutto)	$P_{el Bbr} KWK$	k.A.	
Eigenstromverbrauch/-leistung		k.A.	
Stromerzeugung (netto)	$P_{el Bne} KWK$	200,0 kW	
KWK-Wärmeleistung	$P_Q Bne KWK$	395,0 kW	bei direkter Heißgasverwendung
<b>Ablesungen Zähler bzw. Lastgang EVU</b>			
Brennstoffwärmeleistung ( $H_u$ bzw. $H_I$ )	$P_W KWK$	624,0 kW	Auf Erdgas - Heizwert bezogen, eigener HD-Gaszähler
Stromerzeugung (brutto)	$P_{el Bbr} KWK$	208,2 kW	Ablesung Generatorleistung am capstone Display (31.01.2014)
Eigenstromverbrauch/-leistung	$P_{el B Eig} KWK$	10,6 kW	
Stromerzeugung (netto)	$P_{el Bne} KWK$	197,6 kW	Ablesung (31.01.2014); Zählung Netzbetreiber ist Nettostrom
KWK-Wärmeleistung	$P_Q Bne KWK$	371,8 kW	Heißgasleistung nach Abzug Kesselverluste (Betriebswerte)
<b>Dampfkessel</b>		Bosch Industriekessel GmbH , UL-S 10000 x 13, Herstell-Nr.:114081 (BJ 2013)	
Bruttowärmeleistung (Nennlast)	$P_Q Bbr, th$	6.528,0 kW	
Brennstoffwärmeleistung Kessel	$P_W Kessel$	6.846,0 kW	
Kesselwirkungsgrad		95,4%	Herstellerangabe Datenblatt Fa. Bosch
Dampfenthalpie bei 12 bar(a)	$h_D$	2.784 kJ/kg	
Enthalpie Speisewasser	$h_{SpW}$	418 kJ/kg	Druck Speisewasserbehälter 1,2 bar (a)
Enthalpie Kondensatrücklauf (Mittelwert)	$h_{Ko}$	377 kJ/kg	Mittelwert Kondensatrücklauftemperatur 95°C
Umrechnungsfaktor Dampfzählung		657,10 kWh/t	

### 2.3.3 Hocheffizienzkriterium

Das deutsche Recht verweist für die Nachweismethode der „Hocheffizienz“ bzw. Primärenergieeinsparung auf die EU-KWK-Richtlinie. Das Hocheffizienzkriterium wurde erbracht.

**Tabelle 2-4:** Nachweis der Hocheffizienz nach EU Richtlinien

Primärenergieeinsparung lt. EU Richtlinie 2004/8/EG (aktualisiert Anhang I für 2012-2015)

Capstone C-200/Brenner DDZG-TGM 8/Kessel UL-S 10000 x 13

Projekt: Projekt: Interquell GT-AHK-ZF (Mikrogasturbine C-200 mit GTA Brenner und Dampferzeuger)

Jahreswerte oder Wirkungsgrade (unter ISO Standardbedingungen)			
Betrieb mit Wärmeauskopplung			
Brennstoffart			Erdgas
Brennstoffleistung (H <sub>i</sub> )	Messwerte / Herstellerangaben	W <sub>KWK</sub>	624,0 kW
Stromerzeugung (brutto)		A <sub>Bbr</sub>	208,2 kW
Stromerzeugung (netto)		A <sub>Bne</sub>	198,0 kW
Wärmeerzeugung		Q <sub>Bne-KWK</sub>	371,8 kW
Eigenstromverbrauch		A <sub>Beig</sub>	10,2 kW
KWK-Prüfung	EU-Schwellenwert=>KWK wenn Ng > 0,75	0,93	Ja
Betrachtungsjahr			
vorl. Strom-Referenzwirkungsgrad	Anhang I (207/74/EG)	ζ <sub>RefAv</sub>	2012-2015 0,525
Klimafaktor			
Jahresmitteltemperatur	Anhang III (207/74/EG)	t <sub>m</sub>	10 °C
Korrekturfaktor Klima	(15-t <sub>m</sub> )*0,1	t <sub>k</sub>	0,500
vorläufiger Referenzwert Stom		ζ <sub>RefA,v</sub>	0,530
Korrektur vermiedene Netzverluste			
Spannungsebene Stromabführung		E <sub>Bu</sub>	0,4 kV - 50 kV
Korrekturfaktor- ins Netz eingespeister Strom	Anhang IV (207/74/EG)	k <sub>e</sub>	0,945
Korrekturfaktor- vor Ort verbrauchter Strom	Anhang IV (207/74/EG)	k <sub>i</sub>	0,925
Anteil ins Netz eingespeister Strom		p <sub>e</sub>	100%
Ins Netz eingespeister Strom	A <sub>Bne</sub> * p <sub>e</sub>	A <sub>Bne e</sub>	198,0 kW
Vor Ort verbrauchter Strom	A <sub>Bne</sub> - A <sub>bne e</sub>	A <sub>Bne i</sub>	0,0 kW
Spannungsebene	k <sub>e</sub> * A <sub>Bne e</sub> /A <sub>Bbr</sub> + k <sub>i</sub> * (A <sub>Bne i</sub> + A <sub>BEig</sub> )/A <sub>Bbr</sub>	k <sub>u</sub>	0,9440
Referenzwert Strom			
Strom- Referenzwirkungsgrad nach der Korrektur	(ζ <sub>RefA,v</sub> + k <sub>k</sub> /100) * k <sub>u</sub>	ζ <sub>RefA</sub>	0,500
Referenzwert Wärmenutzung			
Wärmenutzung 1			
Art der Wärmenutzung			Dampf [*] /Heißwasser
Wärme- Referenzwirkungsgrad	Anhang II (207/74/EG)	ζ <sub>RefQ1</sub>	0,9
Anteil an Gesamtwärmenutzung			100%
Wärmenutzung 2			
Art der Wärmenutzung			unmittelbare Nutzung von Abgasen [**]
Wärme- Referenzwirkungsgrad	Anhang II (207/74/EG)	ζ <sub>RefQ2</sub>	0,82
Anteil an Gesamtwärmenutzung			0%
resultierender Referenzwert		ζ <sub>RefQ</sub>	0,9
Nachweis der Hocheffizienz nach EU-KWK-RL			
PEE			24,74%
Hocheffizient			Ja

## 2.4 Darstellung der Umsetzung des Vorhabens (Darstellung der einzelnen Arbeitsschritte von der Planungsphase bis zur Inbetriebnahme, Darstellung evtl. Hemmnisse)

### 2.4.1 Projektschritte und Zeitplan

Der Bau der Anlage umfasste folgende Projektschritte:

- Vor-, Entwurfs- und Genehmigungsplanung
- Ausführungsplanung
- Ausschreibung und Vergabe
- Fertigung / Montage / Inbetriebnahme

Der Zeitbedarf war insbesondere von der Lieferzeit der Hauptkomponenten, von der Dauer des Genehmigungsverfahrens als auch der Vergabeentscheidung des Auftraggebers bestimmt. Zur Umsetzung des hier beschriebenen Projektes wurden anfangs insgesamt rd. 18 Monate angesetzt. Der nachfolgende Zeitplan gibt eine Übersicht über die zeitliche Abfolge der durchgeführten Arbeiten nach Planungsstand. Die tatsächliche Projektlaufzeit sowie ein chronologischer Ablaufplan werden im folgenden Kapitel beschrieben.

**Tabelle 2-5:** *Zeitplan des Vorhabens*

Arbeitsschritte und Bearbeitungsdauer		Projektlaufzeit in Monaten																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	Vor-, Entwurfs- und Genehmigungsplanung	■	■	■	■	■	■												
2	Ausschreibung und Vergabe						■	■	■	■	■								
3	Montage- und Werkstattplanung											■	■	■	■				
4	Fertigung / Montage / Inbetriebnahme															■	■	■	■

## 2.4.2 Chronologischer Projektverlauf

### Vorprojekte und Machbarkeitsstudien zur Kraft-Wärme-Kopplung sowie alternativen Dampf-Erzeugungsmethoden:

- Machbarkeitsuntersuchung für ein Biomasse-Heizkraftwerk am Standort Großaitingen (2005). Wäre nur mit zusätzlichen Wärmeabnehmern am Standort interessant gewesen – verbindliche Zusagen von Partnern kamen nicht zustande.
- Contracting Angebot über die Dampf- und Wärmelieferung aus einem BioPflanzenöl-BHKW (2006) – hier wären weitere Wärmeabnehmer (Dampf für Interquell, Niedertemperatur für zweiten Abnehmer) erforderlich gewesen.
- Contracting Angebot über die Dampf- und Wärmelieferung aus einem Biomasse Heizkraftwerk (2008) – auch hier wären mehrere Wärmeabnehmer erforderlich gewesen.
- Überlegungen zur Dampferzeugung über einen Pelletkessel (2009) ca. 5 t/h zur Grundlastabdeckung – gegebenenfalls über Contracting (vgl. Fa. Pfizer Freiburg/ECH).

### Realisierter Zeitplan der Dampferzeugung mit Mikrogasturbine zur Kraft-Wärme-Kopplung bei Interquell in Großaitingen:

05/2011	Erste Überlegungen zur Kraft-Wärme-Kopplung mit Mikrogasturbinen
06/2011	Abstimmungen mit Fa. Saacke zum Thema Luftvorwärmung mit Mikrogasturbinen für einen Erdgasbrenner.
07-08/2011	Wirtschaftlichkeitsberechnungen zur Kombination Mikrogasturbine mit Gasturbinen-Abgasbrenner (MGT-GTA).
11/2011	Beginn der Vorentwurfs- und Entwurfsplanung für die Dampferzeugung mit Mikrogasturbine zur Luftvorwärmung nach Beauftragung der eta Energieberatung durch Herrn Georg Müller, GF der Fa. Interquell GmbH.
03/2011	Beauftragung der Genehmigungsplanung nach Vorstellung der Entwurfsplanung
09/2012	Förderantrag für das Umweltinnovationsprogramm gestellt
10/2012	Erteilung der Baugenehmigung 10/2012

- 12/2012 Die Umsetzung des Vorhabens startete am 10. Dezember 2012 nach Bewilligung des vorzeitigen Beginns durch die Förderbehörde.
- 12/2012 Vergabeverhandlungen und Auftragserteilung an die Fa. Lausser kurz vor Weihnachten 2012.
- 04/2013 Baubeginn Neubau Kesselhaus
- 06/2013 Baufreigabe Technik Kesselhaus (Abbildung 2-3)
- 06-07/2013 Verlegung der Erdgas-Hochdruckleitung (Abbildung 2-4)
- 10/2013 Inbetriebnahme Mikrogasturbine (Betrieb ohne Kessel)
- 11-12/2013 Inbetriebnahmen MGT-GTA Betrieb (Gesamtanlage)
- 02/2014 Erstellung Sachverständigen-Gutachten zur Anerkennung der KWK-Anlage beim BAFA (Bundesamt für Ausfuhrkontrolle)



**Abbildung 2-3** *Neubau Kesselhaus (Aufnahme Juni 2013)*



**Abbildung 2-4** Erdgas-Hochdrucktrasse (Aufnahme Juni 2013)

Die Inbetriebnahmen durch den Anlagenerrichter der Gesamtanlage haben sich aufgrund der Komplexität der Anlage bis Jahresende 2013 erstreckt. Nach Übergabe der Anlage und erfolgreichem Probetrieb hatte der Betreiber mit Betriebsstörungen im ersten Halbjahr 2014 zu kämpfen, die unterschiedliche Ursachen hatten:

- Forderungen des Netzbetreibers LEW/LVN nach einer „Null-Einspeiseregung“ (die MGT C-200 hatte in 2013 noch kein Zertifikat nach der Mittelspannungsrichtlinie): So musste regelungstechnisch durch eine Bilanzierung des Strombezugszählers mit der internen PV-Anlage ausgeschlossen werden, dass der KWK-Strom ins öffentliche Netz eingespeist wird. Kurzzeitige Schwankungen der Netzgleichrichter der PV-Anlage in der Dämmerung wurden im Algorithmus fehlinterpretiert und führten zu einer Anlagenabschaltung inkl. Dampfkessel. Durch Umprogrammieren der Steuerung konnte der Fehler behoben werden.
- Die Ursache für Ausfälle am GTA-Brenner konnte in schadhafte Busleitungen der Sensoren gefunden und behoben werden.



- Der sogenannte Core der Mikrogasturbine, also die eigentliche Turbine musste zweimal aufgrund von Lagerschäden vom Hersteller ausgetauscht werden. Seit Behebung der Schäden, die vermutlich durch Fertigungs- bzw. Materialfehler beim Hersteller in den USA aufgetreten sind, laufen die Anlagen problemlos.

Im Januar 2014 konnte etwas verspätet mit dem einjährigen Messprogramm begonnen werden. Die Ergebnisse der Datenauswertung sind in Kapitel 3 umfassend beschrieben.

### 2.4.3 Hemmnisse

Da Pilotanlagen immer ein gewisses Risiko bergen, ergaben sich auch hier während des Projektverlaufs Hemmnisse, die nachfolgend stichpunktartig beschrieben werden:

- Der Baubeginn (Hoch-/Tiefbau) verzögerte sich im Frühjahr 2013, sodass sich die Baufreigabe für die technische Installation im Kesselhaus um etwa 4 Wochen verschoben hatte.
- Aufgrund der Besonderheit, dass nicht nur die Dampferzeugung, sondern parallel die komplette Dampfverteilung mit der Anbindung der Produktionsanlagen bei laufendem Betrieb erneuert wurde, musste der Bauherr Interquell GmbH zusätzlich eigenes Personal für die Baustelle bzw. die Bauabwicklung abstellen.
- Die geplante Inbetriebnahme der Gesamtanlage verzögerte sich aufgrund der Komplexität ein wenig.
- Nach einigen Nachbesserungen und Mängelbeseitigungen konnte aber ein überaus zufriedenstellendes Ergebnis erzielt werden.
- Es wurde festgestellt, dass sobald sich der Kessel im Teillastbereich befindet, die Mikrogasturbine leistungsmäßig heruntergefahren werden muss, da sonst die Stützfeuerung beeinträchtigt wird bzw. aufgrund der Flammenkühlung die Emissionswerte unzulässig ansteigen würden. Das Verhältnis stimmt nicht mehr und die geplanten Vollbenutzungsstunden wurden dadurch reduziert und somit die Plan-Vorgabe nicht erreicht.
- Lüftungsanlage: Ursprünglich war die Niedertemperaturwärme aus dem Brennwerttaucher vorgesehen, um eine neue bzw. erweiterte Lüftungsanlage zu versorgen. Der Brennwerttaucher wurde im Kesselhaus installiert (Abbildung 3-10). Die Lüftungsanlage befindet sich allerdings immer noch im Planungsstatus. Diese Maßnahme wurde vom Bauherrn noch nicht umgesetzt, da die zu erwartenden

Einsparungen zur Refinanzierung der relativ hohen Investitionen eine relativ lange Amortisationszeit erwarten lassen.

## 2.5 Behördliche Anforderungen (Genehmigungen)

Für den Neubau des Kesselhauses in Großaitingen war nur im Rahmen der Baugenehmigung nach 1. BImSchV ein Nachweis zu führen, da die Feuerungswärmeleistung für die Gasfeuerung kleiner 20 MW beträgt. Darüber hinaus war ein Schallschutzgutachten SSGU erforderlich.

Nach § 13 BetrSichV ist ein Erlaubnisverfahren für Dampfkessel zu führen. Das beinhaltet eine Gutachterliche Äußerung einer Zulässigen Überwachungsstelle ZÜS, hier dem TÜVsüd.

Dazu liegen vom TÜVsüd folgende Dokumente vor:

- Gutachterliche Äußerung
- Prüfbescheinigung
- Nachprüfung

Eine Gefährdungsbeurteilung der neuen Dampferzeugung- und Verteilung nach BetrSichV war ebenfalls erforderlich und wurde von der vom Bauherrn beauftragten Sicherheitsfachkraft, Herrn Kosmanek-Leißl erstellt.

## 2.6 Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten

Der Leitreechner wurde neben dem Kesselhaus in einem Raum im Werkstattbereich angeordnet. Die Prozesse sowohl im Kesselhaus (MGT, Dampferzeuger, Speisewasserbehälter mit Entgaser und Brüden-WRG, Wasseraufbereitung etc.) als auch in der Produktion (Kondensatsammelbehälter mit Brüdenwärmetauscher, Kondensatförderanlage, Reindampferzeuger, Gebäudeheizung über WRG und HeiKo) werden visualisiert, und Verbrauche und Lastgänge erfasst und gespeichert (Abbildung 2-6). Die Langzeitdatenspeicherung wird über ein eigenes Projekt im Rahmen des Aufbaus eines Energiedatenmanagementsystems umgesetzt. Zur Erstellung dieses Berichtes und zur Speicherung der Daten bis zum Aufschalten auf das Energiedatenmanagementsystem wurden die Daten aus der Leittechnik ausgelesen und zusammen mit den EVU-Lastgängen zum Erdgasbezug Kessel und Mikrogasturbine sowie der KWK- Stromeinspeisung über Excel weiterverarbeitet.



## 3. Ergebnisse

### 3.1 Bewertung der Vorhabensdurchführung

Der Entscheidungsprozess von den Vorüberlegungen, der Machbarkeitsuntersuchungen, der Ausführungsplanung inklusive der Planung der Erneuerung der Dampfverteilung bis zur Realisierung des Vorhabens während der laufenden Produktion bedurfte intensiver Abstimmung zwischen der Geschäftsführung Herrn G. Müller, seiner technischen Leitung im Werk Großaitingen Herrn Schmid und dessen Stellvertreter Herrn Schnatterer, dem Anlagenplaner mit Bauleitung (eta Energieberatung) sowie den Fachplanern Bau (AB Möslang) und den ausführenden Firmen, dem Generalunternehmer für den Anlagenbau, der Fa. Lausser, der Fa. Saacke für Feuerungsregelung sowie der Fa. Mikroturbine-süd als Lieferant der Mikrogasturbine.

Die Planung und konzeptionelle Abwicklung erfolgte durch die eta Energieberatung GbR. Das Genehmigungsverfahren nach der 1. BImSchV im Rahmen der Baugenehmigung (Gasfeuerung unter 20 MW) wurde durch das AB Möslang, Herrn Domler mit Zuarbeit durch die eta Energieberatung (technische Daten und Berechnungen für Emissionen und Schallschutz) mit einer kurzen Verfahrensdauer erfolgreich abgeschlossen.

Verzögerungen im Bauablauf gab es aufgrund des um etwa 4 Wochen verspäteten Baubeginns, sowie durch die Inbetriebnahme der Fa. Saacke (Regelung Feuerung mit Brenner und MGT), die sich aufgrund der Komplexität der Aufgabenstellung länger als geplant gestaltete. Die Aufgabenstellung der flexiblen Umschaltung von Heißgasbetrieb der MGT (280°C bei ca. 17,5 % O<sub>2</sub>), Mischbetrieb Heißgas und Frischluft und reinem Frischluftbetrieb (Außenlufttemperatur mit 21 % O<sub>2</sub>) war für die Anlagensteuerung dieser Pilotanlage das eigentlich anspruchsvolle Kriterium und hat daher mehr Zeit in Anspruch genommen als ursprünglich geplant.

Der Abgasbrennwerttaucher wurde installiert – die Wärmenutzung durch eine Zuluftanlage zum Ausgleich der Luftbilanz der beiden Silogebäude befindet sich aber nach wie vor im Planungsstatus. Daher konnte der Effizienznachweis für diese Komponente noch nicht erbracht werden.

### 3.2 Stoff- und Energiebilanz (Dampf- und Stromerzeugung)

Die neue Dampferzeugung besteht aus einem konventionellen Dreizug-Dampfkessel des Herstellers Bosch (vormals Loos) mit 10 t/h Dampfleitung (ca. 7 MW), einer Mikrogasturbine C-200 des US-Herstellers Capstone (deutscher Vertrieb über Microturbine-süd) und einem Gasturbinen-Abgasbrenner der Fa. Saacke, die auch die Feuerungsregelung beige-steuert hat. GU-Leistung, Anlagenbau und übergeordnete Gebäudeleittechnik wurde durch Fa. Lausser erbracht.


Die angestrebten 7.500 VBh/a (bezogen auf die damals angenommene Nettoleistung von 195 kW) mit einer erzeugte Strommenge in Höhe von 1.463 MWh<sub>el</sub>/a konnten im ersten vollen Betriebsjahr 2014 nicht erreicht werden. Aufgrund von Störungen in der Anlaufphase im ersten Halbjahr, sowie durch einen vermuteten Materialfehler des Herstellers in den USA bedingten zweimaligen Wechsel der Turbineneinheit, des sog. "Cores" konnten nur 7.257 Betriebsstunden erzielt werden.

Durch die Erfordernis, die MGT in Teillast zu betreiben, sobald sich der Kessel im Teillastbereich unter 17 % der Nennleistung befindet, um eine Abkühlung der Brennerflamme durch das Heißgas der MGT und eine damit verbundene Emissionserhöhung (CO-Bildung) zu unterbinden, wurde das Verhältnis von Vollast- zu Betriebsstunden ungünstig beeinflusst. Diese Notwendigkeit war zum Zeitpunkt der Antragstellung noch nicht bekannt und konnte in Bezug auf ihre Auswirkungen auf die Vollbenutzungsstunden nicht berücksichtigt werden. Die Netto-Stromerzeugung in KWK belief sich in 2014 auf 1.180 MWh bei 5.899 VBh der Nennleistung von 200 kW (Nennleistungsbezug bei den VBh entsprechend der KWK-Abrechnung des Netzbetreibers gem. KWKG).

