

Abschlussbericht

zum Vorhaben

**Abwärmenutzung durch Integration einer ORC-Anlage
an einem Hubbalkenofen in der Stahlindustrie**

Zuwendungsempfänger/-in

E.ON Business Solutions GmbH
Brüsseler Platz 1
45131 Essen

Umweltbereich

Klimaschutz, Luft

Laufzeit des Vorhabens

November 2018
bis
Juli 2021

Autoren

Dipl.-Ing. Christoph Hiesgen
Dipl.-Ing. Markus Scharpey
Martin Apold

**Gefördert mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare
Sicherheit**

Datum der Erstellung

01.10.2021

Berichts-Kennblatt

Aktenzeichen UBA:	Projekt-Nr.:
Titel des Vorhabens: Abwärmenutzung durch Integration einer ORC-Anlage an einem Hubbalkenofen in der Stahlindustrie	
Autor/-en (Name, Vorname): Hiesgen, Christoph Scharpey, Markus Apold, Martin	Vorhabenbeginn (Vertragsunterzeichnung): 02.11.2018 Vorhabenende (Abschlussdatum): 31.07.2021
Zuwendungsempfänger/-in (Name, Anschrift): E.ON Business Solutions GmbH Brüsseler Platz 1 45131 Essen	Veröffentlichungsdatum: Seitenzahl:
Gefördert im BMU-Umweltinnovationsprogramm des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit	
Kurzfassung (max. 1.500 Zeichen): In dem Energieeffizienzprojekt setzen die Georgsmarienhütte Blankstahl GmbH und E.ON neue Maßstäbe für Energieeffizienz in der Industrie. Am Standort Georgsmarienhütte haben die Partner ein Energiekonzept entwickelt, das die ungenutzte Abgaswärme hinter einem Hubbalkenofen zur Stromerzeugung nutzt. Diese Lösung ermöglicht dem Stahlverarbeiter eine CO ₂ -Einsparung von bis zu 1.450 Tonnen jährlich. Das Abgas, das bisher mit bis zu 450 °C ungenutzt in die Atmosphäre geleitet wurde, wird auf ca. 210 °C abgekühlt und über einen ORC-Prozess werden bis zu 500 kW elektrische Leistung erzeugt. Ein Teil der Abwärme hinter dem Kondensationsprozess kann für Heizzwecke im Stahlwerk genutzt werden. Die Anlage wird vollautomatisiert betrieben und kann bis zu einem Teillastbereich von 30% modulieren, um ein möglichst breites Spektrum der anfallenden Abwärme zu verstromen.	
Schlagwörter: Effizienzsteigerung, Abwärmeverstromung, ORC, CO ₂ -Einsparung, Wärmerückgewinnung, Eigenstromerzeugung	
Anzahl der gelieferten Berichte Papierform: 5 Elektronischer Datenträger: 1	Sonstige Medien: Energie&Management Veröffentlichung im Internet: E.ON, GMH, DÜRR, UBA

Report Coversheet

Reference-No. Federal Environment Agency:	Project-No.:
Report Title: Waste heat recovery by integrating an ORC-power plant behind a walking beam furnace in the steel processing industry	
Author/Authors (Family Name, First Name): Hiesgen, Christoph Scharpey, Markus Apold, Martin	Start of project (Contract signing): 02.11.2018 End of project: 31.07.2021
Performing Organisation (Name, Address): E.ON Business Solutions GmbH Brüsseler Platz 1 45131 Essen	Publication Date:
	No. of Pages:
Funded in the Environmental Innovation Programme of the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety.	
Summary (max. 1.500 characters): In the energy efficiency project, Georgsmarienhütte Blankstahl GmbH and E.ON are setting new standards for energy efficiency in industry. The partners have developed an energy concept that uses the unused exhaust gas heat behind a walking beam furnace to generate electricity. This solution enables the steel processor to save up to 1,450 tons of CO ₂ annually. The exhaust gas, which was previously discharged unused into the atmosphere at up to 450 ° C, is cooled to approx. 210 ° C and an ORC process generates up to 500 kW of electrical power. Some of the waste heat behind the condensation process can be used for heating purposes in the steelworks. The plant is operated fully automatically and can modulate up to a partial load range of 30% in order to convert the widest possible range of waste heat into electricity.	
Keywords: waste heat recovery, power from waste heat, ORC, carbon reduction, on-site generation, clean power	
Number of reports Paper form: 5 Electronic devices: 1	Sonstige Medien: Energie&Management Veröffentlichung im Internet: E.ON, GMH, DÜRR, UBA