Der elektrische Jahresnutzungsgradgrad der Mikrogasturbine im ersten vollen Betriebsjahr lag bei 29,5 % und damit unter dem ursprünglich angesetzt 32,2 % (Wirkungsgrad!). Der Grund dafür lag auch an dem unterschätzten leistungsmindernden Einfluss der Außentemperatur auf die Mikrogasturbine bzw. auch am überdurchschnittlich warmen Jahr 2014. Aus Tabelle 3-1 ergibt sich, dass an der Wetterstation Augsburg die Durchschnittstemperaturen 2014 mit 10°C um 1,5 K über dem langjährigen Mittel lagen. Es kann davon ausgegangen werden, dass sich bei Jahren mit niedrigeren Durchschnittstemperaturen und vor allem weniger Stunden mit Außentemperaturen über 15°C ein höherer elektrischer Jahresnutzungsgrad ergibt.

**Tabelle 3-1**      *Gradtagszahlen und Temperaturen 2014 (Quelle IWU)*

**Klimadaten deutscher Stationen**  
Datenquelle: Klimadaten Deutscher Stationen, Deutscher Wetterdienst, Offenbach - www.dwd.de



**Postleitzahl**       **Wetterstation**       **Jahr**       **Start**

PLZ ist nicht korrekt, Station: Augsburg verwendet      Klimazone 14 nach DIN V 4108-6:2003

**Innentemperatur**       **Ausgabegröße**

**Heizgrenztemperatur**  zur Berechnung der Gradtagzahl nach VDI 3807

Monat	2014				langjähriges Mittel *			
	Gradtagzahl		Außen- temperatur	Außentemp. an Heiztagen	Gradtagzahl		Außen- temperatur	Außentemp. an Heiztagen
	G20/15	Heiztage			G20/15	Heiztage		
[Kd]	[d]	[°C]	[°C]	[Kd]	[d]	[°C]	[°C]	
Januar 2014	551	31	2,2	2,2	641	31	-0,7	-0,7
Februar 2014	466	28	3,4	3,4	558	28	0,2	0,2
März 2014	424	31	6,3	6,3	489	31	4,2	4,2
April 2014	288	29	10,2	10,1	357	29	7,9	7,6
Mai 2014	227	26	12,3	11,3	191	22	13,0	11,1
Juni 2014	70	11	17,0	13,7	92	12	16,1	12,4
Juli 2014	21	3	18,3	13,1	44	7	17,8	13,3
August 2014	86	14	16,0	13,8	47	7	17,5	13,1
September 2014	144	19	13,9	12,4	170	20	13,4	11,6
Oktober 2014	247	26	11,3	10,5	351	30	8,5	8,3
November 2014	435	30	5,5	5,5	496	30	3,5	3,4
Dezember 2014	534	31	2,8	2,8	605	31	0,5	0,5
Jahr	3493	279	10,0	7,5	4041	277	8,5	5,4

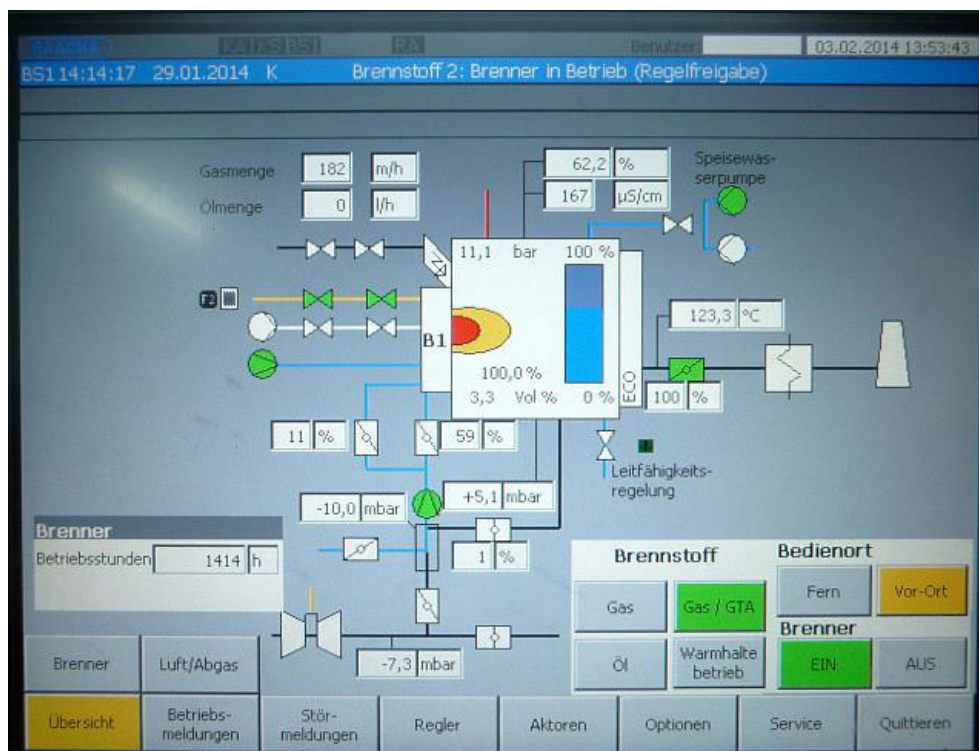
\* von 1970 - 2014

Bei den Bilanzierungsrechnungen wurde auf die Energiezähler aus Tabelle 2-1: *Tabelle Messstellen* zurückgegriffen. Die Lastgänge der beiden Gaszähler sowie der KWK-Stromzähler werden über Online-Portale der Netzbetreiber LVN (Strom) und Schwaben-Netz (Erdgas) abgegriffen. Der Damp fzähler sowie Außenluft-, Rauchgas- und Speisewasertemperaturen, Lastgänge der Wärmemengenzähler für die Wärmerückgewinnung aus der Brüdenkondensation der Speisewassergasung und dem Kondensatbehälter in der Produktion können neben zahlreichen anderen Betriebswerten aus der GLT ausgelesen werden.

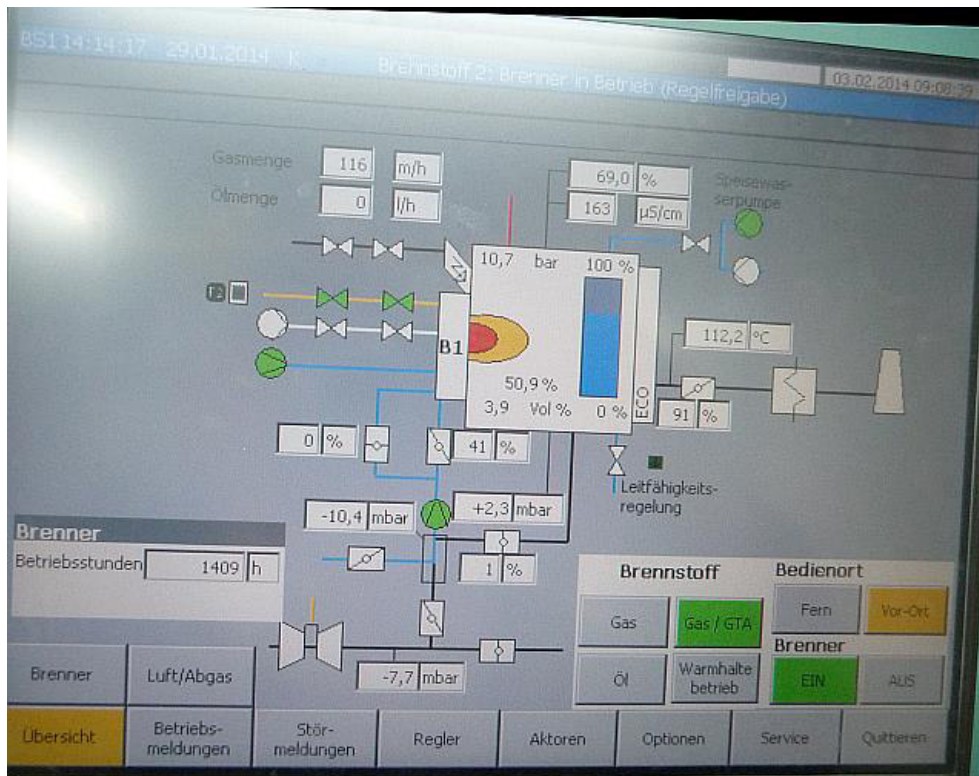
Die gemessene Dampfmenge wurde im Rahmen des Toleranzbereiches des Damp fzählers um 2 % nach unten korrigiert, da der ursprüngliche Wert im Abgleich mit der Energiebilanz und unter Ansatz der über die Siegert'sche Formel (siehe Tabelle 3-2, Abbildung 3-1, Abbildung 3-2) berechneten Abgasverluste sowie der Abstrahlungsverluste nach Herstellerangaben Fa. Bosch physikalisch nicht plausibel war. Diese Abweichung ist erklärbar durch die steigende Messabweichung im Niedriglastbereich bei 1 t/h Dampfleistung und darunter.

**Tabelle 3-2** Berechnung der Abgasverluste über Siegert'sche Formel

	Auslegung Loos	Neuanlage mit MGT		Kessel alt 1	Kessel alt 2
		Teillast Ablesung	Vollast Ablesung	Messungen Weishaupt	
Abgastemperatur	124,0 °C	112,0 °C	123,3 °C	182,0 °C	218,0 °C
Zulufttemperatur/Frischlufte	25,0 °C	10,0 °C	10,0 °C	15,0 °C	15,0 °C
O <sub>2</sub> -Sauerstoffgehalt des Abgases	2,1 %	3,9 %	3,3 %	3,4 %	4,5 %
Abgasverlust q <sub>A</sub>	4,35 %	4,85 %	5,24 %	7,77 %	9,95 %
Strahlungsverlust Gasbetrieb	0,34%				
Abgas- & Strahlungsverlust:	4,69%	5,19%	5,58%	8,11%	10,29%


**Abbildung 3-1** Screenshot Bedienpaneel Brenner in Vollast





**Abbildung 3-2** Screenshot Bedienpaneel Brenner in Teillast

Die Wärmelieferung der Mikrogasturbine an die Dampferzeugung im Kessel wurde mit 65 % ihres Erdgasbezuges berechnet – eine Wärmemengenmessung der Heißluftlieferung (280°C) mit einem geringem Toleranzbereich ist mit vertretbarem technischem und finanziellem Aufwand nicht möglich.

Im Vergleich zu einer konventionellen Dampferzeugung ohne KWK mit einem angenommenen, sehr guten feuerungstechnischen Jahresnutzungsgrad von 94 % (ohne Ansatz von Absalz- und Abschlamm- sowie Brüdenverlusten der Speisewasserentgasung) ergibt sich nur ein geringer Brennstoffmehraufwand des Gesamtsystems aus MGT, GTA-Brenner und Kessel von 216 kW (heizwertbezogen).



**Tabelle 3-3**      *Energiebilanz Dampferzeugung mit Mikrogasturbine (2014)*

<b>Bilanz Mikrogasturbine 2014</b>		
Feuerungswärmeleistung $H_S$ /Brennwert	<b>665</b>	kW
Feuerungswärmeleistung $H_I$ /Heizwert	<b>606</b>	kW
el. Leistung brutto	<b>200</b>	kW
el. Leistung netto (HD Ausführung - ohne Erdgasverdichter)	<b>195</b>	kW
th. Leistung Luftvorwärmung	<b>395</b>	kW
el. Nutzungsgrad netto (Betriebswert 2014)	29,5	%
th. Nutzungsgrad Luftvorwärmung (berechnet)	65,2	%
Gesamtwirkungsgrad	94,7	%
Verlust	31,94	kW
Volllastbetriebsstunden der MGT (Betriebswert 2014)	5.899	Bh/a
Brennstoffbezug [ $H_S$ ]	4.432	MWh
Strom-Produktion netto	1.180	MWh
MGT-Abgas/Abluft zur Luftvorwärmung	2.595	MWh
Vollwartungskosten inkl. Rückstellung Generalüberholung	<b>2,13</b>	€/Bh

<b>Bilanz Dampferzeugung mit vorgeschalteter Mikrogasturbine 2014</b>		
Dampferzeugung	35.032	t/a
Dampferzeugung	23.020	MWh/a
Brennstoffbedarf Kessel [ $H_S$ ]	24.167	MWh/a
Brennstoffbedarf MGT [ $H_S$ ]	4.432	MWh/a
Brennstoff-Mehrbedarf ggü. konventioneller Dampferzeugung [ $H_I$ ]	216	kW

### 3.3 Umweltbilanz

Die durch die Kraft-Wärme-Kopplung in 2014 erzeugte Strommenge in Höhe von 1.180 MWh<sub>el</sub>/a und Wärmemenge der Gasturbine in Höhe von 2.595 MWh<sub>th</sub>/a müssen nicht anderweitig erzeugt werden. Somit reduzierte sich der Brennstoffbedarf am Erdgasbrenner des Dampfkessels für die Erzeugung der etwa 35.000 Tonnen Dampf (ca. 11 bar<sub>ü</sub>) von ca. 27.163 MWh/a bei einem angenommenen Jahresnutzungsgrad von 94 % auf 24.167 MWh/a. Pro Vollbenutzungsstunde der elektrischen Nennleistung von 200 kW spart die Mikrogasturbine bei dieser Konfiguration im Vergleich zur getrennten Erzeugung von Wärme und Strom etwa 74 Kilogramm CO<sub>2</sub>. Nachfolgende Tabelle zeigt die Gesamteinsparung an CO<sub>2</sub>.

**Tabelle 3-4:** *Einsparung an CO<sub>2</sub>-Emissionen durch KWK*

Emissionen		
Faktor Strom*	633	g/kWh
Faktor Erdgas*	244	g/kWh
Brennstoff-Mehrbedarf ggü. konventioneller Dampferzeugung (H <sub>i</sub> )	216	kW
Stromerzeugung Nennlast (da Berechnung über VBh)	200	kW
CO <sub>2</sub> -Mehraufwand Gas	0,053	t/h
CO <sub>2</sub> -Einsparung Stromerzeugung	0,127	t/h
Volllastbetriebsstunden der MGT (Betriebswert 2014)	5.899	Bh/a
<b>CO<sub>2</sub>-Einsparung KWK</b>	<b>435</b>	<b>t/a</b>

\*Quelle: IWU 2009

Über die 5.899 Vollbenutzungsstunden der Mikrogasturbine in 2014 ergibt sich eine Einsparung von 435 Tonnen CO<sub>2</sub>.

In Tabelle 3-5 wird die Einsparung an Primärenergie in 2014 dargestellt.

**Tabelle 3-5:** *Einsparung an Primärenergie durch KWK*

Primärenergie		
Faktor Strom** (nicht erneuerbarer Anteil)	<b>2,6</b>	kWh
Faktor Erdgas**	<b>1,1</b>	kWh (H <sub>i</sub> )
Brennstoff-Mehrbedarf ggü. konventioneller Dampferzeugung (H <sub>i</sub> )	216	kW
Stromerzeugung Nennlast (da Berechnung über VBh)	200	kW
Mehraufwand Primärenergie Gas	237,9	kWh/h
Einsparung Primärenergie Stromerzeugung	520,0	kWh/h
Volllastbetriebsstunden der MGT (Betriebswert 2014)	5.899	Bh/a
<b>Einsparung Primärenergie KWK</b>	<b>1.664</b>	<b>MWh/a</b>

\*\*Quelle: ENEV 2009

Durch die Einsparung an Primärenergie für die Stromerzeugung mit 520 kWh/VBh, abzüglich des Energie-Mehraufwandes für Gas mit 237,9 kWh/h, errechnet sich eine Einsparung von 1.664 MWh pro Jahr. Da im ersten Betriebsjahr aufgrund der in 2.4.3 beschriebenen Schwierigkeiten in der Anlaufphase sowie der Abregelung der MGT im Teillastbetrieb die ursprünglich prognostizierten Vollbenutzungsstunden nicht erreicht werden konnten, wurden die Einsparungen an Emissionen und Primärenergie nicht in dem ursprünglichen Umfang erreicht.

Durch den Einsatz der hocheffizienten Kraft-Wärme-Kopplung, den erheblich gesteigerten Nutzungsgrad der Anlage und die zukünftige Anwendung der Brennwertnutzung wird aber auf jeden Fall die Energieeffizienz erheblich gesteigert und mit der Stromerzeugung der Primärenergiebedarf deutlich reduziert.

Durch den Einsatz der Mikrogasturbine wird dadurch nicht nur ein ökonomischer, sondern auch ein ökologischer Beitrag zur rationellen und umweltfreundlichen Energieanwendung sowie der nachhaltigen Strom- und Wärmeerzeugung geliefert.

Im Vergleich zur Altanlage der Interquell GmbH (Tabelle 3-4 und Tabelle 3-5 zeigen die Einsparungen durch KWK im Vergleich zu einer konventionellen Neuanlage nach dem Stand der Technik) konnten darüber hinaus erhebliche Einsparungen erzielt werden. Durch die moderne Feuerung, Kessel und Economiser sowie durch die Wärmerückgewinnung mithilfe von Brüdenwärmetauschern an der Speisewasserentgasung zur Vorwärmung des Nachspeisewassers sowie am Kondensatbehälter in der Produktion zur Nutzung in der Gebäudeheizung (Heizwasser) konnten etwa 1.900 MWh an Erdgas (heizwertbezogen) eingespart werden (Einsparungen siehe Tabelle 3-6, Tabelle 3-7 und Kap. 3.4.4)

**Tabelle 3-6** *Einsparung an CO<sub>2</sub>-Emissionen durch verbesserten feuerungstechnischen Wirkungsgrad und WRG/Abwärmenutzung*

Emissionen		
Faktor Strom*	633	g/kWh
Faktor Erdgas*	244	g/kWh
Verbesserung feuerungstechnischer Wirkungsgrad (H <sub>i</sub> ) vgl. Altanl.	3,8	%
Einsparung Wirkungsgradverbesserung Kessel&Eco	875	MWh
CO <sub>2</sub> -Einsparung Gas Wirkungsgrad	213	t
Wärmerückgewinnung Brüdentaucher Kondensat- und SPW	1.028	MWh
CO <sub>2</sub> -Einsparung Wärmerückgewinnung	251	t
<b>CO<sub>2</sub>-Einsparung Feuerung &amp; WRG vgl. Altanlage</b>	<b>464</b>	<b>t/a</b>

\*Quelle: IWU 2009

**Tabelle 3-7** *Einsparung an Primärenergie(Wirkungsgrad, WRG)*

Primärenergie		
Faktor Strom** (nicht erneuerbarer Anteil)	2,6	kWh
Faktor Erdgas**	1,1	kWh (H <sub>i</sub> )
Einsparung Wirkungsgradverbesserung Kessel&Eco	875	MWh
Einsparung Primärenergie durch Wirkungsgradverbesserung	962	MWh
Wärmerückgewinnung Brüdentaucher Kondensat- und SPW	1.028	MWh
Einsparung Primärenergie Wärmerückgewinnung Brüdentaucher	1.130	MWh
<b>Einsparung Primärenergie Feuerung &amp; WRG vgl. Altanlage</b>	<b>2.093</b>	<b>MWh/a</b>

\*\*Quelle: ENEV 2009

### 3.4 Konzeption, Durchführung und Ergebnisse des Messprogramms

Auf Grundlage der kontinuierlichen Überwachung und umfassenden Dokumentation soll der ökologische und ökonomische Erfolg belegt werden.

Eine begleitende Mess- und Datenerfassung wurde durchgeführt. Zum einen diente dies der Steuerungs- und Regelungstechnik zur laufenden Optimierung der Betriebsweise der einzelnen Komponenten. Darüber hinaus wurde eine Auswertung der wesentlichen Energieströme ermöglicht. Mit der Mess- und Datenerfassung wurden u.a. folgende Größen erfasst und bewertet:

- Erzeugte Dampfmenge
- Erdgasverbrauch GTA-Brenner am Kessel
- Erdgasverbrauch Mikrogasturbine
- Stromerzeugung (netto) Mikrogasturbine
- Abgastemperatur vor und nach sowie Speisewassertemperatur nach dem Economiser
- Wärmemengen der Brüdenwärmetauscher am Kondensat- und Speisewasserbehälter (mit thermischer Entgasung)

Die in den folgenden Kapiteln dargestellten Diagramme zeigen jeweils exemplarisch die grafische Auswertung der Messdaten über einen Kalendermonat. Die Daten wurden über das Jahr 2014 erfasst und liegen als Jahresbilanz den Berechnungen in den Kapiteln 3.2 und 3.3 zu Grunde.

#### 3.4.1 Gasverbrauch und Stromerzeugung

Abbildung 3-3 stellt die EVU-Lastgänge der Erdgaszähler für Kessel und Mikrogasturbine der KWK-Stromerzeugung (Nettostromzähler) gegenüber. Schwankungen der elektrischen Leistung, wie sie auch in Abbildung 3-4 sowie Abbildung 3-5 erkennbar sind, werden zum einen regelungstechnisch durch die Leistungsminderung bei Kessel-Niedriglast (große Schwankungen) und zum anderen durch die Auswirkungen der elektrischen Leistungsminderung von Strömungsmaschinen bei hohen Ansaugtemperaturen bestimmt. Diese Korrelation ist vor allem im Wochenprofil (Abbildung 3-5) aus den leicht gegenläufigen Kurven der Außentemperatur (rot) zum elektrischen Wirkungsgrad (blau) zu erkennen.