INHALTSVERZEICHNIS

1. Einleitung	5
1.1. Kurzbeschreibung des Unternehmens und ggf. der Projektpartner	5
1.2. Ausgangssituation	6
2. Vorhabenumsetzung	8
2.1. Ziel des Vorhabens	8
2.2. Technische Lösung (Auslegung und Leistungsdaten).....	9
2.3. Umsetzung des Vorhabens.....	12
2.4. Behördliche Anforderungen (Genehmigungen)	16
2.5. Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten	17
2.6. Konzeption und Durchführung des Messprogramms.....	17
3. Ergebnisdarstellung zum Nachweis der Zielerreichung	19
3.1. Bewertung der Vorhabendurchführung	19
3.2. Stoff- und Energiebilanz	20
3.3. Umweltbilanz	23
3.4. Wirtschaftlichkeitsanalyse.....	24
3.5. Technischer Vergleich zu konventionellen Verfahren	25
4. Übertragbarkeit	26
5. Zusammenfassung/ Summary	27
6. Anhang (s. Exceldateien)	30

1. Einleitung

1.1. Kurzbeschreibung des Unternehmens und ggf. der Projektpartner

Der Projektpartner, bei dem das Projekt „Abwärmenutzung hinter einem Hubbalkenofen in der Stahlindustrie“ realisiert wurde, ist die Georgsmarienhütte Blankstahl GmbH (GMH BS), ein Unternehmen der GMH-Gruppe. Die GMH BS zählt zu den europaweit führenden Herstellern von hochwertigem Blankstahl. Der verarbeitete Stahl ist die Basis für eine große Vielfalt von Produkten und erfüllt höchste Anforderungen an Maßgenauigkeit, Oberfläche und Qualität. Der Blankstahl ist die Basis für hochwertige Produkte und Hightech-Anwendungen in vielen Bereichen. Zum Beispiel fördern die produzierten Getriebe-, Nocken- und Antriebswellen, Kolben, Zahn- und Kegelräder oder Wälzkörper die Mobilität; andere Produkte kommen in der Energie-, Land- und Baumaschinentechnik zum Einsatz.

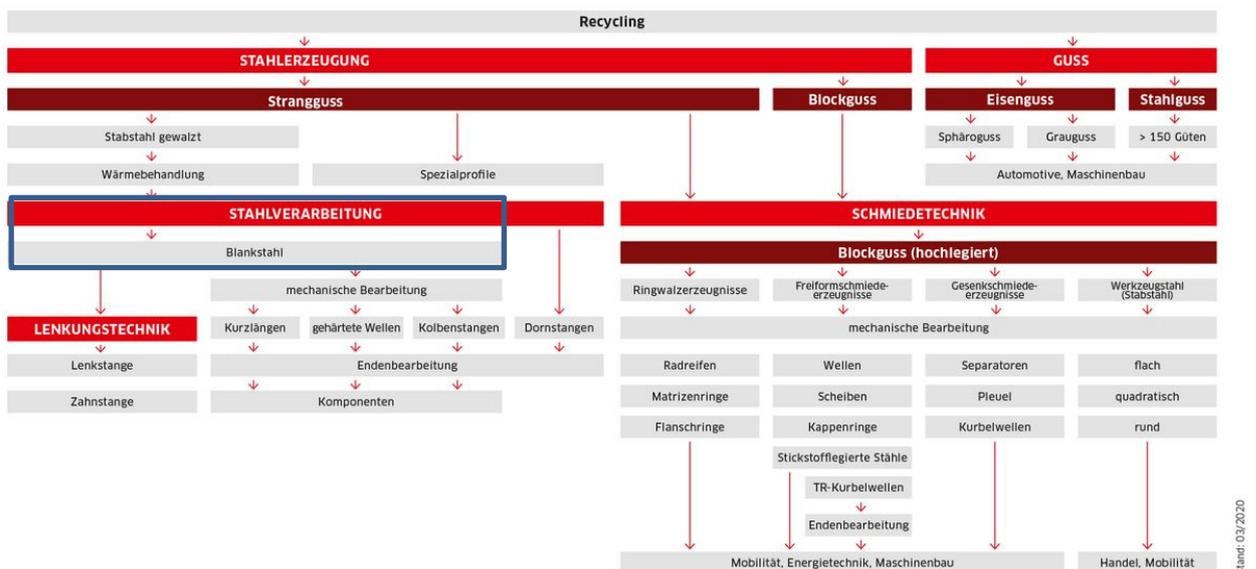


Bild 1: Wertschöpfungskette der GMH Gruppe (Quelle: GMH-Webseite)

Am Standort in der Stadt Georgsmarienhütte fertigt der Teilbetrieb der GMH BS aus den im Elektrostahlwerk gegossenen Stranggussprofilen nach Durchlauf des Hubbalkenofen 63 in zwei Fertigungslinien die Blankstahlprodukte. Diese werden im Anschluss direkt an die Endkunden versandt oder innerhalb der Gruppe an weitere Bearbeitungsstandorte transportiert, um sie weiter zu behandeln bzw. Spezialprodukte zu fertigen.