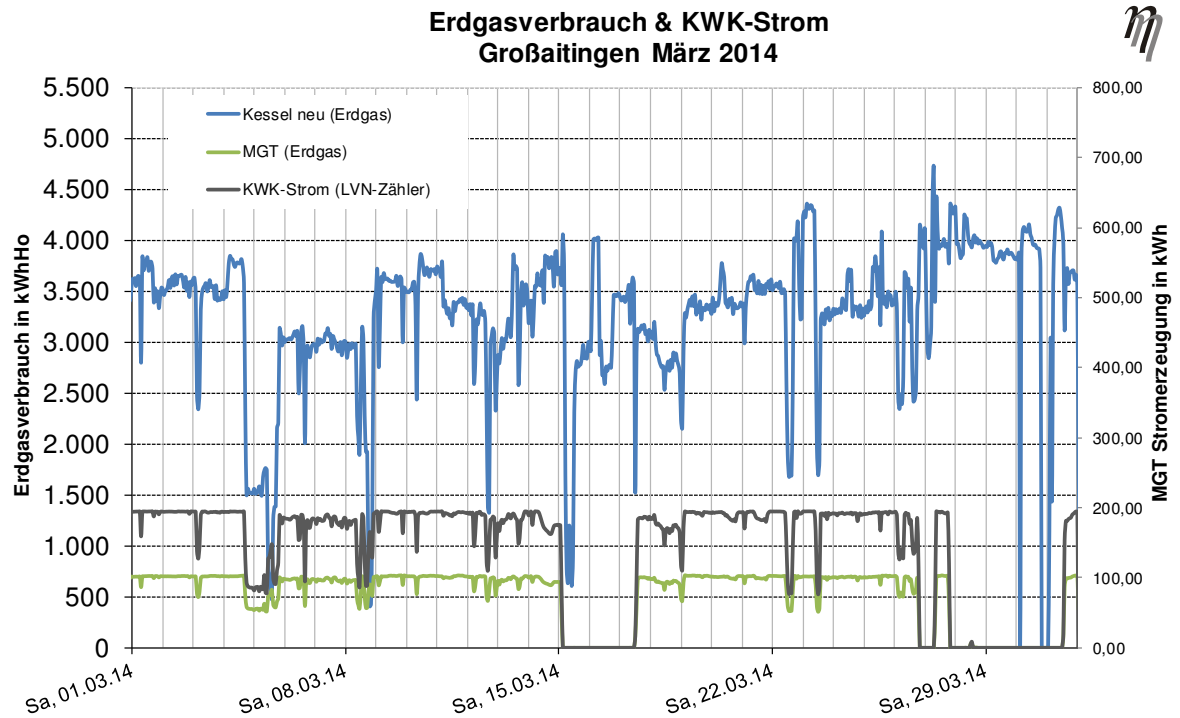


Abbildung 3-3 Erdgasbezug Kessel und MGT mit KWK-Stromerzeugung

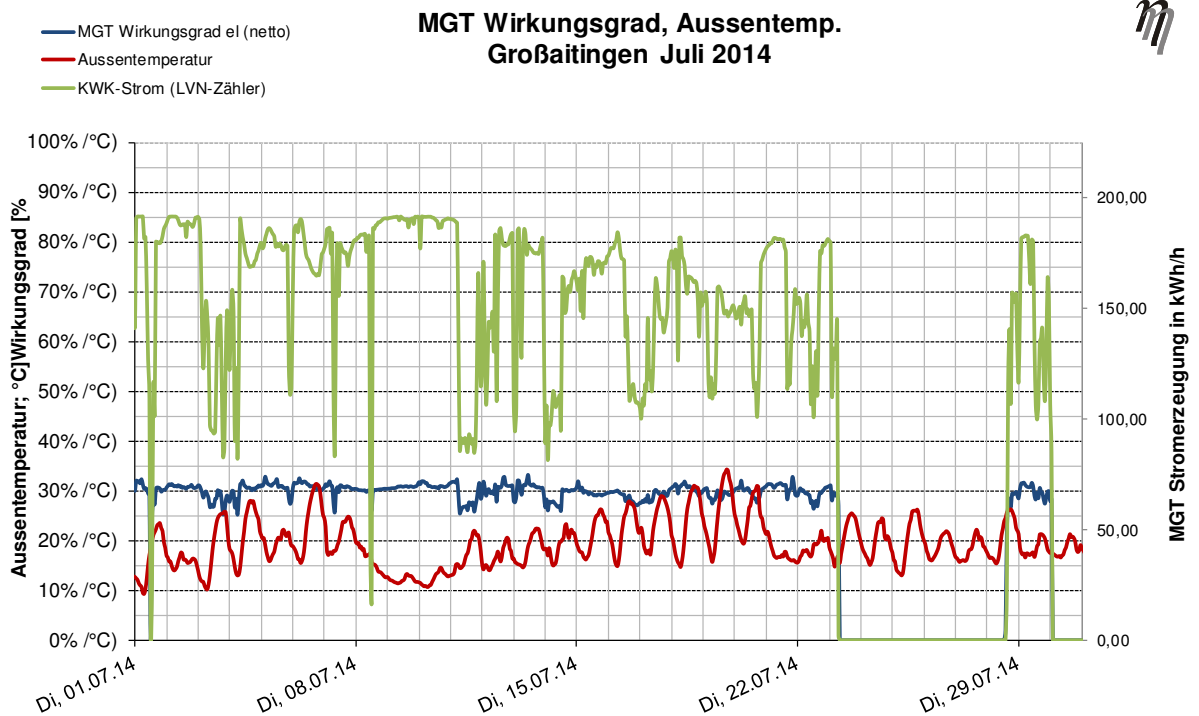


Abbildung 3-4 Elektrischer Wirkungsgrad und Außentemperatur MGT (07/14)

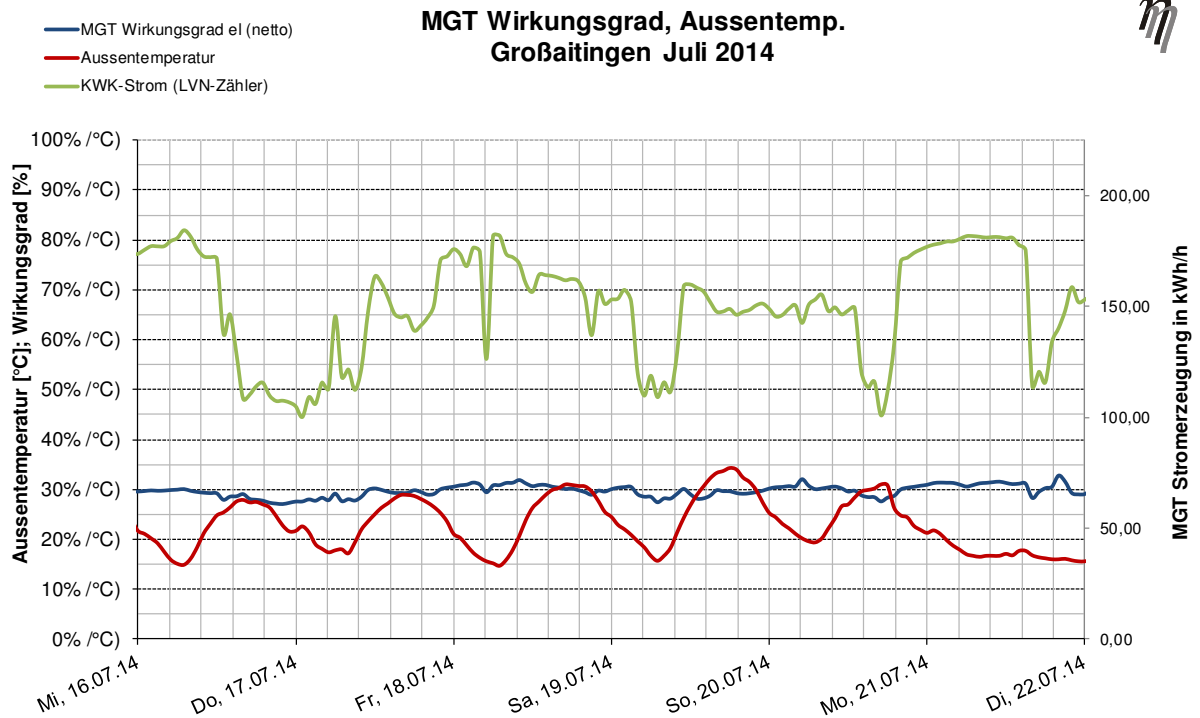


Abbildung 3-5 Elektrischer Wirkungsgrad und Außentemperatur MGT (Woche)

### 3.4.2 Kessel – feuerungstechnischer Nutzungsgrad

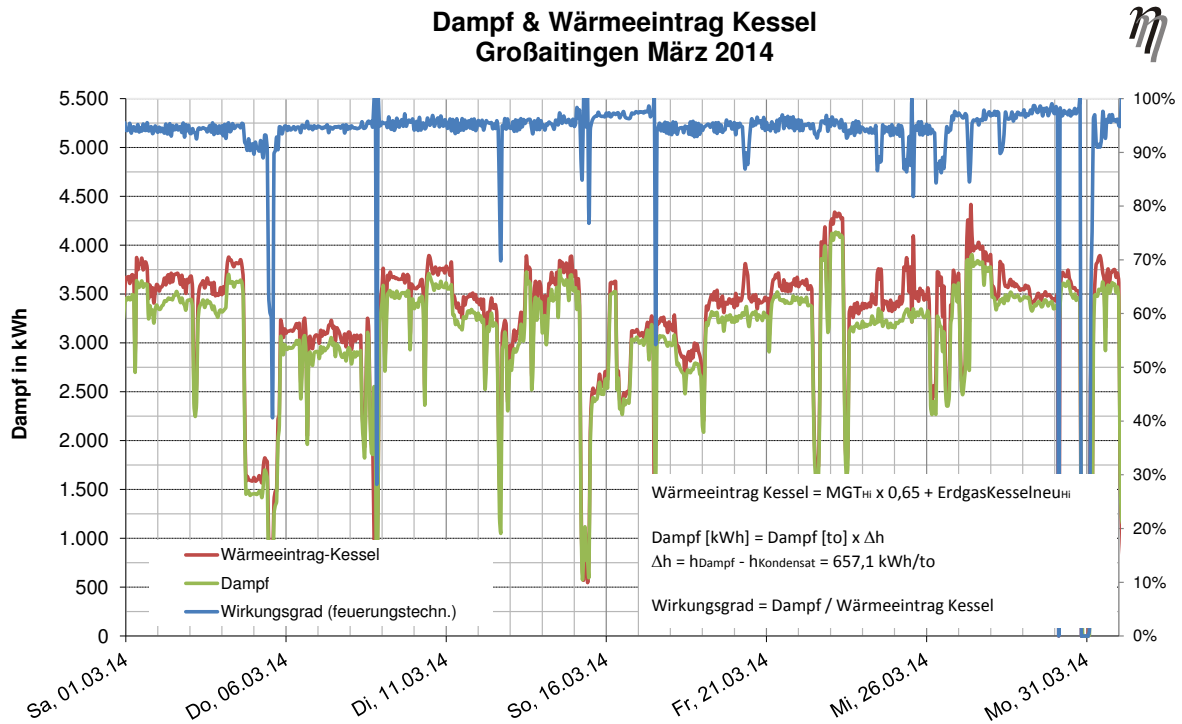
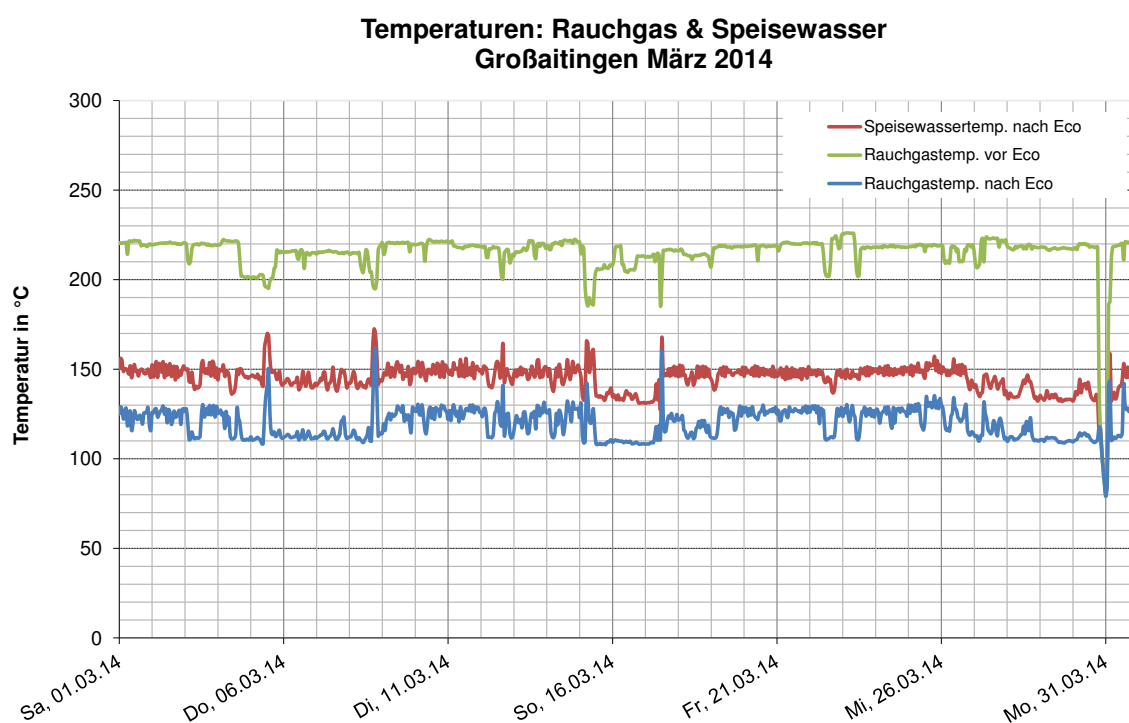


Abbildung 3-6 Auswertung Gasbezug Kessel und MGT sowie Dampfzähler

Zur Berechnung des feuerungstechnischen Wirkungsgrades wurden der Gasverbrauch von MGT und GTA-Brenner der Wärmeerzeugung, gemessen über den Dampfzähler gegenübergestellt, wobei der „Wärmeeintrag“ des Heißgases der Mikrogasturbine über einen Anteil von 65 % der Brennstoffenergie des Gasbezuges (Heizwert) angesetzt wurde. Es wurden jeweils die Stundenwerte entsprechend der Abrechnungspraxis der Gasnetzbetreiber gegenübergestellt. Die Ausreißer beim Wirkungsgrad (Werte über 100 %) sind durch zeitliche Verschiebung von der Gas- bis zur Dampfzählung, durch Ungenauigkeiten der Dampfzählung im Niedriglastbereich und durch Schwankungen des Wärme-/Stromverhältnisses der MGT in Abhängigkeit von der Ansaugtemperatur zu erklären.

Die grafische Auswertung der Stundenwerte bestätigt die rechnerischen, in 3.2 dargestellten Ergebnisse eines (feuerungstechnischen) Nutzungsgrades von etwa 95 %

### 3.4.3 Funktion Economiser



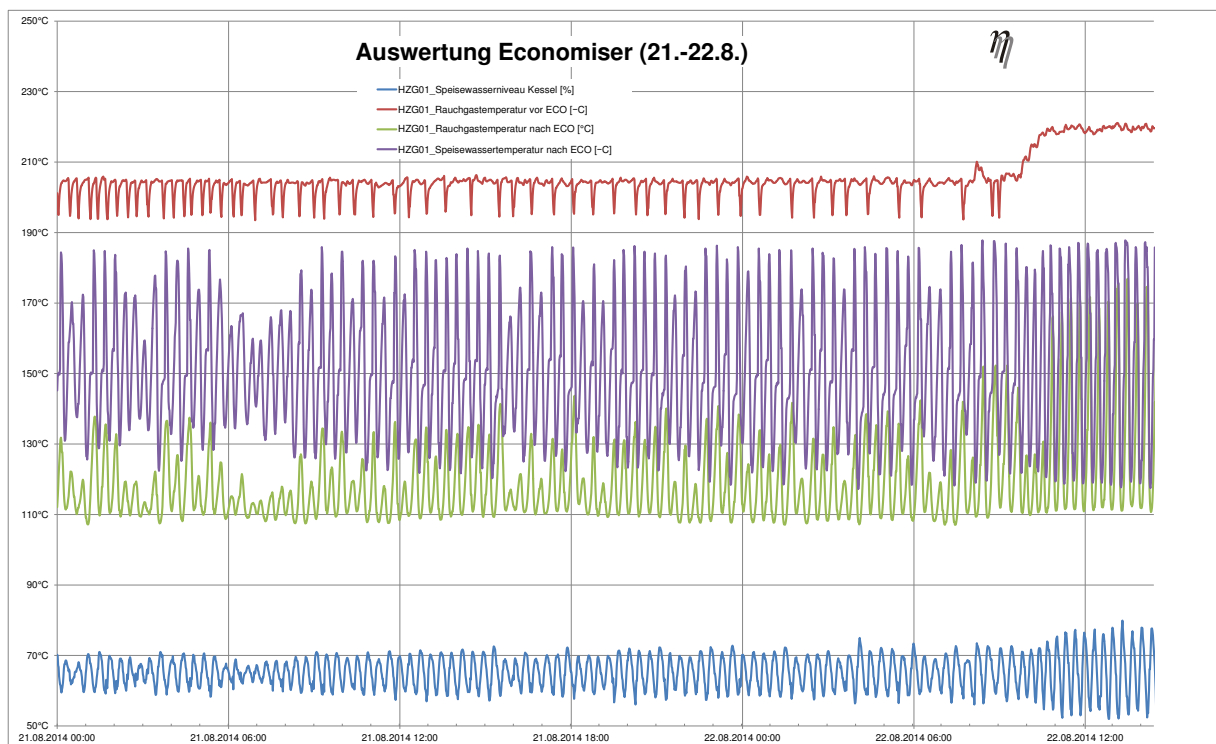
**Abbildung 3-7** Speisewasser und Rauchgastemperaturen (Stundenmittelwerte)

Die Leistungsfähigkeit des Speisewasser-Economisers zur Speisewassererhitzung über die Unterkühlung der Rauchgase nach dem dritten Kesselzug vor Eintritt in den Brennwärmtauscher und letztendlich den Kamin, ist ein weiterer Faktor zur Erreichung eines hohen Wirkungsgrades (siehe auch Tabelle 3-2 *Berechnung der Abgasverluste über Sie-*



*gert'sche Formel*). Der Zielwert der Abgastemperatur von 120°C wird, wie aus Abbildung 3-7 ersichtlich, als Mittelwert erreicht bzw. unterschritten.

Die feinere Auswertung über Minutenwerte in der nachfolgenden Abbildung 3-8 ändert zwar nichts an der prinzipiellen Aussage über die Effizienz des Economisers, lässt aber aufgrund der hohen Schwankungen die Vermutung zu, dass durch eine geänderte Regelung und Vergleichmäßigung hier noch weitere Einsparungen realisiert werden könnten. Die Schwankungen, bedingt durch die Zweipunktregelung (auf/zu) des Nachspeiseventils in Abhängigkeit vom Kesselwasserstand, könnten durch eine kontinuierliche Nachspeisung reduziert werden.



**Abbildung 3-8** Speisewasser und Rauchgastemperaturen (Minutenwerte)

### 3.4.4 WRG & Abwärmenutzung durch Brüdenwärmetauscher

Zur Überprüfung der Funktionsweise und Ermittlung des Anteils der WRG (Permeatvorwärmung am Speisewasserbehälter) und der Abwärmenutzung für die Gebäudeheizung (Kondensatbehälter Produktion) jeweils durch Brüdenwärmetauschern bzw. – kondensatoren, wurden Wärmehähler vorgesehen und ausgewertet (siehe Abbildung 3-9). Bezogen auf die gesamte Dampferzeugung am Kessel konnte durch den kleinen Brüden-tauscher an der Speisewasserentgasung etwa 0,3 % der erzeugten Nutzwärme zur Nachspeisewasser-/Permeatvorwärmung zurückgewonnen werden.

In der Heizperiode konnten bis zu 7 % der Dampferzeugung über die Abwärmenutzung aus der Kondensatnachverdampfung in der Produktion (Brüdenwärmetauscher) für die Gebäudeheizung in Form von Heizwasser genutzt werden. Auf das ganze Jahr bezogen sind es immerhin noch über 4 %, da außerhalb der Heizperiode wenig Bedarf an Nieder-temperaturwärme besteht, nachdem parallel zur hier beschriebenen Maßnahme auch die Lüftungsanlage für die Lebensmittelproduktion mit einer hocheffizienten Wärmerückge-winnung neu gebaut wurde.

In der Bilanz 2014 ergeben sich bei einer Dampferzeugung von ca. 23.020 MWh, 80 MWh für die Permeatvorwärmung sowie 947 MWh für die Gebäudeheizung.

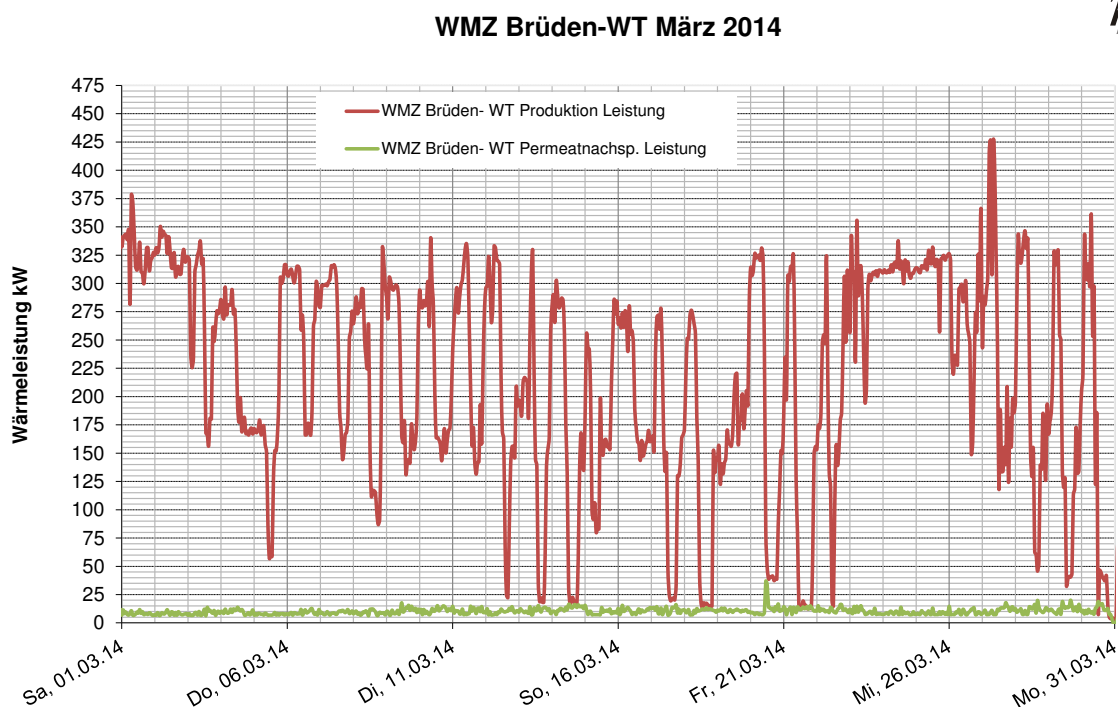


Abbildung 3-9

Wärmemengenzähler Brüdenwärmetauscher

### 3.4.5 Abgas-Brennwerttauscher

Die für den Brennwerttauscher (Abbildung 3-10) vorgesehene Wärmesenke, die Lüftungsanlage (Nur-Zuluft) für den Druckausgleich im Silogebäude alt und neu wurde noch nicht umgesetzt und befindet sich noch in der Planung.



Abbildung 3-10 *Abgas Brennwerttauscher*

### 3.5 Wirtschaftlichkeitsanalyse

Die Gesamtinvestitionen des Vorhabens sind nachfolgend aufgeführt:

**Tabelle 3-8:** *Gesamtinvestitionen*

<b>Gesamtinvestition</b> (netto)	
• Dampferzeugung	1.335.663 €
• Anbindung Produktion	57.996 €
• Dampfnetz, Behälter, Wärmetauscher, Schwarzdampf	200.083 €
• Dampfnetz, Behälter, Wärmetauscher, Reindampf	176.026 €
• Heiznetz-Pumpen-Warmwasser, Luftheritzer	121.024 €
• Rauchgas-Brennwert-Wärmetauscher	179.220 €
• Anbindung Raumluftechnik	13.470 €
• MSR Heizungsanlage inkl. RLT	81.000 €
• Demontagen	17.000 €
• Baukosten Kesselhaus	498.387 €
• Montage, Inbetriebnahme, etc.	144.600 €
• Ausführungsplanung, Objektüberwachung, -betreuung	245.328 €
• Messprogramm	75.000 €
<b>= Gesamtinvestition</b>	<b>3.144.795 €</b>
abzüglich Skonto (Lausser-Rechnungen)	-69.448 €
abzüglich Förderung	-348.300 €
<b>= Investition mit BMU-Förderung</b>	<b>2.727.047 €</b>

Für die Wirtschaftlichkeitsberechnung der Dampferzeugungsanlage und der Mikrogasturbine wurde ein EXCEL-Arbeitsblatt erarbeitet, in dem alle wesentlichen Daten zusammengetragen und verknüpft sind (siehe nachfolgende Tabelle). Die folgenden Kalkulationen basieren auf den in Tabelle 3-9 aufgeführten Berechnungsgrundlagen.

**Tabelle 3-9: Berechnungsgrundlagen der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung**

Erdgas	
Erdgas Arbeitspreis inkl. Steuer [H <sub>s</sub> ]	0,0441 €/kWh
Mineralölsteuer H <sub>s</sub> voller Satz	0,0055 €/kWh
Rückerstattung prod. Gewerbe (PG)	0,00138 €/kWh
Erdgas Preis nach Abzug Rückerstattung PG	0,04267 €/kWh
enthaltener Steuersatz (PG)	0,00412 €/kWh

Wärmelieferung Dampfkessel	
Jahresnutzungsgrad [H <sub>i</sub> ]	0,94
Energiekostenanteil Wärme/Dampf	0,0504 €/kWh

Wärmelieferung Mikrogasturbine	
Jahresnutzungsgrad [H <sub>i</sub> ]	1,00
Umrechnung H <sub>2</sub> /H <sub>1</sub>	1,11
Wärmeerlös durch Luftvorwärmung	0,0489 €/kWh

Strom	
Vermiedene Stromkosten (Mischpreis ohne Leistungsanteil)	0,1523 €/kWh
Strombezugspreis	0,1725 €/kWh
KWK Zuschlag (MGT 200 kW <sub>el</sub> )	0,0435 €/kWh

Personal	
Personalbedarf Dampferzeugung	2 h/d
zusätzlicher Personalbedarf MGT	1 h/d
Arbeitstage	350 d/a
Personalkosten	30 €/h

Daten konventionelle Dampferzeugung	
Nutzwärmebedarf	23.020 MWh/a
Brennstoffbedarf Kessel [H <sub>s</sub> ]	27.183 MWh/a
Eigenstrombedarf Dampferzeugung (Anteil an erzeugter Wärmemenge)	1,2 %
Eigenstrombedarf Dampf-Anlage ohne MGT	276 MWh/a
Wasseraufbereitung Kesselspeisewasser	5.215 m <sup>3</sup> /a
Kosten Speisewasser	5 €/m <sup>3</sup>
Versicherung (Anteil an der technischen Investition)	0,2 %

Daten Mikrogasturbine	
Feuerungswärmeleistung H <sub>2</sub> /Brennwert	665 kW
Feuerungswärmeleistung H <sub>1</sub> /Heizwert	606 kW
el. Leistung brutto	200 kW
el. Leistung netto (HD Ausführung - ohne Erdgasverdichter)	195 kW
th. Leistung Luftvorwärmung	395 kW
el. Nutzungsgrad netto (Betriebswert 2014)	29,5 %
th. Wirkungsgrad Luftvorwärmung	65,2 %
Gesamtwirkungsgrad	94,7 %
Verlust	31,94 kW
Volllastbetriebsstunden der MGT	5.899 Bh/a
Brennstoffbezug [H <sub>s</sub> ]	4.432 MWh
Strom-Produktion netto	1.180 MWh
MGT-Abgas/Abluft zur Luftvorwärmung	2.595 MWh
Vollwartungskosten inkl. Rückstellung Generalüberholung	2,13 €/Bh

Bilanz Dampferzeugung mit vorgeschalteter Mikrogasturbine 2014	
Dampferzeugung	35.032 t/a
Dampferzeugung	23.020 MWh/a
Brennstoffbedarf Kessel [H <sub>s</sub> ]	24.167 MWh/a
Brennstoffbedarf MGT [H <sub>s</sub> ]	4.432 MWh/a
Brennstoff-Mehrbedarf ggü. konventioneller Dampferzeugung [H <sub>i</sub> ]	216 kW
Wartung/Instandhaltung Anteil Brennwert-Wärmetauscher (BWT)	2 %
Abwärmenutzung Brennwert-Wärmetauscher (BWT)*	0 MWh

Die folgende Tabelle zeigt die Gegenüberstellung der Aufwendungen, Erlöse und des Betriebsergebnisses im ersten Jahr mit und ohne Förderung.

**Tabelle 3-10:** Erlöse, Aufwendungen und Betriebsergebnis im 1. Jahr

	ohne Förderung	mit Förderung
<b>Aufwendungen (netto)</b>	<b>Jahr 1</b>	<b>Jahr 1</b>
<b>Betriebsgebundene Kosten</b>		
• Personalkosten	31.500 €/a	31.500 €/a
• Wartung-/Instandhaltung MGT	14.910 €/a	14.910 €/a
• Wartung-/Instandhaltung Dampf-Anlage	8.975 €/a	8.975 €/a
• Instandhaltung Brennwert-Wärmetauscher	3.800 €/a	3.800 €/a
• Versicherung	5.000 €/a	5.000 €/a
<b>Verbrauchsgebundene Kosten</b>		
• Wasseraufbereitung	26.075 €/a	26.075 €/a
• Eigenstrombedarf Dampf-Anlage	47.700 €/a	47.700 €/a
• Brennstoffkosten Brenner (inkl. Energiesteueranteil PG)	1.031.300 €/a	1.031.300 €/a
• Brennstoffkosten MGT (inkl. Energiesteueranteil PG)	189.100 €/a	189.100 €/a
<b>Kapitalkosten</b>		
• Kapitalkosten für Fremdkapital (3 % Zins, 10 Jahre Laufzeit, 0 % Eigenkapitalanteil)	360.500 €/a	319.700 €/a
• Bauzeitzinsen (3 % Zins, 10 Jahre Laufzeit)	10.800 €/a	9.600 €/a
<b>= Summe Aufwendungen</b>	<b>1.729.660 €/a</b>	<b>1.687.660 €/a</b>
	ohne Förderung	mit Förderung
<b>Erlöse (netto)</b>	<b>Jahr 1</b>	<b>Jahr 1</b>
• Vermiedene Stromkosten (Eigenverbrauch KWK-Strom)	179.700 €/a	179.700 €/a
• Energiesteuerrückerstattung KWK	18.300 €/a	18.300 €/a
• Zuschuss KWK	51.300 €/a	51.300 €/a
• Erlös Rauchgas-Brennwert-Wärmetauscher	0 €/a	0 €/a
<b>= Summe Erlöse</b>	<b>249.300 €/a</b>	<b>249.300 €/a</b>
	ohne Förderung	mit Förderung
<b>Betriebsergebnis (netto)</b>	<b>Jahr 1</b>	<b>Jahr 1</b>
= Summe Aufwendungen	1.729.660 €/a	1.687.660 €/a
= Summe Erlöse	249.300 €/a	249.300 €/a
<b>= Betriebsergebnis</b>	<b>-1.480.360 €/a</b>	<b>-1.438.360 €/a</b>

Das ermittelte Betriebsergebnis liegt bei -1.438.360 € nach dem 1. Jahr unter Berücksichtigung der Förderung. Das Ergebnis ist negativ, da in der Berechnung der erzeugte Dampf nicht verkauft, sondern selbst genutzt und damit nicht vergütet wird. Hier werden dem-

nach die Aufwendungen aufgezeigt, die nach Abzug der Erlöse vom Unternehmen zu tragen sind.

Die nachfolgende Tabelle 3-11 zeigt die Gestehungskosten die sich für die Wärme bzw. den Dampf ergeben. Die Kalkulation ist ebenfalls auf das Jahr 1 bezogen.

**Tabelle 3-11:** *Gestehungskosten für Wärme/Dampf für das Jahr 1*

	ohne Förderung		mit Förderung	
<b>Gestehungskosten</b> (netto)	Jahr 1		Jahr 1	
<b>Dampf-/Wärmegestehungskosten</b>				
• Betriebsergebnis	1.480.360	€/a	1.438.360	€/a
• Dampf-/Wärmeerzeugung	23.020	MWh/a	23.020	MWh/a
<b>= Dampf-/Wärmegestehungskosten</b>	<b>64,3</b>	<b>€/MWh</b>	<b>62,5</b>	<b>€/MWh</b>

In der Gesamtkalkulation wird das umgesetzte Vorhaben über seinen charakteristischen Zeitraum betrachtet. Da die Finanzierungslaufzeit für das Fremdkapital bei diesem Vorhaben 10 Jahre beträgt, wurden als Betrachtungszeitraum 11 Jahre gewählt.

Im Sinne einer dynamischen Wirtschaftlichkeitsrechnung wurden Preisentwicklungen für die wesentlichen, kostenbestimmenden Einflussgrößen unterstellt. Z.B. unterliegen betriebs- und verbrauchsgebundene Kosten einer Preissteigerung, wogegen die Aufwendungen für Kapitaldienst über den betrachteten Zeitraum konstant bleiben (annuitätischer Kapitaldienst).

Bei der Jahreskalkulation wurde bei den Aufwendungen eine Kostenentwicklung angesetzt. Bei folgenden Aufwendungen und Erlösen wurde eine jährliche Preissteigerung angenommen:

- Personal + 2,0 %/a
- Wartung/Instandhaltung + 2,0 %/a
- Versicherung + 2,0 %/a
- Wasseraufbereitung + 2,0 %/a
- Elektrische Energie + 4,0 %/a
- Brennstoff + 3,0 %/a

Im Ergebnis zeigt Tabelle 3-12 die Gesamtkalkulation über 11 Betriebsjahre.



Tabelle 3-12: Gesamtkalkulation mit 11 Betriebsjahren

Aufwendungen (netto)	Jahre	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Teuerung
Betriebsgebundene Kosten													
• Personalkosten	€/a	31.500	32.800	33.400	34.100	34.800	35.500	36.200	36.900	37.600	38.400	39.200	2,0 %
• Wartung-/Instandhaltung MGT	€/a	14.910	15.500	15.800	16.100	16.500	16.800	17.100	17.500	17.800	18.200	18.500	2,0 %
• Wartung-/Instandhaltung Dampf-Anlage	€/a	8.975	9.300	9.500	9.700	9.900	10.100	10.300	10.500	10.700	10.900	11.200	2,0 %
• Instandhaltung Brennwert-Wärmetauscher	€/a	3.800	4.000	4.000	4.100	4.200	4.300	4.400	4.500	4.500	4.600	4.700	2,0 %
• Versicherung	€/a	5.000	5.200	5.300	5.400	5.500	5.600	5.700	5.900	6.000	6.100	6.200	2,0 %
Verbrauchsgebundene Kosten													
• Wasseraufbereitung	€/a	26.075	27.100	27.700	28.200	28.800	29.400	30.000	30.600	31.200	31.800	32.400	2,0 %
• Eigenstrombedarf Dampf-Anlage	€/a	47.700	51.600	53.700	55.800	58.000	60.400	62.800	65.300	67.900	70.600	73.400	4,0 %
• Brennstoffkosten Hs	€/a	1.031.300	1.094.100	1.126.900	1.160.700	1.195.600	1.231.400	1.268.400	1.306.400	1.345.600	1.386.000	1.427.600	3,0 %
• Brennstoffkosten Hs	€/a	189.100	200.600	206.600	212.800	219.200	225.800	232.600	239.500	246.700	254.100	261.800	3,0 %
Kapitalkosten													
• Kapitalkosten für Fremdkapital (3 % Zins, 10 Jahre Laufzeit, 0 % Eigenkapitalanteil)	€/a	319.700	319.700	319.700	319.700	319.700	319.700	319.700	319.700	319.700	319.700	319.700	0
• Bauzeitinsen (3 % Zins, 10 Jahre Laufzeit)	€/a	9.600	9.600	9.600	9.600	9.600	9.600	9.600	9.600	9.600	9.600	9.600	0
<b>= Summe Aufwendungen</b>	€/a	<b>1.687.660</b>	<b>1.769.500</b>	<b>1.812.200</b>	<b>1.856.200</b>	<b>1.901.800</b>	<b>1.948.600</b>	<b>1.996.800</b>	<b>2.046.400</b>	<b>2.097.300</b>	<b>2.150.000</b>	<b>1.875.000</b>	
Erlöse (netto)													
• Eingesparte Stromkosten Eigenverbrauch	€/a	179.700	194.400	202.100	210.200	218.600	227.400	236.500	245.900	255.800	266.000	276.600	4,0 %
• Energiesteuer (Erstattung voller Satz 0,55 ct/kWh)	€/a	18.300	18.300	18.300	18.300	18.300	18.300	18.300	18.300	18.300	18.300	18.300	
• Zuschuss KWK	€/a	51.300	51.300	51.300	51.300	10.951	0	0	0	0	0	0	
• Erlös Rauchgas-Brennwert-Wärmetauscher	€/a	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,0 %
<b>= Summe Erlöse</b>	€/a	<b>249.300</b>	<b>264.000</b>	<b>271.700</b>	<b>279.800</b>	<b>247.851</b>	<b>245.700</b>	<b>254.800</b>	<b>264.200</b>	<b>274.100</b>	<b>284.300</b>	<b>294.900</b>	
Betriebsergebnis (netto)													
= Summe Aufwendungen	€/a	1.687.660	1.769.500	1.812.200	1.856.200	1.901.800	1.948.600	1.996.800	2.046.400	2.097.300	2.150.000	1.875.000	
= Summe Erlöse	€/a	249.300	264.000	271.700	279.800	247.851	245.700	254.800	264.200	274.100	284.300	294.900	
<b>= Betriebsergebnis</b>	€/a	<b>-1.438.360</b>	<b>-1.505.500</b>	<b>-1.540.500</b>	<b>-1.576.400</b>	<b>-1.653.949</b>	<b>-1.702.900</b>	<b>-1.742.000</b>	<b>-1.782.200</b>	<b>-1.823.200</b>	<b>-1.865.700</b>	<b>-1.580.100</b>	
Gestehungskosten (netto)													
Wärmegestehungskosten													
• Betriebsergebnis	€/a	1.438.360	1.505.500	1.540.500	1.576.400	1.653.949	1.702.900	1.742.000	1.782.200	1.823.200	1.865.700	1.580.100	
• Dampf- und Wärmeerzeugung	MWh/a	23.020	23.020	23.020	23.020	23.020	23.020	23.020	23.020	23.020	23.020	23.020	
<b>= Dampf- und Wärmegestehungskosten</b>	€/MWh	<b>62,5</b>	<b>65,4</b>	<b>66,9</b>	<b>68,5</b>	<b>71,8</b>	<b>74,0</b>	<b>75,7</b>	<b>77,4</b>	<b>79,2</b>	<b>81,0</b>	<b>68,6</b>	



Um die Amortisationszeit des Vorhabens zu ermitteln, wird die Mehrinvestition ins Verhältnis zur jährlichen Einsparung gesetzt. Dabei wird in einem ersten Schritt die Differenz des Betriebsergebnisses einer konventionellen Dampferzeugung und des umgesetzten Vorhabens mit Mikrogasturbine gebildet. Aus den jährlichen Einsparungen wird über elf Betriebsjahre ein Mittelwert gebildet, der schließlich als Berechnungsgrundlage der Amortisationszeit dient. Tabelle 3-13 stellt die Rechnung übersichtlich dar.

**Tabelle 3-13:** *Ermittlung der Amortisationszeit*

Betriebsergebnis konv. Dampferzeugung	-1.522.275 €	-1.599.900 €	-1.640.600 €	-1.682.400 €	-1.725.400 €	-1.769.900 €	-1.815.700 €	-1.862.800 €	-1.911.200 €	-1.961.200 €	-1.775.200 €
Betriebsergebnis Dampferzeugung mit MGT	-1.438.360 €	-1.505.500 €	-1.540.500 €	-1.576.400 €	-1.653.949 €	-1.702.900 €	-1.742.000 €	-1.782.200 €	-1.823.200 €	-1.865.700 €	-1.580.100 €
Einsparung	83.915 €	94.400 €	100.100 €	106.000 €	71.451 €	67.000 €	73.700 €	80.600 €	88.000 €	95.500 €	195.100 €
Mittelwert der Einsparung	95.979 €										
Mehrinvestition ohne Förderung	1.161.000 €										
Mehrinvestition mit Förderung	812.700 €										
<b>Amortisation ohne Förderung</b>	<b>12 Jahre</b>										
<b>Amortisation mit Förderung</b>	<b>8 Jahre</b>										

Der Investitionszuschuss verringert die ursprünglich ermittelte Amortisationszeit von 12 auf 8 Jahre.

Die zuerst ermittelte Amortisationszeit (Planungsstand; siehe Antrag) von 10 Jahren (ohne Förderung) bzw. 7 Jahren (mit Förderung) war etwas geringer. Gründe dafür waren u.a. geringere Energiekosten im Jahr 2013. Auch die bei der Planung kalkulierte Einsparung des Rauchgas-Brennwert-Wärmetauschers trägt noch nicht zur Erhöhung der Erlöse bei.

Die durch Störungen in der Anlaufphase während des ersten Halbjahres 2014 entstandenen Ausfallkosten (Produktionsausfall, Personal, Laufzeitverlust KWK-Anlage) i. H. v. etwa 20 T€ wurden zwischen GU und Bauherrn aufgeteilt.

Da die Strompreise aufgrund eines günstigeren Stromlieferungsvertrages im Jahr 2015 wieder gesunken sind, wird sich die Amortisationszeit im laufenden Jahr etwas erhöhen. Die Lüftungsanlage ist noch in Planung, um zukünftig die Wärme des Rauchgas-Brennwert-Wärmetauschers zu nutzen. Dadurch werden steigende Erlöse erwartet, die die Amortisationszeit wiederum verkürzen.

### 3.6 Technischer Vergleich zu konventionellem Verfahren

Erstmals in Deutschland wurde das Vorhaben zur intelligenten Strom- und Dampferzeugung mit einer Mikrogasturbine im kleinen Leistungsbereich als Neuanlage realisiert. Um einen technischen Vergleich mit konventionellen Verfahren anzustellen, kann hier lediglich die reine Dampferzeugung im herkömmlichen Sinn betrachtet werden.

Die konventionelle Dampferzeugung besteht aus einem Dampfkessel als Flammrohr/Rauchrohrkessel mit Erdgas-Gebläsebrenner. Hier übernimmt der Gebläsebrenner die Überwindung des Druckverlustes von der Luftansaugung über die Brennkammer bis zum Rauchgasweg über Economiser, eventuell nachgeschaltete Rauchgas-Wärmetauscher, Schalldämpfer bis zum Kamin.

Beim hier beschriebenen Verfahren wird ein Verbrennungsluft- Gasturbinenabgasgebläse eingesetzt. „Im Normalbetrieb fördert das Gebläse die Turbinenabgase durch den Brenner und alle nachgeschalteten Kessel-Wärmetauscher und Abgassystem bis zum Kamin. Über das Frischluftsystem kann bei Bedarf zusätzliche Frischluft (Sauerstoff) angesaugt werden. Beim Frischluftbetrieb werden zusätzlich Rezigase aus der vorderen Wendekammer über das VL-Gebläse angesaugt.

Vor dem Gebläse befindet sich eine Mischbox, in welcher die Medien Luft, Rauchgase und GTA zusammengeführt werden.“ ...

„Die Turbinenabgase der Mikrogasturbine werden als Sauerstoffträger am Turbinenabgasbrenner vom Typ SAACKE DDZG-GTM genutzt. Bis zu einer Feuerungsleistung von ca. 3 MW wird der Sauerstoffbedarf ausschließlich mit dem Turbinenabgas und Kernluft (Frischluft; Lambda ca. 0,1) abgedeckt. Bei größerer Leistung wird dann Frischluft beige mischt.