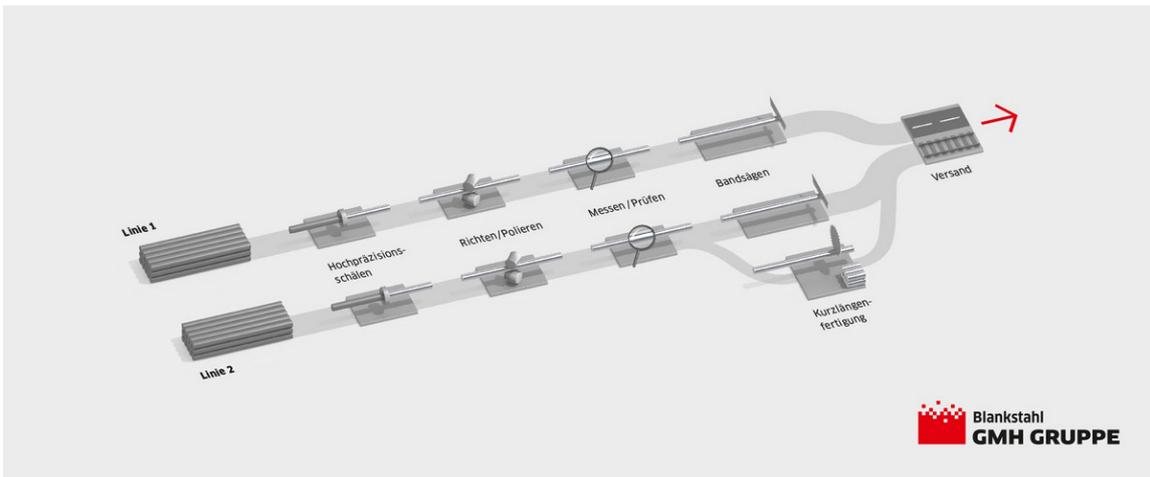


Bild 2: Prozessablauf GMH Blankstahlbetrieb (Quelle: GMH Webseite)

Die E.ON Business Solutions GmbH (EBU) ist innerhalb des E.ON-Konzerns der auf Effizienzlösungen für Industriekunden spezialisierte Anbieter von maßgeschneiderten Konzepten im Bereich der Energieeinsparung und der effizienten Erzeugung mit möglichst nachhaltigen technischen Lösungen. Vorrangig steht in der Entwicklung der Lösung dabei die Nutzung von bisher ungenutzten Potentialen aus Industrieprozessen und deren mögliche Sekundärnutzung und Verwertung in Form von Strom, Wärme oder Kälte. Die EBU ist international präsent in 17 europäischen Märkten, in denen E.ON Landesgesellschaften besitzt. Der Fokus liegt auf Infrastrukturprojekten zur Lieferung von Energie mit möglichst niedrigem Primärenergieeinsatz und der Schließung von Kreisläufen und der Allokation und Nutzbarmachung von Einsparpotenzialen, die viele Industriekunden aufgrund einer zu langen Kapitalrückflusszeit häufig ohne einen Energiepartner nicht realisieren würden.

1.2. Ausgangssituation

Mittels eines Gleichstrom-Lichtbogenofens wird im Werk Georgsmarienhütte Stahl geschmolzen, anschließend in der Sekundärmetallurgie weiter behandelt und in einer Stranggießanlage zu Vorblöcken gegossen. Diese werden zur Walzstraße zur Weiterverarbeitung transportiert.

In dem Hubbalkenofen 63 werden diese Vorblöcke auf Walztemperatur erwärmt. Der Ofen 63 wird für die nächste Stufe der Wärmebehandlung der Strangussprofile (Brammen) mit Erdgas betrieben und stellt den größten Erdgasverbraucher am Standort des Stahlwerkes dar. Der Hubbalkenofen hat eine Nennleistung von 160t/h und einen Erdgasverbrauch von bis zu 7.900 Nm³/h. Die Blöcke durchlaufen zunächst eine unbefeuerte Zone zur Vorwärmung mittels Konvektion bevor sie in den, in fünf Zonen unterteilten, befeuerten Bereich eintreten. Hier werden die Blöcke auf ihre der Materialeigenschaften angepasste

Walztemperatur von bis zu 1.200°C aufgeheizt und dann der Walzstraße übergeben. Sauerstoffmessungen und NOx-arme Brenner sorgen für eine optimale und schadstoffarme Verbrennung. Der resultierende Abgasstrom von bis zu 79.000Nm³/h wird durch einen Rekuperator geleitet, einem Wärmetauscher, in dem die noch kalte Brennluft durch das heiße Abgas für den Verbrennungsprozess vorgewärmt wird. Hinter dem Rekuperator beträgt die Abgastemperatur im Mittel noch 455 °C und wurde bislang in die Atmosphäre abgegeben.

An dieser Stelle wird im Rahmen des Energieeffizienzprojektes künftig ein Teilstrom des Abgases für die ORC-Anlage abgeleitet und später wieder dem Abgasstrom beigemischt. Abschließend wird das gemischte Abgas über einen Naturzug-Kamin an die Umgebung abgeführt.

Vor der Umsetzung des Projektes gab es an dem Ofen 63 keine Abwärmenutzung in Form einer weiteren Nutzenergieerzeugung, obwohl das Temperaturniveau (bis maximal ca. 589 °C) und der hohe Abgasmassenstrom ein signifikantes Abwärmepotential zur weiteren Verwendung aufweist.

Im Rahmen der ersten Potenzialanalyse wurde von E.ON untersucht, inwieweit die Verwertung der Abgaswärme technisch möglich und wirtschaftlich darstellbar ist. Dazu wurde geprüft, welche technischen Möglichkeiten anhand der Abgaszusammensetzung konkret anwendbar sind und wodurch eine CO₂-Einsparung für den Standort erreicht werden kann.

Ein wesentlicher und oftmals kritischer Punkt bei Abwärmenutzungen ist das Thema Abgaszusammensetzung, da es im industriellen Bereich eine Vielzahl von Prozessen gibt, bei denen im Abgas Stoffe enthalten sind, die eine Wärmeauskopplung erschweren bzw. technisch sehr aufwändig und somit teuer machen. Es hat sich im Rahmen der Projektentwicklung herausgestellt, dass das in den Kamin eingeleitete Abgas aufgrund der Verbrennung von reinem Erdgas und der Erhitzung von unbehandelten Gussstahlblöcken unbelastet aus dem Ofen austritt und daher keine weitere Reinigung (z. B. Entstaubung, Elektrofilter) erforderlich ist.

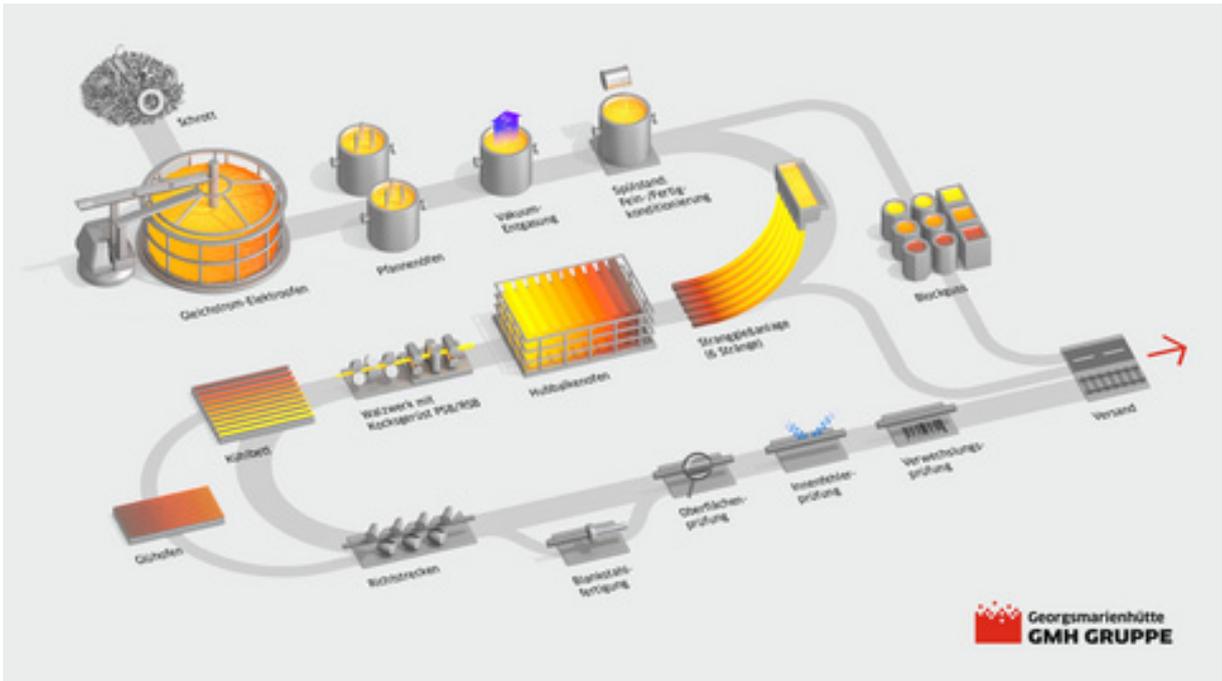


Bild 2: Prozess- und Verfahrensfliessbild (Quelle: GMH-Webseite)

Das Problem im Projekt GMH bestand aber darin, eine Lösung zu finden, die auch für einen diskontinuierlichen Ofenbetrieb geeignet ist, bei dem die Schwankungen der Überschusswärme aufgrund unterschiedlicher Prozesschargen an der Tagesordnung sind. Daher wurde bei der Auslegung der Anlage nicht die maximal verfügbare Abwärmeleistung zu Grunde gelegt, sondern die gem. Häufigkeitsverteilung im Ofenbetrieb am häufigsten auftretende Leistung, was im Abgasvolumenstrom einem Mittelwert von ca. $37.130 \text{ Nm}^3/\text{h}$ entspricht. Als Auslegungsfall für die ORC-Anlage wurde daher ein Teilstrom von ca. $37.700 \text{ nm}^3/\text{h}$ als Abgasmenge definiert.

2. Vorhabenumsetzung

2.1. Ziel des Vorhabens

Ziel des Vorhabens ist die Gewinnung der Sekundärenergie Strom aus einem bislang als Abgas in die Atmosphäre abgegebenen Energiestrom. Dieses soll aufgrund der Volatilität des Abgasmassenstroms über eine ORC-Technologie erfolgen.