Die Feuerungsanlage kennt drei Betriebsarten:

- Hauptbetrieb: GTA-Betrieb (max. 7,0 MW Feuerungsleistung/FWL )
- Notbetrieb HEL: Frischluftbetrieb mit Leichtöl (max. 7,0 MW FWL)
- Abhitzebetrieb: GTA-Abgase ohne Zusatzfeuer (nur Zünd-Brenner) zur Warmhaltung durch Kessel

Als Brennstoff kommen Erdgas und Leichtöl/HEL zum Einsatz.“ (Zitate Fa. Saacke Hr. Lindner , Verfahrensbeschreibung Interquell 07/2013).

Im Vergleich zu einer konventionellen Dampferzeugung ist neben der Mikrogasturbine als KWK-Aggregat die wesentlich aufwändigere Frisch- und Heißluftverrohrung mit der entsprechenden Klappen-Regelung als Verbrennungsluftzuführung für den GTA-Brenner

mit Gasturbinen-Abgasgebläse, Bypassleitung für den MGT-Anfahrbetrieb und natürlich der GTA-Brenner selbst zu nennen. Der Platzbedarf für diese Aggregate entspricht in etwa dem Platzbedarf des Kessels. (siehe Abbildung 3-11).



**Abbildung 3-11** *Kesselhaus Interquell Großaitingen mit MGT und GTA-Brenner*

Die Größe des in Abbildung 3-11 noch ungedämmten GTA-Brenners und seine Oberflächentemperatur im Gasturbinen-Abgas-Betrieb mit ca. 280°C verdeutlicht die Erfordernis einer effizienten Wärmedämmung. Diese wurde als Matratzen- oder auch Dämmkissenisolierung ausgeführt (Abbildung 3-12). Diese Maßanfertigung hat bei sehr guten Dämmeigenschaften den Vorteil, dass sie beispielsweise für Wartungszwecke relativ leicht de- und wiedermontiert werden kann.

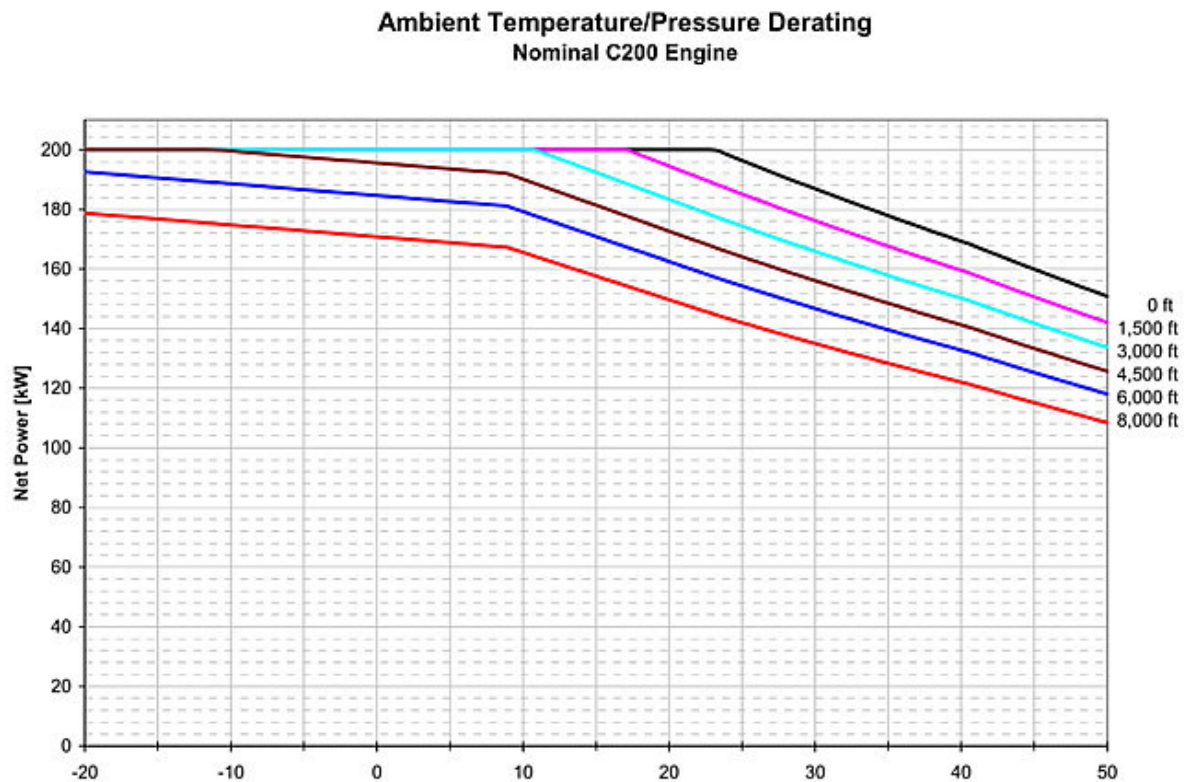


Abbildung 3-12 *Gasturbinen-Abgasbrenner mit „Matratzenisolierung“*

## 4. Empfehlungen

### 4.1 Erfahrungen aus der Praxiseinführung

Zu beachten ist generell beim Einsatz von (Mikro-) Gasturbinen die Abhängigkeit der elektrischen Leistung bzw. des elektrischen Wirkungsgrades von den Druck- und Dichteverhältnissen der Ansaug- und Verbrennungsluft sowie der Heißgasführung. Die Dichte der Luft ist von der Aufstellhöhe über dem Meeresspiegel sowie der Temperatur abhängig. Deren Auswirkungen auf die elektrische Nennleistung zeigt das Diagramm des Herstellers Capstone in Abbildung 4-1. Für das Projekt Interquell in Großaitingen auf 539 m. ü. NN, was etwa 1.768 Fuß (ft) entspricht, zeigt der Blick auf das Diagramm, dass etwa ab 15°C mit steigender Außentemperatur eine abnehmende elektrische Leistung zu erwarten ist. Eine möglichst hohe elektrische Leistung setzt also voraus, dass die Ansaugluft nicht aus dem warmen Kesselhaus sondern von außen über Luftkanäle dem Aggregat zugeführt werden sollte. Da die Luftfilter im Gehäuse der Gasturbine verbaut sind, die nur über die Ansaugöffnung erreicht werden können, sollte zu deren Reinigung ein leicht zu demonstrierendes Kanalstück oder bei hoher Luftbelastung zusätzlich ein Vorfilter vorgesehen werden. Dabei ist zu beachten, dass sich die Druckverluste der Ansaugung, ebenso wie der Abgasgegendruck leistungsmindernd auswirken können. Ein Abgasgegendruck von 2,5 mbar hat beispielsweise eine Leistungsminderung von 0,4 % bzw. 0,8 kW zur Folge. Bei einer Luftansaugung mit 2,5 mbar (2.500 Pa) muss mit einer Minderung von 0,6 % bzw. 1,2 kW gerechnet werden. (Umgerechnet aus Herstellerangaben: CAPSTONE TURBINE CORPORATION; CAPSTONE C200 MICROTURBINE TECHNICAL REFERENCE, June 2009)



**Abbildung 4-1**      *Elektrische Nennleistung, Höhenlage und Ansaugtemperatur  
(Grafik capstone)*

#### 4.2 Neuerungen in der Umsetzung (im Vergleich zum Planungsstand)

Es wurde festgestellt, dass sobald sich der Kessel im Teillastbereich unter 17 % der Nennleistung befindet, die MGT in Teillast betrieben werden muss um eine übermäßige Auskühlung der Brennerflamme durch das Heißgas der MGT und eine damit verbundene Emissionserhöhung (CO-Bildung) zu unterbinden. Das Verhältnis stimmt nicht mehr, die geplanten Vollbenutzungstunden wurden u.a. dadurch nicht erreicht.

Der Abgasbrennwerttauscher (Abbildung 3-10) wurde installiert – die Wärmenutzung durch eine Zuluftanlage zum Ausgleich der Luftbilanz der beiden Silogebäude befindet sich aber nach wie vor im Planungsstatus. Daher konnte der Effizienznachweis für diese Komponente noch nicht erbracht werden.



### 4.3 Modellcharakter (Verbreitung und weitere Anwendung des Verfahrens/ Anlage/ Produkt)

Wie unter Punkt 3.6 bereits dargestellt, besteht die konventionelle Dampferzeugung aus einem Dampfkessel als Flammrohr/Rauchrohrkessel mit Erdgas-Gebläsebrenner. Diese Variante der Dampferzeugung ist derzeit für diesen Leistungsbereich der Stand der Technik. Kraft-Wärme-Kopplung konnte in dieser Größenordnung bislang nicht realisiert werden, da meist die Rahmenbedingungen, wie entsprechend hohe Grundlast und damit eine wirtschaftliche Mindestgröße zum Betrieb einer Dampfturbine in kleinen und mittelständischen Unternehmen nicht gegeben sind. Möglichkeiten zur Dampferzeugung aus dem Abgas von Erdgas-Blockheizkraftwerken bestehen zwar, jedoch ist die Wärmesenke zur Nutzung der anfallenden Niedertemperatur-Abwärme in Form des Motorkühlwassers in den Unternehmen meist nicht vorhanden, so dass ein hoher Nutzungsgrad und damit eine erforderliche Effizienz und Wirtschaftlichkeit meist nicht erreicht werden können.

Bei dieser Branchenlösung handelt es sich um ein „Leuchtturmprojekt“, welches eine alternative energieeffiziente Technik präsentiert. Der Einsatz des hier beschriebenen Vorhabens führt im Anwendungsfall zu langfristigen Einsparungen von fossilen Energieträgern.

Die regelungstechnische Kombination der Komponenten konventioneller Dampfkessel, Mikrogasturbine, Spezialbrenner und Brennwerttauscher bietet sehr großes Potential, den strengen Anforderungen der Zukunft gerecht zu werden und die Kraft-Wärme-Kopplung auch in diesem Leistungsbereich zu etablieren.

Dadurch, dass es in Deutschland in Bezug auf die Mikrogasturbine keinen vergleichbaren Anwendungsfall gibt, bei dem die Kraft-Wärme-Kopplungseinheit einen Nutzungsgrad von über 97 Prozent erreicht, hat dieses Vorhaben Demonstrationscharakter. Die thermische Energie der Kraft-Wärme-Kopplung gewährleistet bei Produktionsstillstand die Warmhaltung des Dampfkessels. Diese Energie musste bisher durch den Gasbrenner bereitgestellt werden. Die thermische Leistung der Mikrogasturbine von 395 kW macht dabei gerade einmal 6 Prozent der maximalen Feuerungsleistung des Dampfkessels aus. Diese Minimallast ist von konventionellen Erdgasbrennern, deren Regelbereich auf die Kesselnennlast ausgelegt ist, kaum erreichbar. Der zusätzliche Einsatz eines Brennwerttauschers, der die Abgas-Abwärme des Dampfkessels sinnvoll zur Wärmebereitstellung der Lüftungsanlagen nutzt, verringert zusätzlich den Bedarf an Primärenergie und somit die Entstehung von CO<sub>2</sub>-Emissionen.



Die Neuartigkeit des Vorhabens besteht darin, verschiedene bereits auf dem Markt befindliche Komponenten erstmalig zu kombinieren. Dadurch lässt sich Kraft-Wärme-Kopplung mit Dampferzeugung auch im kleinen Leistungsbereich technisch und wirtschaftlich realisieren. Zusätzlich wird mit Hilfe eines Brennwerttauschers die verbliebene Abgaswärme des Dampfkessel in Zukunft nachhaltig sinnvoll genutzt, indem sie der Wärmebereitstellung der geplanten neuen Lüftungsanlagen für Produktions- und Silogebäude dient.

Das Vorhaben demonstriert seine Vorteile nun in der Praxis. Grundsätzlich sind die Ergebnisse auf alle Branchen und auf alle Regionen in Deutschland übertragbar. Jedoch wird gerade für Branchen, die die Dampferzeugung in kleiner und mittlerer Größenordnung betreiben, eine Möglichkeit demonstriert, die eine ökonomisch sowie ökologisch sinnvolle Alternative zur konventionellen Dampferzeugung bietet.

Dass das Projekt Modellcharakter hat und zur Nachahmung anregt, zeigt sich bereits jetzt anhand einiger Anlagen, die genau nach diesem Vorhaben umgesetzt wurden.

Ein ähnliches Projekt wurde z.B. von der VSM AG Hannover realisiert. Auch hier wurde eine 200 kW MGT von Capstone mit einem 8 t/h Dampfkessel kombiniert. Die Inbetriebnahme fand 2015 statt.

Eine etwas größere Anlage wurde von der Brauerei Veltins errichtet. Der Dampfkessel liefert 25 t/h mit Hilfe einer Mikrogasturbine mit 600 kW<sub>el</sub>. Die Anlage wurde 2014 in Betrieb genommen.



#### 4.4 Zusammenfassung

Die Kombination aus Mikrogasturbine, Gasturbinen-Abgasbrenner und konventionellem Dampfkessel hat das erste Betriebsjahr nach Anlaufschwierigkeiten erfolgreich absolviert. Die Nachverbrennung heißer Turbinenabgase funktioniert mittlerweile über alle Leistungsbereiche des Dampferzeugers problemlos. Die anspruchsvolle Aufgabenstellung für den Brenner und dessen Steuerung, sowohl mit Turbinenabgas bei 280°C und ca. 17,5 % Sauerstoffgehalt als auch mit Frischluft bei Außentemperatur und 21 % Sauerstoffanteil und allen Mischzuständen dazwischen eine effiziente Dampferzeugung im (Abhitze-) Kessel zu ermöglichen, wurde erfüllt. Das Messprogramm konnte einen effizienten Anlagenbetrieb nachweisen, der durch die KWK erhebliche wirtschaftliche Vorteile auch im Vergleich zu konventionellen Neuanlagen nach dem Stand der Technik aufweist. Ebenso stellt die gesamte Dampferzeugung einen Effizienzsprung im Vergleich zur Altanlage des Unternehmens dar, da neben der hohen Erzeugungseffizienz im Kesselhaus durch die Einrichtungen zur Wärmerückgewinnung und Abwärmenutzung aus Brüden weitere Potenziale erschlossen werden konnten.

## 5. Anhang/Anlagen

### 5.1 Abkürzungsverzeichnis

MGT	Mikrogasturbine
GTA	Gasturbinenabgas-Erdgas-Brenner
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
PV	Photovoltaik
BImSchV	Bundes-Immissionsschutzverordnung
BetrSichV	Betriebssicherheitsverordnung
SSGU	Schallschutzgutachten
ZÜS	Zulässigen Überwachungsstelle
WRG	Wärmerückgewinnung
HeiKo	Heizkondensator
EVU	Energieversorgungsunternehmen
GLT	Gebäudeleittechnik
Vbh	Vollbenutzungstunden
KWKG	Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz

### 5.2 KWK-Gutachten

### 5.3 Verfahrensbeschreibung Fa. Saacke

### 5.4 Fließbild KWK-Anlage Fa. Saacke



# KWK-GUTACHTEN

## **Sachverständigengutachten nach §6 Abs. 1 S. 3 Nr.4 Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz für die Mikrogastur- bine mit GTA-Brenner und Dampferzeugung der In- terquell GmbH im Werk Großaitingen**

Auftraggeber: Interquell GmbH  
Südliche Hauptstr. 38.  
86517 Wehringen

Ansprechpartner: Herr Alfred Schmid  
Technischer Leiter Interquell GmbH Großaitingen  
Bahnhofstraße 94  
86845 Großaitingen  
Tel.: +49 (8203) 9601-13  
email: [te@interquell.de](mailto:te@interquell.de)

Auftragsdatum: 22. Januar 2014

Berichterstatter: Dipl.-Ing (FH)  
eta Energieberatung GbR  
Löwenstraße 11  
85276 Pfaffenhofen a.d. Ilm  
Tel.: (08441) 49 46 - 42  
email: [bernhard.negele@eta-energieberatung.de](mailto:bernhard.negele@eta-energieberatung.de)

KWK-Anlagennummer: 130379 (BAFA)

Berichtsdatum: 21. Februar 2014

# **eta Energieberatung**

eta Energieberatung GbR

Diplomingenieure F. Ilmberger und V. Schäfer

Löwenstraße 11 • 85276 Pfaffenhofen

Telefon (0 8441) 49 46 - 42

Telefax (0 8441) 49 46 - 40

E-Mail [bernhard.negele@eta-energieberatung.de](mailto:bernhard.negele@eta-energieberatung.de)

[www.eta-energieberatung.de](http://www.eta-energieberatung.de)

# Inhalt

<b>1 Aufgabenstellung .....</b>	<b>4</b>
<b>2 Nachweis der KWK-Anlagenkategorie nach §5 KWKG .....</b>	<b>5</b>
2.1 Nachweis über die Erstaufnahme des Dauerbetriebs.....	5
2.2 Nachweis über die elektrische Netto-Nennleistung der KWK-Anlage .....	5
2.3 Erklärung zur Fernwärmeverdrängung .....	5
<b>3 Anlagensystematik nach Abschnitt 3 FW 308.....</b>	<b>6</b>
<b>4 Ermittlung der Eigenschaften der Anlage.....</b>	<b>8</b>
4.1 KWK-Nutzungsgradpotenzial gemäß Anlage 2 FW 308.....	8
4.2 Nachweis der Stromkennzahlen [nach AGFW Arbeitsblatt FW308 Anlage 1] .....	11
4.2.1 Leistungsbezogene Stromkennzahl im Auslegungszustand .....	11
4.2.2 Arbeitsbezogene Stromkennzahl .....	11
4.3 Ermittlung des KWK-Nutzungsgrades.....	13
<b>5 Verfahren zur Ermittlung der eingesetzten Brennstoffmenge und der KWK-Produkte ..</b>	<b>14</b>
5.1 Methodik zur Ermittlung der KWK-Produkte und der eingesetzten Brennstoffmenge .....	14
5.2 Bestimmung der KWK-Produkte .....	14
5.3 Zuschlagsberechtigte KWK-Strommenge .....	15
5.4 Hocheffizienzkriterium .....	16
<b>6 Erklärung Wärmenetzbetreiber.....</b>	<b>17</b>
<b>7 Literaturverzeichnis.....</b>	<b>18</b>
<b>8 Aufnahme des Dauerbetriebs.....</b>	<b>19</b>



# 1 Aufgabenstellung

Die Interquell GmbH betreibt im Werk Großaitingen ein Kesselhaus zur Dampferzeugung mit einer Kombination aus Mikrogasturbine (Capstone MGT C-200), Gasturbinen-Abgas-Brenner (GTA) und (Abhitze-) Kessel. Der erzeugte Strom mit einer Bruttoleistung von maximal 200 kW soll im Werk selbst genutzt werden. Die Turbinenabgase der Mikrogasturbine werden als Sauerstoffträger am Turbinenabgasbrenner vom Typ SAACKE DDZG-GTM genutzt. Bis zu einer Feuerungsleistung von ca. 3 MW wird der Sauerstoffbedarf ausschließlich mit dem Turbinenabgas und Kernluft (Kühlluft des Brenners) abgedeckt. Bei größerer Leistung wird dann Frischluft beigemischt. Der Dampfkessel (Bosch Industriekessel GmbH, Nr. 114081 Typ UL-S 10000 x 13) kann bis zu 10 t/h Sattdampf mit 12 bar(a) bei einer Feuerungswärmeleistung des GTA-Brenners von knapp 7 MW erzeugen. Die aus der Mikrogasturbine zugeführte Wärme hat dabei nach Angaben des Herstellers Capstone einen Anteil von ca. 395 kW bei Nennlast und direkter Heißgasverwendung (vgl. EN 12953 Leistungs- und Wirkungsgradangaben bei Luftansaugung von 25°C).

Um in den Genuss der Energiesteuerbefreiung für das eingesetzte Erdgas nach §53a EnStG sowie der Zahlung des KWK-Zuschlages nach KWKG zu kommen, muss eine Zulassung nach § 6 KWKG bei der BAFA beantragt werden. Da die o.g. Anlagenkonfiguration als „nicht serienmäßig hergestellte KWK-Anlage“ eingestuft wird, wurde nach § 6 Abs. 1 S. 3 Nr. 4 Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz das vorliegende Sachverständigengutachten nach den anerkannten Regeln der Technik erstellt.

## 2 Nachweis der KWK-Anlagenkategorie nach §5 KWKG

### 2.1 Nachweis über die Erstaufnahme des Dauerbetriebs

Die Mikrogasturbine C-200 wird als hocheffiziente KWK-Anlage mit einer elektrischen Netto-Nennleistung  $\leq 2$  MW entsprechend KWKG § 5 Abs. 1 Nr. 1 und 2 eingestuft. (siehe 5.4.)

Die Erstaufnahme des Dauerbetrieb wird gemäß Abnahmeprotokoll Anlage [1] vom 22.10.2013 dokumentiert. Die Mikrogasturbine wurde als Teil der Gesamtleistung eines Generalunternehmers (Dampferzeugung mit KWK-Mikrogasturbine, Anbindung an die Produktionsanlagen, Fa. Lausser) errichtet. Mit Baufortschritt im laufenden Produktionsbetrieb des Lebensmittelunternehmens waren daher Teilbetriebnahmen (MGT; Kessel etc.) erforderlich bevor der eigentliche Probebetrieb in KW4/5 2014 durchgeführt werden konnte.