Der Projektansatz, die ungenutzte Wärme hinter dem Hubbalkenofen in einer Energieform nutzbar zu machen, die für den Kunden direkt in weiteren Prozessen zur Anwendung kommen kann, führte zur Überlegung der Stromerzeugung. Es wurde daher untersucht, welche Lösungen zur Verfügung stehen. Im ersten Projektansatz sollte das Vorhaben mit einem neu entwickelten Verfahren eines ORC-Kolbenmotors umgesetzt werden. Der Lieferant konnte im Rahmen des Projektverlaufes insolvenzbedingt nicht für eine Realisierung des Projektes zur Verfügung stehen und daher wurde die geplante

Kolbenmaschine mit einer ursprünglichen elektrischen Leistung von brutto 2 x 200 kW / netto 2 x 175 kW durch eine Strömungsmaschine der Fa. Dürr mit einer elektrischen Leistung von brutto 500 kW / netto ca. 430 kW ersetzt. Die weiteren Randbedingungen des Projektes, wie z. B. die Möglichkeit zur Nutzung von Abwärme hinter dem eigentlichen Prozess zur Bereitstellung von Niedertemperaturwärme für die Einspeisung in das werkseigene Wärmenetz, wurden beibehalten. Somit ist die Ausführung als KWK-Lösung unverändert. Eine Förderung der Anlage nach dem KWKG ist aufgrund der elektrischen Leistung von > 100 kW nach aktueller Gesetzeslage nicht möglich und wurde auch nicht beantragt.

Durch den Betrieb der ORC-Turbine hinter dem Hubbalkenofen ist geplant, über eine Betriebszeit von rd. 6.000 Benutzungsstunden jährlich elektrische Energie in der Größenordnung von 2.200-2-400 Megawattstunden im Jahr zu generieren. Bei Erreichung dieses Ziels können ca. 1.180-1.290 Tonnen jährlich an CO₂ eingespart werden (Bafa-Basiswert 2019: CO₂-Faktor 538 g/kWh).

2.2. Technische Lösung (Auslegung und Leistungsdaten)

Funktionsbeschreibung der Anlage

Im Stahlwerk Georgsmarienhütte GmbH wird aus der Abgaswärme des Hubbalkenofens 63 ein ORC-Dampfkraftprozess (ORC-Anlage) betrieben. Die Abgase aus dem Ofen, die je nach Produktcharge im Ofen mit einer Temperatur von ca. 380 °C bis ca. 600 °C austreten, werden in dem Konzept auf dem Weg zum Schornstein mittels eines Saugzuggebläses aktiv abgesaugt, über den ORC-Verdampfer geleitet und anschließend bei niedrigerer Temperatur wieder in den Schornstein zurückgegeben. Die ORC-Anlage erzeugt aus der Restwärme des Abgases elektrischen Strom und Nutzwärme.

Die Anlage wurde anhand der vorliegenden langjährigen Messreihen und Prozessdaten des Ofen 63 geplant mit einer verfügbaren Abwärmeleistung von rd. 3,0 MW (Wärmeeintritt am Verdampfer) womit dann eine elektrische Bruttoleistung der ORC-Turbine von 500 kW erreicht wird. Aufgrund der fehlenden Erfahrungen mit Anlagen dieser Größenordnung im industriellen Einsatz wurde ein konservativer Ansatz beim elektrischen Eigenbedarf von rd. 50-70 kW in der Planung seitens E.ON angenommen. Damit ergibt sich am Übergabepunkt des Stroms (Einspeisepunkt Niederspannungshauptverteilung) der GMH-Blankstahl eine Leistung von 430 – 450 kW (Netto)

Um die elektrischen Leitungsverluste auf dem Weg zwischen Schaltschrank an der Anlage und der nächstgelegenen, geeigneten Niederspannungshauptverteilung im Gebäude der GMH Blankstahl GmbH zu kompensieren, wurde ein höherwertigerer Kabeltyp als ursprünglich geplant eingesetzt. Dennoch betragen die Verluste aufgrund der längeren Distanz zwischen dem finalen Aufstellort der Anlage und dem gewählten Anschlusspunkt bis zu 16 kW bzw. 3% der Bruttoleistung. Hier war im Vorfeld mit einer geringeren Entfernung und deshalb mit nur ca. 1,5% gerechnet worden.

Der ORC-Prozess selbst ist als ein komplett geschlossener Kreislauf ausgeführt. Das organische Arbeitsmittel wird durch den Wärmeeintrag aus dem Abgas im ORC-Verdampfer in die Dampfphase überführt. Der Dampf strömt in Richtung Turbine, die den Druck und die Temperatur in mechanische Arbeit umwandelt. Der Generator, der den elektrischen Strom erzeugt, sitzt auf derselben Welle mit der Turbine (Bild 3) und beides ist in einem hermetisch abgeschlossenen Gehäuse untergebracht.