### 2.2 Nachweis über die elektrische Netto-Nennleistung der KWK-Anlage

Vom Hersteller der Mikrogasturbine Capstone liegt neben dem Datenblatt (Anlage [3]) auch eine „Anlage 2\_Beschreibung Netzleistung C200.pdf“ [2] vor. Die „Ausgangsleistung unter ISO“ Bedingungen von 200 kW ist als elektrische Nettoleistung zu verstehen, da zur Stromerzeugung erforderliche Aggregate wie Frisch- u. Kühlluftventilator, Wechselrichter und Steuerung über ein MGT-internes 24 V Netzteil versorgt werden. Die Mikrogasturbine wird vom Gasnetzbetreiber Schwaben-Netz mit Hochdruck-Erdgas  $>5,2$  bar (a) versorgt, so dass zum Betrieb der KWK-Anlage keine Eigenstromverbraucher außerhalb des Moduls wie Gasverdichter o.ä. erforderlich sind. Der geeichte Stromzähler der LVN (Anlage 4\_LVN Anlagendatenblatt Eigenerzeugungsanlage\_MGT GA.pdf [4]) zählt somit den Nettostrom.

### 2.3 Erklärung zur Fernwärmeverdrängung

Die neu errichteten KWK-Anlage als Kombination von Mikrogasturbine, GTA-Brenner und Dampferzeuger/Kessel im Werk 86845 Großaitingen, Bahnhofstraße 94 der Fa. Interquell GmbH produziert Prozessdampf mit 12 bar (a). Am Standort ist keine Fernwärmeverversorgung verfügbar, die dadurch verdrängt werden könnte.

### 3 Anlagensystematik nach Abschnitt 3 FW 308

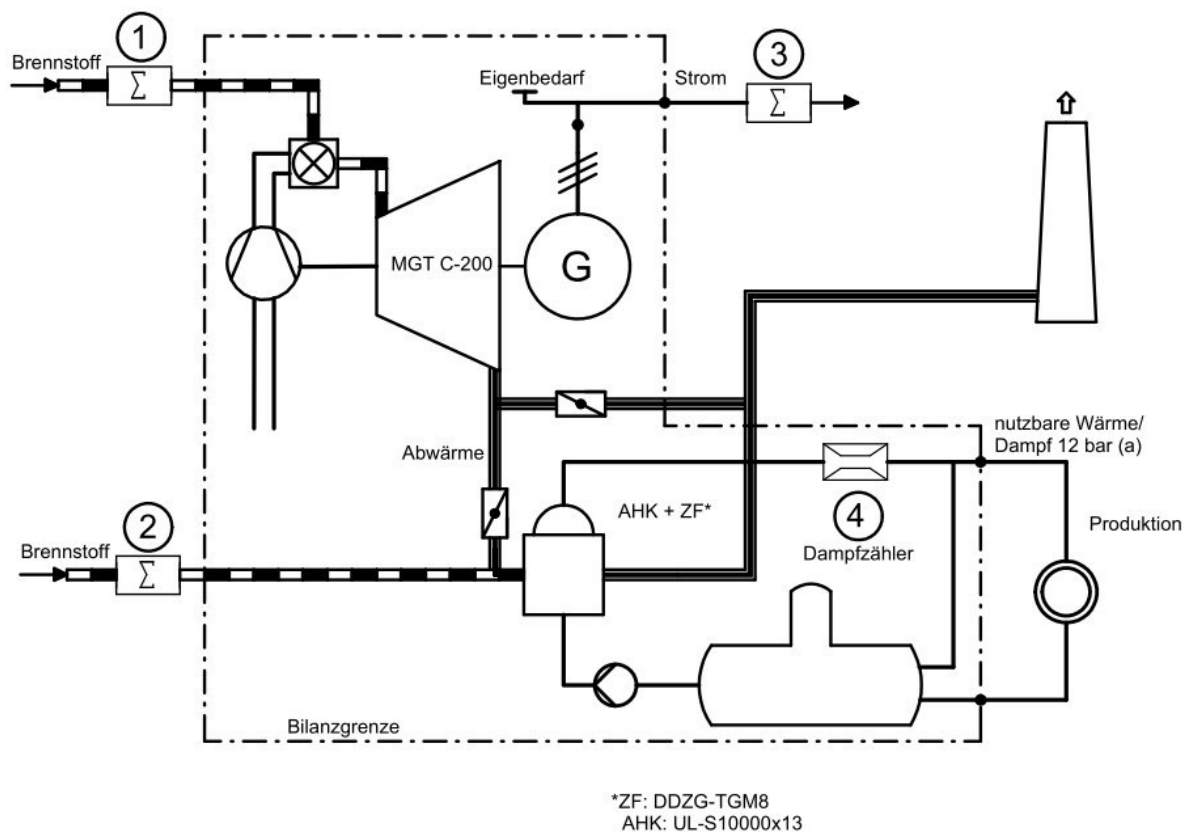


Abbildung 3-1 Anlagenschema Mikrogasturbine mit Abhitzeessel (Dampfkessel) und Zusatzfeuerung (GTA-Brenner)

Nr.	Messstellen	Messverfahren / Hersteller Bezeichnung	Größe/Typ	Gerätenummer
1	Gasbezug MGT	Drehkolbengaszähler Elster-Instromet Zustands-Mengenwerter mit Druck-/Temp.aufnehmer	G 16 / DP 16 / DN 50 Elster-Instromet EK 280	77001094 4462811
2	Gasbezug Kessel	Drehkolbengaszähler Elster-Instromet Zustands-Mengenwerter mit Druck-/Temp.aufnehmer	G 650 / DP 16 / DN 150 Elster-Instromet EK 280	20532344 4462810
3	Stromeinspeisung KWK	Elektronischer Drehstromzähler Elster Fernauslesung Dr. Neuhaus Telekommunikation	A1500 ZDUE-GPRS-PLUS-VI	480506 30002009
4	Dampfzähler (Wärmeerzeugung)	Siemens Sitrans FX 300	DN 150	V-Nummer: 7ME2

Tabelle 3-1 Tabelle Messstellen





Bez.	Hersteller	Typ/Nr	Bj.	Nennleistung	Bemerkung
MGT	Capstone	C-200, Nr. 7491	2013	200 kW <sub>el</sub> 395 kW <sub>th</sub>	Hochdruckausführung HD
AHK	Bosch Industriekessel GmbH	UL-S 10000 x 13, Herstell-Nr.:114081	2013	6.846 kW <sub>th</sub>	Dampfkessel 12 bar(a)
ECO	Bosch Industriekessel GmbH	ECO1 1750/10/10 , Nr.: 1105991	2013	409 kW <sub>th</sub>	Economizer
ZF	SAACKE GmbH	DDZG-TGM 8, Nr.: 114081	2013	6.900 kW <sub>th</sub>	Gasturbinenabgasbrenner
SPW	Gestra	Behälter SW 08 (8m <sup>3</sup> ); Entgaserdom NDR 650 (8,1 – 11,0 m <sup>3</sup> /h)	2013	138 (*) kW <sub>th</sub>	Speisewasserbehälter m. Entgaserdom * P <sub>th</sub> über Da-Ko-Enthalpie berechnet.

**Tabelle 3-2**      *Tabelle der Hauptkomponenten*

Die Interquell Anlage „Mikrogasturbine mit Gasturbinen-Abgas-Brenner und Dampferzeugung“ wird gemäß Abschnitt 3 der FW 308 als Gasturbine mit Abhitzekeessel und Zusatzfeuerung (GT-AHK-ZF) eingestuft. Da die Anlage über eine Bypassklappe zur direkten Abwärmeabfuhr in den Kamin verfügt, wird sie der Systematik 3.1. „KWK-Anlagen mit ungekoppelter Stromerzeugung und ohne Stromverlust“ zugeordnet.

Der Bypassbetrieb wird bei Normalbetrieb mit einmalig kleiner/gleich 5 Minuten Durchlüftungszeit angesetzt. „Der Bypass für die Turbine ist notwendig, damit die Turbine überhaupt ohne externe Störeinflüsse gestartet werden kann. Da Startvorgang der Turbine und Durchlüftungszeit des Kessels nicht weit voneinander abweichen, sind die eben erwähnten 5 Minuten bereits sehr konservativ angesetzt.“ (Fa. Saacke/Jens von der Brüggen & Björn Colmorgen Email vom 5.2.2014; siehe Anlage [6]).

## 4 Ermittlung der Eigenschaften der Anlage

<b>Herstellerangaben Datenblatt MGT</b>		Capstone C-200, Seriennummer 7491 - Hochdruckausführung HD	
Brennstoffwärmeleistung ( $H_u$ bzw. $H_I$ )	$P_{W\ KWK}$	606,0 kW	
Stromerzeugung (brutto)	$P_{el\ Bbr\ KWK}$	k.A.	
Eigenstromverbrauch/-leistung		k.A.	
Stromerzeugung (netto)	$P_{el\ BneKWK}$	200,0 kW	
KWK-Wärmeleistung	$P_{Q\ Bne\ KWK}$	395,0 kW	bei direkter Heißgasverwendung
<b>Ablesungen Zähler bzw. Lastgang EVU</b>			
Brennstoffwärmeleistung ( $H_u$ bzw. $H_I$ )	$P_{W\ KWK}$	624,0 kW	Auf Erdgas - Heizwert bezogen, eigener HD-Gaszähler
Stromerzeugung (brutto)	$P_{el\ Bbr\ KWK}$	208,2 kW	Ablesung Generatorleistung am capstone Display (31.01.2014)
Eigenstromverbrauch/-leistung	$P_{el\ B\ Eig\ KWK}$	10,6 kW	
Stromerzeugung (netto)	$P_{el\ BneKWK}$	197,6 kW	Ablesung (31.01.2014); Zählung Netzbetreiber ist Nettostrom
KWK-Wärmeleistung	$P_{Q\ Bne\ KWK}$	371,8 kW	Heißgasleistung nach Abzug Kesselverluste (Betriebswerte)
<b>Dampfkessel</b>		Bosch Industriekessel GmbH, UL-S 10000 x 13, Herstell-Nr.:114081 (BJ 2013)	
Bruttowärmeleistung (Nennlast)	$P_{Q\ Bbr,\ th}$	6.528,0 kW	
Brennstoffwärmeleistung Kessel	$P_{W\ Kessel}$	6.846,0 kW	
Kesselwirkungsgrad		95,4%	Herstellerangabe Datenblatt Fa. Bosch
Dampfenthalpie bei 12 bar(a)	$h_D$	2.784 kJ/kg	
Enthalpie Speisewasser	$h_{SpW}$	418 kJ/kg	Druck Speisewasserbehälter 1,2 bar (a)
Enthalpie Kondensatrücklauf (Mittelwert)	$h_{Ko}$	377 kJ/kg	Mittelwert Kondensatrücklauftemperatur 95°C
Umrechnungsfaktor Dampfzählung		657,10 kWh/t	

**Tabelle 4-1** Leistungswerte MGT (Herstellerangaben und Messungen) sowie Kessel

### 4.1 KWK-Nutzungsgradpotenzial gemäß Anlage 2 FW 308

Der Nutzungsgrad  $\zeta_{neA}$  der Interquell Anlage überschreitet das vorgegebene normierte Nutzungsgradpotential  $\zeta_{neKWK}^* = 0,8$ . Da der Hersteller der MGT, Capstone auf dem Datenblatt (siehe Anlage [3]) lediglich die elektrische Nennleistung des Aggregates (keine Leistungsangaben zu Hilfsaggregaten bzw. Angabe der Bruttoleistung) angibt, wurde der Nachweis über die, während des Probetriebes vom 20.1.2014 bis 03.02.2014 abgelesenen Leistungsdaten der Mikrogasturbine (Generatorleistung „gen“, Einspeiseleistung „out“, siehe Abbildung 4-2) erbracht. Nur so konnte der elektrische Betriebseigenverbrauch ermittelt werden. Nachdem die zum Betrieb des KWK-Aggregates erforderlichen Nebenaggregate wie Verbrennungs-/Kühlluftventilator, Gleich-/Wechselrichter und Steuerung intern über ein Netzteil versorgt werden, ist diese „Nennleistung“ als Nettoleistung zu verstehen.

Die Herstellerangabe zur thermischen Leistung der MGT bei direkter Gasnutzung ohne nachgeschalteten Abgaswärmetauscher wurde anteilig um den Verlust des Dampferzeu-

gers (Abgas- und Abstrahlungsverlust) vermindert. Da die Herstellerangaben des Dampferzeugers nicht den Betrieb mit einer vorgeschalteten Mikrogasturbine wiedergeben, wurde der Abgasverlust bei Nennlast des Gasbrenners aus Ablesung von Abgastemperatur und O<sub>2</sub>-Gehalt an der Anlagensteuerung (Abbildung 3-1) abgelesen und über die Siegert'sche Formel berechnet (Tabelle 4-2). Dieser Rechenweg wurde gewählt, da eine zeitgleiche leistungsmäßige Erfassung der Dampferzeugung (Dampfzähler) und der Kessel-Brennstoffleistung mit Abgleich zur MGT nicht gewährleistet werden konnte.

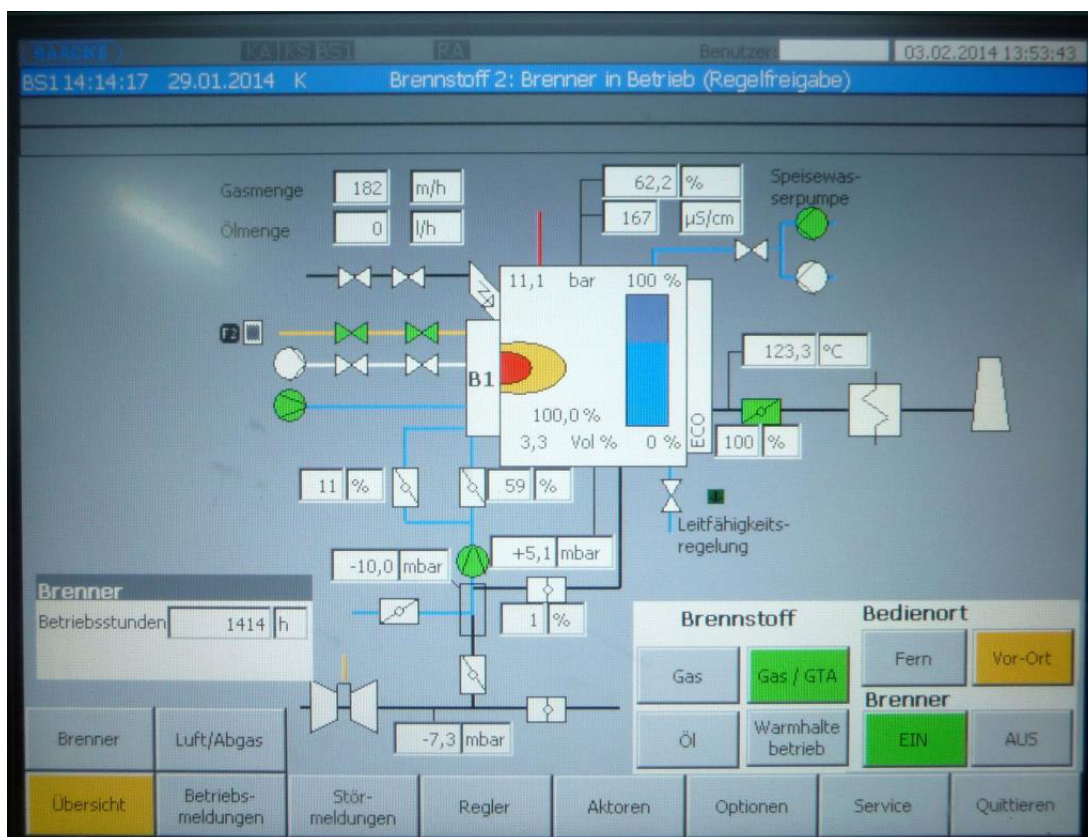


Abbildung 4-1 *Display Schaltschrank Brennersteuerung bei Nennlast*

	Auslegung Loos	Teillast Ablesung	Vollast Ablesung
<b>Abgastemperatur</b>	124,0 °C	112,0 °C	123,3 °C
<b>Zulufttemperatur/Frischlufft</b>	25,0 °C	10,0 °C	10,0 °C
<b>O<sub>2</sub>-Sauerstoffgehalt des Abgases</b>	2,1 %	3,9 %	3,3 %
<b>Abgasverlust q<sub>A</sub></b>	4,35 %	4,85 %	5,24 %
<b>Strahlungsverlust Gasbetrieb</b>	0,34%		
<b>Brüdenverlust Entgasung</b>	0,30%		
<b>Abgas-/Strahlungs-/Brüdenverlust:</b>	4,99%	5,49%	5,88%

**Tabelle 4-2** Berechnungstabelle für Kesselverluste mit Sieger'scher Formel

Der leistungsbezogene Netto-Brennstoffnutzungsgrad errechnet sich somit zu

$$\zeta_{neKWK} = \frac{P_{el\ BneKWK} + P_{Q\ BneKWK}}{P_{W\ KWK}} = \frac{197,6\ kW + 371,8\ kW}{624,0\ kW} = 0,912.$$



**Abbildung 4-2** Display Mikrogasturbine mit Leistungswerten Stromerzeugung

## 4.2 Nachweis der Stromkennzahlen

[nach AGFW Arbeitsblatt FW308 Anlage 1]

### 4.2.1 Leistungsbezogene Stromkennzahl im Auslegungszustand

Die zur Berechnung der KWK-Stromerzeugung maßgebliche Kennzahl ist die Stromkennzahl des KWK-Prozesses  $\sigma_{neKWK}$ . Sie bezieht sich ausschließlich auf den KWK-Anteil der Nettostromerzeugung und ist definiert als:

$$\sigma_{neKWK} = \frac{A_{BneKWK}}{Q_{BneKWK}},$$

mit  $A_{BneKWK}$  = KWK-Nettostromerzeugung;  $Q_{BneKWK}$  = KWK-Nettowärmeerzeugung.

Die leistungsbezogene Stromkennzahl ergibt sich aus den unter 4.1 hergeleiteten bzw. gemessenen Betriebswerten zu

$$\sigma_{neKWK} = \frac{\dot{A}_{BneKWK}}{\dot{Q}_{BneKWK}} = \frac{197,6 \text{ kW}}{371,8 \text{ kW}} = 0,5314 .$$

### 4.2.2 Arbeitsbezogene Stromkennzahl

Zur Ermittlung der arbeitsbezogenen Kennzahlen wurden die, während des Probetriebs der Anlage vom 20.1.2014 bis 3.2.2014 ermittelten Messwerte (siehe Tabelle 4-3), herangezogen.

Da  $\zeta_{neKWK} = 0,912 \geq \zeta_{neKWK}^* = 0,8$

und somit der Nutzungsgrad das Nutzungsgradpotenzial überschreitet, gilt:

$$A_{BneKWK,v} = A_{Bne}$$

Die KWK-Nettowärmeerzeugung  $Q_{BneKWK}$  kann nicht unmittelbar gemessen werden (Heißgas!), sondern muss rechnerisch über die geeichten Zähler der Gasverbräuche der Mikrogasturbine  $W_{KWK}$  und des Gasbrenners  $W_{th}$ , die Wärmeerzeugung des gasbefeuerten Dampfkessels  $Q_{Bne}$  sowie der Stromerzeugung der MGT  $A_{Bne}$  hergeleitet werden. Dabei wurde für  $Q_{Bne}$  von der Dampfzählung (Enthalpiedifferenz aus Dampf- und Speisewasserenthalpie siehe Tabelle 4-1) ein Anteil von 2% zur Speisewasseraufbereitung inkl. Brüdenverluste abgezogen. Die Abwärme der Gasturbine  $Q_{ABKWK}$ , die nicht über den Heißgasstrom dem Kessel zugeführt wird, wurde aus dem Abgleich der gemessenen/abgelesenen Leistungswerten der MGT mit den Herstellerangaben bei direkter Heißgasverwendung mit einem Anteil von 3,3 % der zugeführten Brennstoffleistung ermittelt.

Darin enthalten ist ein Anteil von 0,35% für einen Anfahrprozess pro Tag, bei dem über 5 Minuten die Wärmeerzeugung über Abgas-Bypass abgeführt wird.