Bild 3: Turbine und angeflanschter Generator (Quelle: Dürr Systems AG)

Zur Effizienzsteigerung ist die ORC-Anlage mit einem Regenerator zur internen Wärmeübertragung ausgestattet. Dem aus der Turbine austretenden dampfförmigen Arbeitsmittel wird Wärme entzogen und auf flüssiges Arbeitsmittel übertragen. Im nachgeschalteten Kondensator wird das organische Arbeitsmittel durch Wärmeaustausch mit dem Wasser-Glykol des Kühlwasserkreises weiter abgekühlt und vollständig kondensiert.

Das kondensierte Arbeitsmittel wird mit einer Umwälzpumpe/Speisepumpe wieder auf das für den Turbinenbetrieb erforderliche Druckniveau gebracht. Nach der Umwälzpumpe passiert das Arbeitsmittel den erwähnten Regenerator. Das vorgewärmte Arbeitsmittel wird in den Verdampfer geleitet und der Kreislauf ist geschlossen.

Der Betreiber GMH BS kann die gesamte im Kondensator abgegebene thermische Energie über einen zusätzlichen Wärmetauscher auf das Nahwärmenetz (ca. 80 °C) des Stahlwerks übertragen, so dass die Sekundärwärme von weiteren Abnehmern von Prozesswärme oder von Raumwärme genutzt werden kann. Falls aktuell keine Abnahme (z. B. Betriebsstillstand, keine Heizperiode) erfolgt, wird die Wärme über Rückkühler an die Umgebung abgegeben.

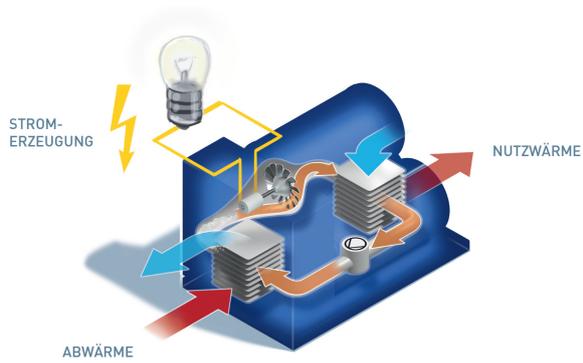


Bild 4: Prinzipschaubild ORC-Prozess (Quelle: Dürr Systems AG)

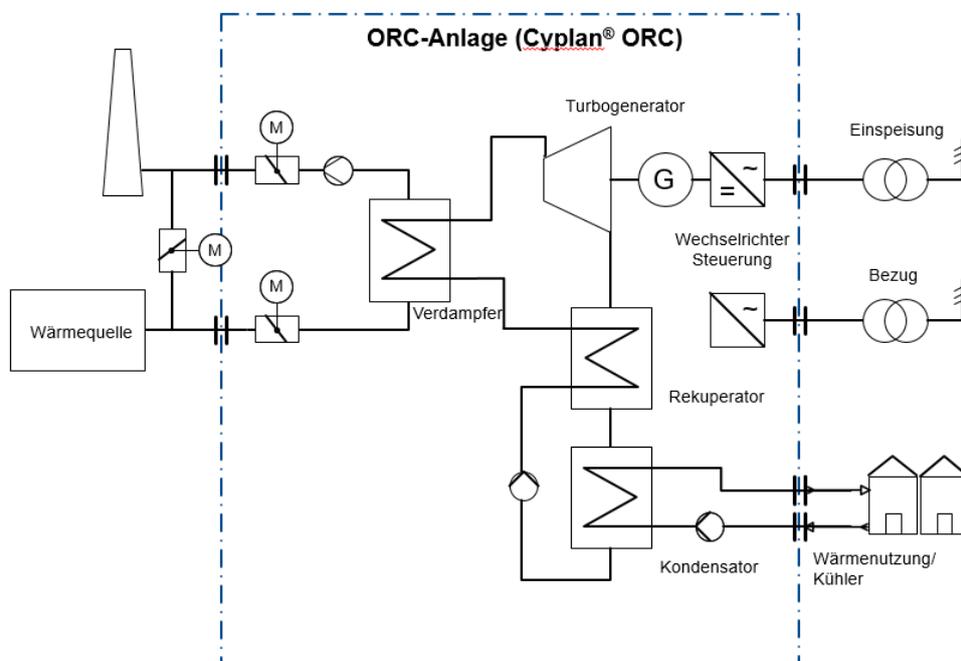


Bild 5: Prozessschema WRG-Anlage GMH (DÜRR Systems Ltd)