Die KWK-Nutzwärme oder Nettowärmearbeit errechnet sich damit wie folgt:

$$\frac{Q_{BneKWK}}{Q_{Bne}} = \frac{W_{KWK} - A_{Bne} - A_{BEig} - Q_{ABKWK}}{W_{th} + (W_{KWK} - A_{Bne} - A_{BEig} - Q_{ABKWK})} \quad \text{nach } Q_{BneKWK} \text{ aufgelöst:}$$

$$Q_{BneKWK} = Q_{Bne} \cdot \frac{W_{KWK} - A_{Bne} - A_{BEig} - Q_{ABKWK}}{W_{th} + (W_{KWK} - A_{Bne} - A_{BEig} - Q_{ABKWK})}$$

$$Q_{BneKWK} = 1.005.196 \text{ kWh} \cdot \frac{165.577 \text{ kWh} - 49.934 \text{ kWh} - 2.679 \text{ kWh} - 5.519 \text{ kWh}}{985.252 \text{ kWh} + (165.577 \text{ kWh} - 49.934 \text{ kWh} - 2.679 \text{ kWh} - 5.519 \text{ kWh})}$$

$$Q_{BneKWK} = 98.841 \text{ kWh}$$

Die vorläufige arbeitsbezogene Stromkennzahl ergibt sich zu:

$$\sigma_{neKWK A,v} = \frac{A_{Bne}}{Q_{BneKWK}} = \frac{49.934 \text{ kWh}}{98.841 \text{ kWh}} = 0,5052$$

**Bilanzierung über Probetrieb 20.1.2014 (13:00) bis 3.2. 2014 (13:00)**

Brennstoff Erdgas MGT/KWK	$W_{Br, EG/KWK}$	165.577 kWh	
Brennstoff Erdgas Kessel gesamt	$W_{Br, EG/Ke}$	985.252 kWh	
Brennstoff HEL Verbrauch Kessel	$W_{Br, HEL/Ke}$	0 kWh	
Bruttostromerzeugung	$A_{Bbr}$	52.613 kWh	Berechnet aus gemessener Nettostromerzeugung und Eigenbedarfsanteil
Eigenbedarf BHKW/KWK	$A_{BEig KWK}$	2.679 kWh	
Nettostromerzeugung	$A_{bne}$	49.934 kWh	Zähler Netzbetreiber LVN - aus Lastganganalyse
Wärmeerzeugung (brutto)	$Q_{Bbr}$	1.025.736 kWh	Dampfmengenmessung inkl. Dampf für Speiswasseraufbereitung
Eigenverbrauch Wärme	$Q_{BEig}$	20.540 kWh	
darin Brüdenverluste Entgasung		2.671 kWh	
Wärmeerzeugung (netto)	$Q_{Bne}$	1.005.196 kWh	Dampfmenge abzüglich Dampf zur Speiswasseraufbereitung

**Tabelle 4-3**      *Messwerte Probetrieb*

Aus  $\sigma_{neKWK A,v} \leq \sigma_{neKWK}$  bzw.  $0,5052 \leq 0,5314$  folgt

$$\sigma_{neKWK A} = \sigma_{neKWK A,v} = 0,5052 .$$

Die endgültige KWK-Nettostromerzeugung erhält man somit durch:

$$A_{BneKWK} = \sigma_{neKWK A} \cdot Q_{BneKWK} = 0,5052 \cdot 98.841 \text{ kWh} = 49.934 \text{ kWh}$$

### 4.3 Ermittlung des KWK-Nutzungsgrades

Der arbeitsbezogene Nutzungsgrad des KWK-Prozessanteiles ergibt sich nach FW 308 (2.3.2-4) wie folgt:

$$\zeta_{ne\ KWK\ A} = \frac{A_{Bne\ KWK} + Q_{Bne\ KWK}}{W_{KWK}} = \frac{49.934\ kWh + 98.841\ kWh}{163.130\ kWh} = 0,912$$



## 5 Verfahren zur Ermittlung der eingesetzten Brennstoffmenge und der KWK-Produkte

### 5.1 Methodik zur Ermittlung der KWK-Produkte und der eingesetzten Brennstoffmenge

Die im Anlagenschema Abbildung 3-1 und der Zählerliste Tabelle 3-1 dargestellten Brennstoffzähler/Erdgaszähler (Nr. 1) sowie der –Strom-Einspeisezähler (Nr.3) der Mikrogasturbine sind geeichte Zähler der jeweiligen Netzbetreiber Schwaben-Netz (Erdgas) bzw. LEW Verteilnetz GmbH (LVN). Die Dampfzählung ist prinzipiell nicht eichfähig – die Bilanzierung der KWK-Wärmemenge ist aufgrund der Heißgaslieferung nur bilanziell möglich. Die KWK-Stromerzeugung wird zu 100% innerhalb der Werksgrenzen verbraucht. Abgesehen davon, dass bei laufender Dampferzeugung für die Produktionsanlagen mehr Bedarf besteht als durch die MGT erzeugt wird, wird durch eine Null-Einspeiseregulierung eine Netzeinspeisung des KWK-Stromes vermieden und die Turbine bei einem Stromeigenbedarf des Werkes unterhalb der Eigenerzeugung abgeregelt.

### 5.2 Bestimmung der KWK-Produkte

Die KWK-Nettowärmeerzeugung  $Q_{Bne\ KWK}$  wird rechnerisch wie unter 4.2.2 erläutert mit folgender Formel berechnet:

$$Q_{Bne\ KWK} = Q_{Bne} \cdot \frac{W_{KWK} - A_{Bne} - A_{B\ Eig} - Q_{AB\ KWK}}{W_{th} + (W_{KWK} - A_{Bne} - A_{B\ Eig} - Q_{AB\ KWK})}$$

Über den bilanzierten Zeitraum des Probetriebes ergibt sich somit:

$$Q_{Bne\ KWK} = 98.841 \text{ kWh}$$

Die KWK-Nettostromerzeugung wird berechnet nach FW308 5.1.-5:

$$A_{Bne\ KWK} = \sigma_{ne\ KWK\ A} \cdot Q_{Bne\ KWK} \text{ mit } \sigma_{ne\ KWK\ A} = 0,5052$$

Über den bilanzierten Zeitraum des Probetriebes ergibt sich somit:

$$A_{Bne\ KWK} = \sigma_{ne\ KWK\ A} \cdot Q_{Bne\ KWK} = 0,5052 \cdot 98.841 \text{ kWh} = 49.934 \text{ kWh}$$





### 5.3 Zuschlagsberechtigte KWK-Strommenge

Da der Nutzungsgrad, wie unter 4.1 dargestellt, höher als das KWK-Nutzungsgradpotenzial  $\zeta_{ne\ KWK}^* = 0,8$  ist und die vorläufige arbeitsbezogene Stromkennzahl wie unter 4.2.2 nachgewiesen kleiner als die leistungsbezogene Stromkennzahl ist, kann die KWK-Nettostromerzeugung im vorliegenden Fall mit der am geeichten Zähler ausgewiesenen Stromerzeugung der Mikrogasturbine gleichgesetzt werden. Somit ist über den Zeitraum des Probebetriebs  $A_{Bne\ KWK} = 49.934\ kWh$ .



## 5.4 Hocheffizienzkriterium

Primärenergieeinsparung lt. EU Richtlinie 2004/8/EG (aktualisiert Anhang I für 2012-2015)

Capstone C-200/Brenner DDZG-TGM 8/Kessel UL-S 10000 x 13

Projekt: Projekt: Interquell GT-AHK-ZF (Mikrogasturbine C-200 mit GTA Brenner und Dampferzeuger)

<b>Jahreswerte oder Wirkungsgrade (unter ISO Standardbedingungen)</b>			
<b>Betrieb mit Wärmeauskopplung</b>			
Brennstoffart			Erdgas
Brennstoffleistung (H <sub>i</sub> )	Messwerte / Herstellerangaben	W <sub>KWK</sub>	624,0 kW
Stromerzeugung (brutto)		A <sub>Bbr</sub>	208,2 kW
Stromerzeugung (netto)		A <sub>Bne</sub>	198,0 kW
Wärmeerzeugung		Q <sub>Bne-KWK</sub>	371,8 kW
Eigenstromverbrauch		A <sub>BEig</sub>	10,2 kW
<b>KWK-Prüfung</b>	EU-Schwellenwert=>KWK wenn Ng > 0,75	0,93	Ja
<b>Betrachtungsjahr</b>			
vorl. Strom-Referenzwirkungsgrad	Anhang I (207/74/EG)	ζ <sub>RefAv</sub>	2012-2015 0,525
<b>Klimafaktor</b>			
Jahresmitteltemperatur	Anhang III (207/74/EG)	t <sub>m</sub>	10 °C
Korrekturfaktor Klima	(15-t <sub>m</sub> )*0,1	t <sub>k</sub>	0,500
vorläufiger Referenzwert Strom		ζ <sub>RefA,v</sub>	0,530
<b>Korrektur vermiedene Netzverluste</b>			
Spannungsebene Stromabführung		E <sub>Bu</sub>	0,4 kV - 50 kV
Korrekturfaktor- ins Netz eingespeister Strom	Anhang IV (207/74/EG)	k <sub>e</sub>	0,945
Korrekturfaktor- vor Ort verbrauchter Strom	Anhang IV (207/74/EG)	k <sub>i</sub>	0,925
Anteil ins Netz eingespeister Strom		p <sub>e</sub>	100%
Ins Netz eingespeister Strom	A <sub>Bne</sub> * p <sub>e</sub>	A <sub>Bne e</sub>	198,0 kW
Vor Ort verbrauchter Strom	A <sub>Bne</sub> - A <sub>Bne e</sub>	A <sub>Bne i</sub>	0,0 kW
Spannungsebene	k <sub>e</sub> * A <sub>Bne e</sub> /A <sub>Bbr</sub> + k <sub>i</sub> * (A <sub>Bne i</sub> + A <sub>BEig</sub> )/A <sub>Bbr</sub>	k <sub>u</sub>	0,9440
<b>Referenzwert Strom</b>			
Strom- Referenzwirkungsgrad nach der Korrektur	(ζ <sub>RefA,v</sub> + k <sub>u</sub> /100) * k <sub>u</sub>	ζ <sub>RefA</sub>	0,500
<b>Referenzwert Wärmenutzung</b>			
<b>Wärmenutzung 1</b>			
Art der Wärmenutzung			Dampf [*] /Heißwasser
Wärme- Referenzwirkungsgrad	Anhang II (207/74/EG)	ζ <sub>RefQ1</sub>	0,9
Anteil an Gesamtwärmenutzung			100%
<b>Wärmenutzung 2</b>			
Art der Wärmenutzung			unmittelbare Nutzung von Abgasen [**]
Wärme- Referenzwirkungsgrad	Anhang II (207/74/EG)	ζ <sub>RefQ2</sub>	0,82
Anteil an Gesamtwärmenutzung			0%
resultierender Referenzwert		ζ <sub>RefQ</sub>	0,9
<b>Nachweis der Hocheffizienz nach EU-KWK-RL</b>			
PEE			24,74%
Hocheffizient			Ja

Tabelle 5-1 Nachweis der Hocheffizienz nach EU Richtlinien



## 6 Erklärung Wärmenetzbetreiber

Nicht erforderlich, da kein Wärmenetz vorhanden ist. Siehe auch 2.3.

## 7 Literaturverzeichnis

Folgende Technische Unterlagen liegen der Berechnung zu Grunde:

- [1] Abnahmeprotokoll Mikrogasturbine C-200:  
„Anlage 1\_MGT 131022 Abnahme.pdf“
- [2] Anlage 2\_Beschreibung Netzleistung C200.pdf
- [3] Anlage 3\_C200 Datenblatt.pdf
- [4] Anlage 4\_LVN Anlagendatenblatt Eigenerzeugungsanlage\_MGT GA.pdf
- [5] Inbetriebnahmeprotokoll Gaszähler Turbine  
Anlage 5\_2013-10-07-15-48-08-003-Turbine\_bartl.pdf
- [6] Anlage 6\_140205 Bestätigung Bypassbetrieb Saacke
- [7] Messwerte (Leistung und Arbeit) Probetrieb siehe Tabelle 4-3 bzw.  
Abbildung 4-2.

### Sonstige Unterlagen

Darüber hinaus basiert der Nachweis auf den nachfolgend ausgewiesenen Unterlagen:

- [8] AGFW-Regelwerk: Arbeitsblatt FW 308; Zertifizierung von KWK-Anlagen –  
Ermittlung des KWK-Stromes – Juli 2011; Arbeitsgemeinschaft für Wärme und  
Heizkraftwirtschaft - AGFW - e.V. bei dem VDEW

## 8 Aufnahme des Dauerbetriebs

Gemäß [1] Abnahmeprotokoll Mikrogasturbine C-200:

„Anlage 1\_MGT 131022 Abnahme.pdf“ wurde der Dauerbetrieb der Anlage am 21.10.2013 aufgenommen. Siehe auch Erklärung unter 2.1.

Der Bericht wurde nach bestem Wissen und Gewissen erstellt; er besteht aus 19 Seiten.

Pfaffenhofen, den 21.02.2014



Dipl.-Ing. (FH) Bernhard Negele

## **eta Energieberatung GbR**

Diplomingenieure Florian Ilmberger und Volkmar Schäfer

Löwenstraße 11 • D- 85276 Pfaffenhofen

Telefon: (0 84 41) 49 46-0

Telefax: (0 84 41) 49 46-40

E-Mail: [info@eta-energieberatung.de](mailto:info@eta-energieberatung.de)

Internet: [www.eta-energieberatung.de](http://www.eta-energieberatung.de)



# Verfahrensbeschreibung

## **Erdgasfeuerung mit GTA-/ Frischluftbetrieb, sowie Leichtöl-Frischluftbetrieb am GWK-Sattdampfkessel mit SAACKE-Brenner DDG-GTM 8**

Kennwort: **Interquell / Micro-KWK-Anlage 200 kW**  
Kunde: **Karl Lausser GmbH / Pillgrammsberg**  
Kunden-Projekt-Nr.: **137583**  
SAACKE-Auftrags-Nr.: **123207**

Rev.	Datum	Erstellt	Änderung:
			Dokument-Nr.: Verfahrensbeschreibung_Rygol Painten
0	31.01.2013	W. Lindner	Erstausgabe
1	25.04.2013	H. Oelze	Erweiterung um Kesselsteuerung/-regelung
2	11.07.2013	H. Oelze F. Burchhard	Diverse Anpassungen nach Funktionstest (Prüffeld)

## 1 Verzeichnisse

### 1.1 Inhaltsverzeichnis

1	Verzeichnisse.....	2
1.1	Inhaltsverzeichnis .....	2
1.2	Revisionsverzeichnis.....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
1.3	Abkürzungsverzeichnis .....	4
2	Allgemeines.....	5
3	Grundaufbau der GTA-Feuerung .....	6
4	Ableitung der Gasturbinenabgase .....	7
5	Frischlufbetrieb.....	8
6	GTA-Betrieb.....	9
7	Kesselsteuerung/-regelung .....	10
7.1	Bedienarten .....	10
7.1.1	Fern-Betrieb.....	11
7.1.2	Vor-Ort-Betrieb (Kessel-HMI) .....	11
7.2	Regelabschaltung.....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
7.3	Störabschaltung .....	11
7.4	Quittierung .....	11
7.5	Regelungen .....	12
7.5.1	Lastregelung .....	12
7.5.2	Brennwertwärmetauscher .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
7.5.3	Wasserstandniveau am Kessel.....	12
7.5.4	Absalzung am Kessel .....	12
7.5.5	Wasserstandniveau am Speisewasserbehälter ....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
7.6	Weitere Funktionen.....	13



**Verfahrensbeschreibung**

Interquell GmbH / Großaitingen  
DDG-GTM an 10 t/h-Sattdampfkessel  
Kunden-Projektnummer: 137583  
SAACKE-Auftragsnummer: N-123207



7.6.1 Abschlammsteuerung ..... 13

# Verfahrensbeschreibung

Interquell GmbH / Großaitingen

DDG-GTM an 10 t/h-Sattdampfkessel

Kunden-Projektnummer: 137583

SAACKE-Auftragsnummer: N-123207



Seite 4 von 13

Name: H. Lindner

---

## 1.2 Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Beschreibung
HMI	Human Machine Interface
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
PLS	Prozessleitsystem
GTA	Gasturbinenabgas

# Verfahrensbeschreibung

Interquell GmbH / Großaitingen  
DDG-GTM an 10 t/h-Sattdampfkessel  
Kunden-Projektnummer: 137583  
SAACKE-Auftragsnummer: N-123207



Seite 5 von 13

Name: H. Lindner

In der nachfolgenden Verfahrensbeschreibung werden die unterschiedlichen Betriebsfälle in Anlehnung an das Angebot N 09388502/U, die Projektspezifikation sowie das RI-Fließbild 0-5904-793180/0 beschrieben:

## 2 Allgemeines

Das Unternehmen Interquell erbaut in Großaitingen ein neues Kesselhaus mit einem 10 t/h-Sattdampfkessel mit Abgaswärmenutzung. Zusätzlich wird eine Eigenstromerzeugung mittels Mikro-Kraft-Wärme-Kopplung realisiert.

Die neue SAACKE-GTA-Feuerung wird mit Erdgas und Leichtöl (Frischluff) betrieben.

Die neue Energiezentrale von Interquell umfasst folgende Komponenten:

Aggregat / Komponente	Lausser	SAACKE
Sattdampfkessel 10 t/h	x	
Economiser	x	
Brennwert-Wärmetauscher mit Bypass	x	
Antrieb für Bypassklappe		x
Kessel-Sicherheitstechnik BOB 72 h (Gestra)	x	
Kamin, Abgasschalldämpfer	x	
Wasseraufbereitung, Entgaser, Speisepumpen	x	
Leichtöl-Gasfeuerung der Type DDZG-GTM		x
Verbrennungsluft-GTA-Gebläse mit FU		x
Kühl-Kernluftgebläse mit FU		x
Brenner-Gasarmaturenstrecke		x
Hochdruckölpumpenstation		x
Öringleitung, Gasversorgung bis Brenner	x	
Kessel-/Brenner-Steuerung (se@vis pro + S7)		x
Allg. übergeordnete Steuerung	x	
O2-Regelung		x
Feuerraumdruckregelung inkl. Abgasklappe		x
Druck- und Differenzdruckregelungen (Feuerung)		x
GTA-Klappen mit EP-Antrieb		x
GTA-Leitungen	x	
Mikrogasturbine komplett	x	

Die SAACKE-Feuerung dient zur Beheizung des Sattdampfkessels, aber auch zur Kraftwärmekopplung mit der Mikrogasturbine.

Die Turbinenabgase der Mikrogasturbine werden als Sauerstoffträger am Turbinenabgasbrenner vom Typ SAACKE DDZG-GTM genutzt. Bis zu einer Feuerungsleistung von ca. 3 MW wird der Sauerstoffbedarf ausschließlich mit dem Turbinenabgas und Kernluft (Frischluff;  $\lambda$  ca. 0,1) abgedeckt. Bei größerer Leistung wird dann Frischluft beigemischt.

Die Feuerungsanlage kennt drei Betriebsarten:

- Hauptbetrieb: GTA-Betrieb (max. 7,0 MW Feuerungsleistung )
- Notbetrieb HEL: Frischluftbetrieb mit Leichtöl (max. 7,0 MW Feuerungsleistung)
- Abhitzebetrieb: GTA-Abgase ohne Zusatzfeuer (nur Z-Brenner) zur Warmhaltung durch Kessel

Als Brennstoff kommt Erdgas (entspr. Analyse) und Leichtöl zum Einsatz.

## Brennstoff-Luft-Verhältnis

Das Brennstoff-Luft-Verhältnis der GTA-Feuerungsanlage wird über die fehlersichere elektronische Verbundsteuerung se@vis pro realisiert.

## Schaltanlage

Die SAACKE Steuer- und Schaltanlage beinhaltet die Leistungssteuerungen für die Verbraucher (Gebläse), den o.g. elektronischen Feuerungsmanager se@vis pro und eine nicht fehlersicheren SPS S7-300. In der SPS werden alle erforderlichen Regelkreise, sowie das Management der Betriebs- und Störmeldungen realisiert. Ein Farbgrafik-Multipanel dient zur Bedienung der Kessel/Feuerungsanlage, sowie zur Darstellung der Betriebs-, Störmeldungen und Funktionsbilder. Die SAACKE-Steuerung beinhaltet auch die bauseitig gestellten Schaltgeräte für die Kessel-Sicherheitstechnik. Diverse Regelungen (Niveauregelung, Absalzregelung,..) werden mit se@vis bzw. der S7 verknüpft oder bedienbar.

Die Kommunikation zwischen der bauseitigen, übergeordneten Steuerung und der SAACKE-Steuerung erfolgt über Modbus RTU.

## **3 Grundaufbau der GTA-Feuerung**

Der Lanzenbrenner wird luftseitig für eine hohe Temperatur ausgelegt, so dass die Turbinenabgase mit bis zu 300°C in den Brenner eintreten können. Um bei den hohen Betriebsvolumenströmen geringe Druckverluste zu realisieren ist der Brenner zweiflutig aufgebaut; besitzt somit zwei Verbrennungsluftregelklappen. Bis zu einer Feuerungsleistung von ca. 3 MW reichen die GTA-Abgase einer C 200 als Sauerstoffträger aus. Bei höheren Feuerungsleistungen muss zusätzlich Frischluft über das Verbrennungsluftgebläse angesaugt werden.

Die GTA-Frischlufmischung hat somit mehr O<sub>2</sub> und weniger Temperatur.

Die Frischluft wird vor dem Gebläse über einen Schalldämpfer in den GTA-Volumenstrom eingesaugt. In der Frischluftleitung befindet sich eine pneumatisch angetriebene Regelklappe, welche über se@vis angesteuert wird und stromlos geöffnet ist.

## Verbrennungsluft-Gasturbinen-Gebläse

Das System besitzt ein Verbrennungsluft- Gasturbinenabgasgebläse. Im Normalbetrieb fördert das Gebläse die Turbinenabgase durch den Brenner und alle nachgeschalteten Kessel- Wärmetauscher und Abgassystem bis zum Kamin. Über das Frischluftsystem kann bei Bedarf zusätzliche Frischluft (Sauerstoff) angesaugt werden.

Beim Frischluftbetrieb werden zusätzlich Rezigase aus der vorderen Wendekammer über das VL-Gebläse angesaugt. Die Rezigase werden von se@vis über die Klappe Nr. 152 gesteuert.

Vor dem Gebläse befindet sich eine Mischbox, in welcher die Medien Luft, Rauchgase und GTA zusammengeführt werden.

Zusätzlich gibt es ein kleines Primärluftgebläse, welches den Zünder, den Flammenfühler, die Flammenwurzel und die Absperrklappen mit Luft versorgt.

Das Hauptgebläse regelt über einen Frequenzumrichter den Differenzdruck über Brenner (Sollwerte für Frischluft-/GTA-Betrieb; JOG-Drehzahl bei Warmhaltung). Das Primärluftgebläse wird über einen kleinen Frequenzumrichter zur Optimierung betrieben.

## **4 Ableitung der Gasturbinenabgase**

Die Abgase der Mikrogasturbine werden immer zu 100% über den neuen Stahlschornstein abgeleitet:

- Direkt in den Kamin
- Über den GTA-Brenner, Kessel, Abgaswärmetauscher in den Kamin
- Bei Erfordernis der Brennereinstellung teilweise über beide Abgaswege (nur wenn dies bei der Brennereinstellung unbedingt notwendig wird; z.B. bei Zünden des Brenners).

Die bauseitige Kaminauslegung muss für die Ableitung der Abgase über vorstehende Wege ausgelegt werden.

In der GTA-Abgasleitung zwischen Turbine und Kamin gibt es vor dem direkten Kamineintritt eine Regelklappe (Nr. 303) mit EP-Antrieb, welche den GTA-Druck nach Turbine zwischen 0..2 mbar regelt. Bei Überdruck werden die Turbinenabgase somit zum Schornstein abgeleitet.