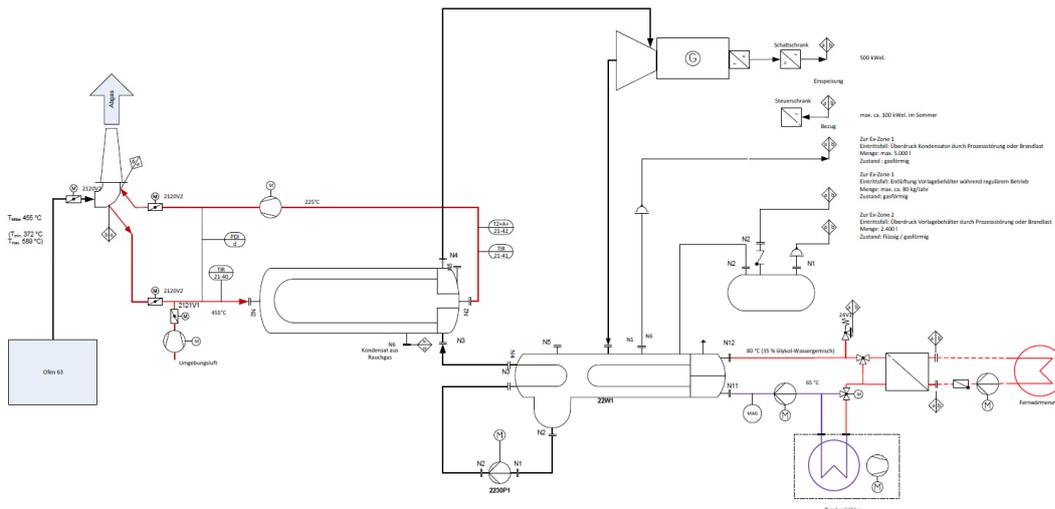


Bild 6: Anlagenfließbild GMH (DÜRR Systems Ltd)

2.3. Umsetzung des Vorhabens

Zunächst musste für die Anlage ein geeigneter Standort in der Nähe des Ofen 63 gefunden werden. Dafür bot sich die Freifläche zwischen der Ofenhalle und der Walzhalle an. Der Bau der Anlage sollte mit möglichst wenigen Schnittstellen vonstattengehen, deswegen wurde der Anlagenbau im Wesentlichen in 4 Lose aufgeteilt:

1. Bautechnik
2. ORC-Anlage inkl. Kaminanbindung und Rückkühlsystem
3. Elektrotechnische Anbindung an das Werksnetz der GMH
4. Hydraulische Anbindung zur Wärmeauskopplung

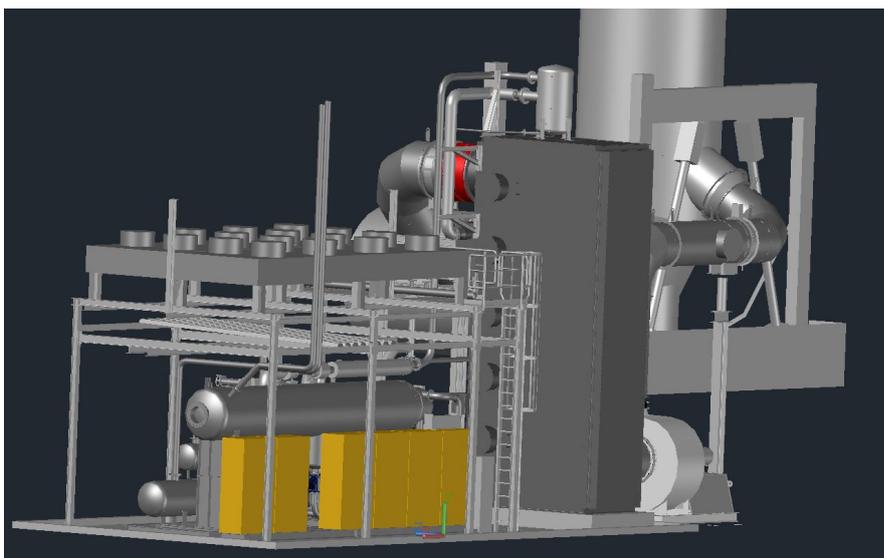


Bild 7: 3D-CAD Ausschnitt von Südosten (Planung Fa. Dürr)

Die Bautechnik im Frühsommer 2019 umfasste im Wesentlichen die Gründung der Anlage, also Erdarbeiten, Grundleitungen, Fundamentierung etc. Hierbei wurde das Aufstellfundament

direkt als Auffangwanne mit Gefälle geplant und ausgeführt, um im künftigen Betrieb der Anlage die beiden wassergefährdenden Stoffe (Ethylbenzol und Ethylenglykol) bei etwaigen Leckagen entsprechend auffangen und entsorgen zu können.



Bild 8: Anlagenfundament, als Auffangwanne mit Gefälle ausgeführt

Der Bau der ORC-Anlage selbst musste in zwei Hauptabschnitte aufgeteilt werden, um den Weiterbetrieb der Ofenanlage nicht zu gefährden. Hierzu mussten die Öffnungen der Kaminwange in den Sommerstillstand 2019 gelegt und so minutiös terminiert werden, dass der Zeitraum des Werksstillstandes nicht überschritten wird. Zwei Öffnungen mussten in den Bestandskamin geschnitten werden, um sie dann mit den ersten Abgaskanalstücken und den dazugehörigen Abgasklappen wieder dicht zu verschließen. Zudem wurde die Anlieferung und der Aufbau des ca. 8 m hohen Verdampferturmes in diesen Zeitraum gelegt. Damit konnte somit im ersten Bauabschnitt die abgasseitige Errichtung der Anlage fertiggestellt werden. Der hydraulische, sowie der elektrotechnische Teil der Anlage konnten dann im Anschluss, während des wieder aufgenommenen Ofenbetriebs nach dem Sommerstillstand, begonnen werden.