Die Regelklappe (Nr. 303) öffnet stromlos; somit werden bei Stromausfall die restlichen Abgase direkt zum Kamin abgeleitet.

Die GTA-Zuleitung zum Brenner, vor Gebläse, enthält eine pneumatisch angetriebene Regelklappe (Nr. 305), welche stromlos geschlossen wird. Bei Stromausfall können keine Turbinenabgase zum Brenner gelangen.

## 5 Öl-Frischlufbetrieb

Wird an der SAACKE-Steuerschaltanlage „Öl-Frischlufbetrieb“ gewählt, liegen folgende Betriebsarten vor:

- Normaler Frischluftbetrieb: die Mikrogasturbine ist nicht in Betrieb bzw. nimmt nicht an der Verbrennung teil (s. Notbetrieb, GTA über Kamin); der Kessel wird mit Frischluft betrieben. Der Brenner feuert mit Leichtöl. Die GTA-Klappe Nr. 303 ist geschlossen, Nr. 305 ist geöffnet. Die Endlage der Klappe 305 wird überwacht.
- Notbetrieb: die Gasturbinenabgase werden direkt über den Schornstein abgeleitet; der Kessel arbeitet parallel mit Frischluft. Dieser „Notbetrieb“ ist keine dauerhafte Betriebsart und ermöglicht z.B. Tests und Einstellungen an der Turbine, ohne Beeinflussung des Kessels und der Produktion. Die GTA-Klappe 305 ist geschlossen; die Klappe Nr. 303 ist geöffnet (Antrieb ist stromlos)

Ist der Brenner aus oder nicht angewählt, ist immer die Frischluftklappe (Nr 310) an der Mischbox, vor der Saugseite des Verbrennungsluftgebläses (Pos.312), voll geöffnet. Diese Klappe (Sicherheitsstellung NOP) ist grundsätzlich stromlos und drucklos geöffnet. Eine Stellungsüberwachung der Frischluftklappe erfolgt nicht, es werden keine Endlagen erfasst.

Am HMI (Human Machine Interface) der se@vis-Steuerung wird der Brenner (Pos.100) gestartet und die Standardprozedur für einen Erdgasbrenner wird abgefragt und überprüft. Das Verbrennungsluftgebläse (Pos.312) wird gestartet und der in der se@vis integrierte Differenzdruckregler für das Verbrennungsluftgebläse aktiviert. Der Differenzdruck wird auf der Druckseite „VL-Gebläse vor Luftklappen“ zum „Feuerraum“ gemessen (Druck-MU Pos. xxx). Der bei der Inbetriebnahme (Frischlufbetrieb) festgelegte Sollwert W1 (Startsollwert 25 mbar) soll über eine Temperaturkompensation (Temperatur-MU Pos. xxx) in beide Richtungen verschoben werden können. Dadurch werden äußere Einflüsse hinsichtlich Temperaturschwankungen kompensiert.

Sind das Verbrennungsluftgebläse und die Differenzdruckregelung in Betrieb wird die Durchlüftungsstellung angefahren.

Auf Abläufe bzw. Ereignisse hinsichtlich Fehlern in der Dichtprüfung oder allgemeiner Störungen der Sicherheitsketten wird nicht eingegangen, da es hier keinen Unterschied zu typischen Kessel- und Feuerungsanlagensteuerungen gibt. Details hierzu finden Sie im SAACKE-Bedienerhandbuch der Gesamtanlage.

Der Frischluftbetrieb unterscheidet sich nicht vom Standardbetrieb an einem Kessel und berücksichtigt natürlich auch den Fall eines Regel-Aus mit automatischem Wiederanlauf, wenn der Kesseldruck entsprechend abgefallen ist!

Über einen Binärkontakt, ausgelöst durch einen Thermostaten (Pos.xxx) im Rauchgaskanal nach Kessel, wird der Rezi-Kanal in der se@vis-Steuerung aktiviert. Der Rezi-Kanal gehört zum se@vis-Verbund, angesteuert wird die Rezi-Klappe (Pos.152) an der Mischbox. Die Rezi-Zumischung wird zur Emissionsreduzierung (NO<sub>x</sub>-Werte) benötigt.

Interquell GmbH / Großaitingen

DDG-GTM an 10 t/h-Sattdampfkessel

Kunden-Projektnummer: 137583

SAACKE-Auftragsnummer: N-123207

Name: H. Lindner

Wenn der Brenner feuert wirkt die O<sub>2</sub>-Messung als Korrektur auf die Luftstellglieder Primärluft (Pos.358), Sekundärluft 1 (Pos.327) und Sekundärluft 2 (Pos. 325) des elektronischen Verbundes. *Die Range der Korrektur ist durch den SAACKE-Servicetechniker für diese Betriebsart einstellbar.*

## 6 Erdgas-GTA-Betrieb

An der SAACKE-Steuerschaltanlage wurde der Erdgas-GTA-Betrieb angewählt. Dadurch sind für uns zusätzlich alle turbinenbezogenen Anlageninformationen interessant und spielen bei dieser Betriebsart eine wesentliche Rolle.

Ist der Brenner aus oder nicht angewählt ist immer die Frischluftklappe (Pos.310) an der Mischbox, vor der Saugseite des Verbrennungsluftgebläses, voll geöffnet. Diese Klappe ist grundsätzlich stromlos und drucklos geöffnet. Eine Stellungsüberwachung der Frischluftklappe erfolgt nicht, es werden keine Endlagen erfasst.

Ist der Brenner aus (abgewählt) ist grundsätzlich die Turbinenabgasabsperrrklappen (Pos.305) zur Mischbox geschlossen und die Absperrklappe (Pos.303) zum Kamin geöffnet. Die Absperrklappe (Pos.305) zur Mischbox ist strom- und drucklos geschlossen (Sicherheitsstellung NCP), während die Absperrklappe zum Kamin strom- und drucklos (Sicherheitsstellung NOP) geöffnet sind. Alle Endlagen werden erfasst und steuerungstechnisch ausgewertet.

Am HMI wird der Brenner (Pos.100) gestartet und die Standardprozedur für einen Erdgasbrenner wird abgefragt und überprüft. Das Verbrennungsluftgebläse (Pos.312) und die Differenzdruckregelung werden gestartet. Der Differenzdruck wird auf der Druckseite VL-Gebläse „vor Luftklappen“ zum „Feuerraum“ gemessen (Pos. xxx). Der bei der Inbetriebnahme (GTA-Betrieb) festgelegte Sollwert W2 (Startsollwert 15 mbar) soll über eine Temperaturkompensation in beide Richtungen verschoben werden können. Dadurch werden äußere Einflüsse hinsichtlich Temperaturschwankungen kompensiert.

Anschließend wird die Durchlüftungsstellung angefahren. Auf Abläufe bzw. Ereignisse hinsichtlich Fehlern in der Dichtprüfung oder allgemeiner Störungen der Sicherheitsketten wird nicht eingegangen, da es hier keinen Unterschied zu typischen Kessel- und Feuerungsanlagensteuerungen gibt.

Über einen Binärkontakt, ausgelöst durch einen Thermostaten (Pos.xxx) im Rauchgaskanal nach Kessel, wird der Rezi-Kanal in der se@vis-Steuerung aktiviert. Der Rezi-Kanal gehört zum se@vis-Verbund, angesteuert wird die Rezi-Klappe (Pos.152) an der Mischbox. *Die Rezi-Zumischung wurde präventiv aktiviert und kann vom SAACKE-Servicetechniker im Falle der Nichtverwendung deaktiviert werden.*

Mit dem Startsignal des Brenners wird die Masterturbine gestartet. Nach einer noch zu definierenden Zeit erhalten wir ein potentialfreies Signal (Netzeinspeisung) der Turbine. Dieses Signal muss vor „Zündstellung erreicht“ anstehen, ansonsten wird die Startsequenz nach Ablauf einer Toleranzzeit unterbrochen.

Mit Ende der Durchlüftung wird die Turbinenabgasabsperrrklappe (Pos.305) in Richtung Mischbox geöffnet. Sobald das Signal „Offen“ durch den Endlagenschalter gemeldet wird, geht die Turbinenabgasklappe (Pos.303) zum Kamin in Regelbetrieb (Vordruckregelung). Als erster Sollwert

sollten hier +2 mbar hinterlegt sein. Die Position zur Mischbox „Offen“ ist wie eine externe Zündstellung zu betrachten und wird ebenfalls während des Betriebes überwacht.

Mit der Meldung „OFFEN“ der Absperrklappe (Pos.305) Richtung Mischbox wird die Unterdruckregelung in der Mischbox aktiviert. Als erster Sollwert sollten hier – 10 mbar hinterlegt sein. Die Unterdruckregelung wirkt auf die Frischluftklappe (Pos.310) an der Eintrittsseite der Mischbox. Unterschreitet der Istwert des Unterdruckes den eingestellten Sollwert öffnet die Frischluftklappe und führt zusätzliche Frischluft in die Mischbox. Steigt der Wert wieder, schließt die Klappe durch das Ausgangssignal der Unterdruckregelung.

**Eine Leistungsregelung der Turbine wird nur als zusätzliche Sicherheit vorgesehen, um evtl. bei Kleinlast die Turbinenabgase über den Brenner reduzieren zu können. Die Turbine folgt unserem Lastsignal (4-20 mA). Ob und wie die Turbine durch uns geregelt wird muss im Rahmen der Auftragsabwicklung der bei der IBN noch definiert werden.**

Ab ca. 3 MW Brennerlast wird zusätzliche Frischluft – weil die GTA-Abgasmenge als Sauerstoffträger allein nicht mehr ausreicht – durch die Unterdruckregelung der Mischbox der Feuerung zugeführt.

Wenn der Brenner feuert wirkt die O<sub>2</sub>-Messung als Korrektur auf Luftstellglieder Primärluft (Pos.358), Sekundärluft 1 (Pos.327) und Sekundärluft 2 (Pos.325) des elektronischen Verbundes. *Die Range der Korrektur ist durch den SAACKE-Servicetechniker für diese Betriebsart einstellbar.*

Wird das Regelaus-Signal aktiv, fährt der Brenner in Grundlast und wird dann abgeschaltet. Das VL-Gebläse wird nicht abgeschaltet und soll mit einer fest eingestellten JOG-Frequenz (Festlegung bei Inbetriebnahme) betrieben werden. Diese Frequenz muss sicherstellen, dass die Turbinenabgase der Master-Turbine zu 100% durch den Kessel geführt werden können. Regelaus bedeutet somit auch, dass die VL-Klappen in die dafür erforderliche, bei der Inbetriebnahme zu ermittelnde, Position gefahren wurden. In dieser Betriebsart „Regel-Aus“ wird der Zündbrenner (Pos.140) als Pilotbrenner betrieben, dadurch kann bei steigendem Dampfbedarf der Hauptbrenner (Pos.100) gestartet werden, ohne dass der Kessel neu durchlüftet werden muss. Dadurch wird, neben der Energieeinsparung, deutlich schneller wieder mehr Dampf produziert und einem unzulässigen Absinken des Dampfdruckes in der Produktion entgegengewirkt. Wenn das Regelaus-Signal eine längere, noch zu definierende, Zeit „X“ (*einsetzbar durch den SAACKE-Servicetechniker*) ansteht, erfolgt die Zurückschaltung der Turbinenabgasabsperrklappen in umgekehrter Reihenfolge und das VL-Gebläse schaltet ab. Hiermit wird verhindert, dass bei Null-Dampfentnahme der Kessel in den Begrenzer fährt und die Anlage verriegelt wird.

## 7 Kesselsteuerung/ -regelung

### 7.1 Bedienarten

Die Bedienung des Kessels kann auf Basis von zwei Bedienarten erfolgen. Unterschieden werden hierzu der Fern-Betrieb und der Vor-Ort-Betrieb. Die Umschaltung in die jeweilige Betriebsart erfolgt in der Regel über das Kessel-HMI.



## 7.1.1 Fern-Betrieb

Durch den Einsatz einer übergeordneten Steuerung ist ein Fern-Betrieb des Kessels über ein Bussystem möglich. Hierzu zählen:

- Start / Stopp Brenner 1
- Brennstoffvorwahl Öl / Gas über Brenner Aus
- Bedienung Lastregelungen (Sollwertvorgabe)

Die Umschaltung von Fern-Betrieb in den Vor-Ort-Betrieb erfolgt stoßfrei, d.h. der aktuelle Brennerbetrieb wird beibehalten.

## 7.1.2 Vor-Ort-Betrieb (Kessel-HMI)

Im Vor-Ort-Betrieb wird der Kessel über das Kessel-HMI gesteuert. Der Vor-Ort-Betrieb ist grundsätzlich immer realisiert und ermöglicht dem Bediener den Kessel über das HMI vor Ort in Betrieb zunehmen.

Befindet sich der Kessel im Vor-Ort-Betrieb ist dieser nicht für die übergeordnete Steuerung verfügbar.

Hierzu zählen:

- Störauswertung
- Störungsquittierung
- Brenner Entriegelung
- Start / Stopp Brenner 1
- Brennstoffvorwahl Öl / Gas über Brenner Aus

## 7.2 Störabschaltung

Ein Brenner ist gestört, wenn eine Störung (Kessel- oder Brennerstörung) anliegt. Die Ursache der Störung wird als Klartext auf dem Kessel-HMI angezeigt. Liegt eine Störung des Kessels oder der Brennersteuerung vor, führt diese grundsätzlich zum Brenner Stopp.

Grundsätzlich werden anstehende Störungen in Form einer Erstwertstörauswertung ausgewertet und angezeigt. Zusätzlich wird ein digitaler Ausgang angesteuert, der z.B. für eine Hupe genutzt werden kann.

## 7.3 Quittierung

Bei einer Kessel-/Brennerstörung wird am Kessel-HMI eine entsprechende Meldung angezeigt. Diese muss durch einen Quittierungsvorgang (Quittierung) bestätigt werden.

### 7.4 Regelungen

Folgende Regelungen sind Bestandteil der Kesselsteuerung. Eine Handbedienung im "Vor-Ort-Betrieb" der Regelungen ist grundsätzlich gegeben.

#### 7.4.1 Lastregelung

Der Sollwert der Regelung ist auf dem Kessel-HMI einstellbar. Der Regler wirkt auf die unterlagerten Positionsregler in den Brennersteuerungen, die den elektronischen Verbund (Brennstoff / Luft) steuern. Über das Kessel-HMI wird die Istwert-Vorgabe (Kesseldampfdruck) für die Lastregelung ausgewählt.

Reglertyp = stetig

Sollwert (w) = Sollwerteingabe am Kessel-HMI/ PLS

Istwert (x) = Eingang Kesselsteuerung: Kesseldampfdruck (4..20 mA)

Stellwert (y) = Ausgang Kesselsteuerung: an se@vis-Brennersteuerungen

Regelfreigabe = über Bus von der Brennersteuerung, wenn der Brenner in Betrieb ist

#### 7.4.2 Wasserstandniveau am Kessel

Regelt das Niveau des Kesselwasserstands. Der Sollwert der Regelung ist auf dem Kessel-HMI einstellbar.

Reglertyp = 3-Punkt-Schritt

Sollwert (w) = Sollwerteingabe am Kessel-HMI/ PLS

Istwert (x) = Eingang Kesselsteuerung: Speisewasserniveau Kessel (4..20 mA)

Stellwert (y) = Ausgang Kesselsteuerung: Speisewasserventil Kessel Auf/Zu

Regelfreigabe = aktiv bei Anforderung Brenner

#### 7.4.3 Absalzung am Kessel

Regelt den Salzgehalt des Kessels. Der Sollwert der Regelung ist auf dem Kessel-HMI einstellbar.

Reglertyp = 3-Punkt-Schritt

Sollwert (w) = Sollwerteingabe am Kessel-HMI/ PLS

Istwert (x) = Eingang Kesselsteuerung: Salzgehalt (4..20 mA)

Stellwert (y) = Ausgang Kesselsteuerung: Absalzventil Auf/Zu

Regelfreigabe = immer aktiv

## Verfahrensbeschreibung

Interquell GmbH / Großaitingen

DDG-GTM an 10 t/h-Sattdampfkessel

Kunden-Projektnummer: 137583

SAACKE-Auftragsnummer: N-123207



Seite 13 von 13

Name: H. Lindner

---

### 7.5 Weitere Funktionen

#### 7.5.1 Abschammsteuerung

Mit Hilfe einer Abschammsteuerung werden Kesselablagerungen abgezogen. Mit dem Einschalten des Brenners wird die Abschammsteuerung aktiviert. Die Ansteuerung des Ventils erfolgt über ein Puls-/Pausenverhältnis, das über das Kessel-HMI einstellbar ist. Sobald der Brenner nicht mehr feuert ist die Abschammsteuerung deaktiviert.

Erdgas  
Natural gas  
2,5 bar  
690 Nm<sup>3</sup>/h

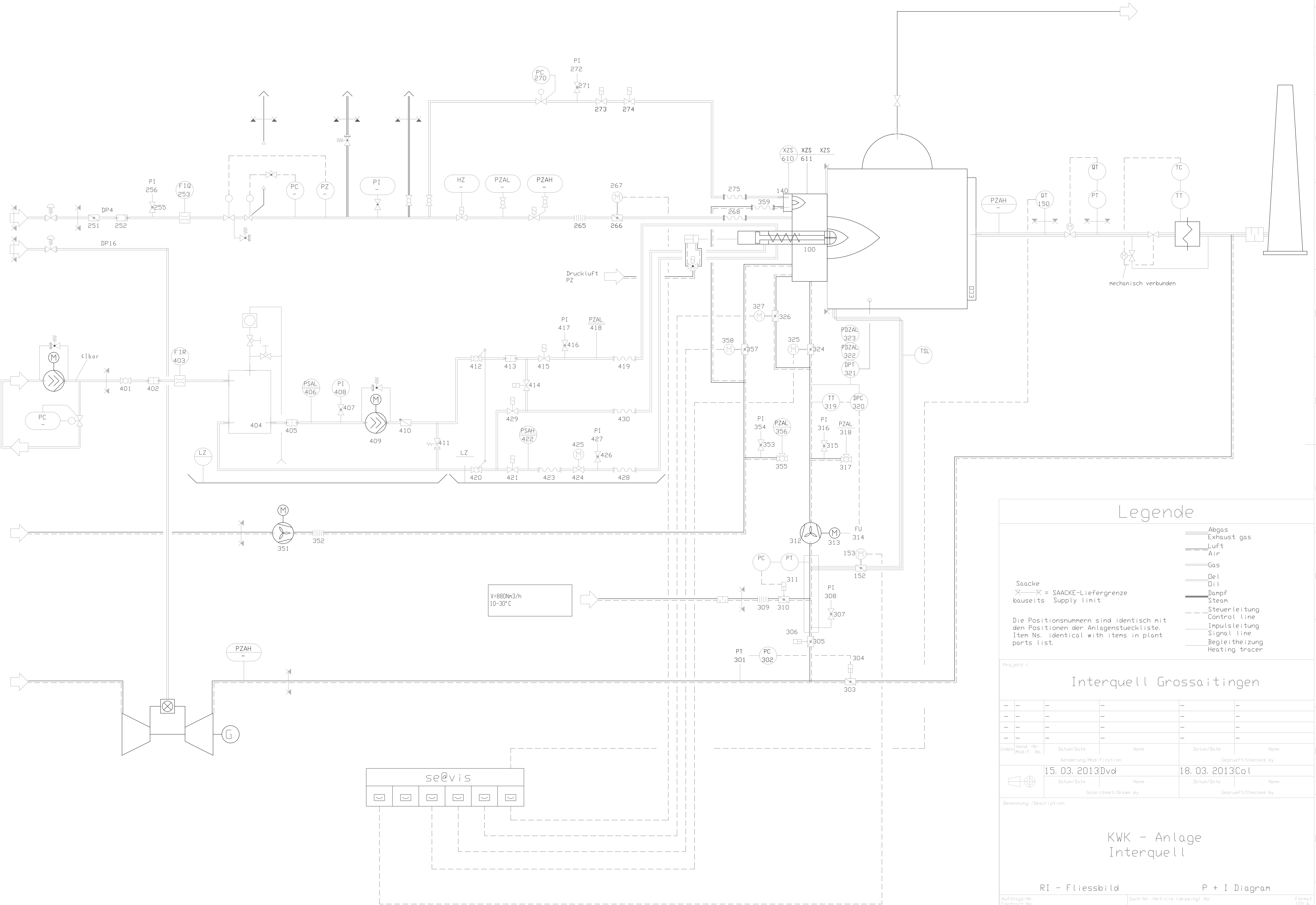
Erdgas  
Natural gas  
5,2 bar  
60 Nm<sup>3</sup>/h

Leichtöl  
Light fuel oil  
M max= 582kg/h

Öltank

Primaerluft  
primary air  
V=880Nm<sup>3</sup>/h  
10-30°C

Zuluft von Aussen



### Legende

- Abgas
  - Exhaust gas
  - Luft
  - Air
  - Gas
  - Öl
  - Oil
  - Dampf
  - Steam
  - Steuerleitung
  - Control line
  - Impulsleitung
  - Signal line
  - Begleitheizung
  - Heating tracer
- Sacke  
X-X = SAACKE-Liefergrenze  
bauseits Supply limit
- Die Positionsnummern sind identisch mit den Positionen der Anlagenstückliste. Item Ns. identical with items in plant parts list.

### Interquell Grossaitingen

Index	Änd.-Nr. / Modif. No.	Datum/Date	Name	Datum/Date	Name

Benennung / Description:

**KWK - Anlage Interquell**

RI - Fließbild P + I Diagram

Auftrags-Nr. / Contract No.	Sach-Nr. / Article (drawing) No.	Format / ISO A
N 123207/U	0-5904-794325	/ 1
Feuerungstechnik * Energietechnik * Umwelttechnik Firing technology * Energy technology * Environmental technology		Blätter / Sheets 32