Bild 9: Anlieferung des Verdampferturms



Bild 10: Kaminöffnung (Abgasrückführung des Teilstroms aus der ORC-Anlage)

Parallel dazu wurde die Elektroverkabelung für die Stromeinspeisung in das Werksnetz begonnen. Hierbei war die größte Herausforderung einen geeigneten Kabelweg zu finden, um die Entfernung zwischen der ORC-Anlage und der ca. 200m entfernten Niederspannungshauptverteilung der GMH-Blankstahl zu überbrücken. Eine Kombination aus vorhandenen unterirdischen Kriechgängen, Leerrohren und einem neu zu erstellenden, ca. 15 m langen Verbindungsgraben zwischen zwei vorhandenen Schachtsystemen, führte schließlich zum Ziel.

Aufgrund erhöhter Sicherheitsanforderungen seitens der Werksicherheit und der Umweltschutzabteilung fiel in diesen elektrotechnischen Aufgabenbereich dann auch noch die Errichtung eines Brand- und Gefahrmeldesystems, welches mit den werkseitigen Systemen gekoppelt werden musste.



Bild 14: Fertig isolierte Anlage

2.4. Behördliche Anforderungen (Genehmigungen)

Zur Umsetzung des Vorhabens wurde für die Errichtung der Anlage ein Bauantrag nach § 70 der Niedersächsischen Bauordnung (NBauO) gestellt und da der Anschluss zur Abwärmeauskopplung an einer nach BImSchG genehmigten Anlage erfolgt ist, wurde für die Änderung des bestehenden Kamins eine (Änderungs-) Anzeige nach §15 BImSchG erstellt. Die Einreichung der Unterlagen erfolgte nach Ausführungsplanung und wurde innerhalb von vier Wochen genehmigt. Zur Überprüfung möglicher Veränderungen der Abgasausbreitungen aufgrund der signifikanten Temperaturreduzierung an der Kaminmündung durch die Abgasauskoppelung, wurde von E.ON ein Immissionsgutachten in Auftrag gegeben. Vor Inbetriebnahme der ORC-Anlage wurden die Abgase des Ofens 63 über einen Kamin mit einer Bauhöhe von 60 m abgeleitet. Daher wurde geprüft, ob durch die damit verringerte thermische Überhöhung die bestehende Schornsteinhöhe in Kombination mit der ORC-Anlage noch ausreichend dimensioniert ist und welche Immissionsbelastung sich durch die geänderten Randbedingungen ergeben. Aufgrund der Minderung der Abgastemperatur kommt es zu einer Verminderung der thermischen Überhöhung des Abgases und zu einer geringfügigen Immissionsmehrbelastung, welche jedoch unterhalb der Irrelevanzwerte der TA Luft liegt.

Analog wurde das Thema Schallausbreitung durch einen beauftragten Gutachter untersucht, um die möglichen Auswirkungen der ORC-Gesamtanlage an den Schallmesspunkten des Werkes zu prüfen. Das Schallgutachten, bei dem im Wesentlichen die beiden potenziellen Schallquellen Saugzuggebläse und Rückkühlwerke untersucht wurden, führte im Ergebnis zu

keinen weiteren Auflagen in der Bauausführung.

2.5. Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten

Der Betrieb der ORC-Anlage erfolgt vollautomatisiert und die wesentlichen Betriebsdaten werden parallel sowohl auf der Leitwarte des Ofen 63 der GMH und in der E.ON-Zentraleitwarte (Remote Control Center „RCC“) in Essen erfasst. Durch die Verknüpfung der Messdaten aus dem Ofen 63, vorrangig Brennstoffeinsatz, Ofentemperatur und Abgasvolumenstrom, mit der ORC-Anlage erfolgt die Regelung der in der neu erstellten Kaminöffnung für die Absaugung des Abgases installierten motorischen Abgasklappe im Ansaugstutzen und die Auskopplung des für den Betrieb der ORC-Anlage erforderlichen Teilmassenstroms.

Die für den Betrieb der Ofen-Anlage relevanten Betriebsdaten sind im Wesentlichen der Erdgasverbrauch im Ofen 63 und die Materialstärke der zugeführten Brammen, da diese im Wesentlichen die erforderliche Ofenatmosphäre des Glühprozesses beeinflusst. Bei dünnen Brammen ist die zur Verfügung stehende Abwärmeleistung geringer als bei den dickeren Ausführungen, wodurch sich auch unterschiedliche Abgastemperaturen einstellen.

Die Anlagenparameter sind in der Regelung der ORC-Anlage so parametrisiert, dass erst bei einer Abgaswärmeleistung von ca. 2 MW die Abgasklappe motorisch geöffnet wird und die ORC-Anlage nach Erreichen des erforderlichen Betriebsdruckes im organischen Medium startet. Erfasst werden dabei Temperaturen und Drücke aller Medien auf der Eintritts- und Austrittsseite sowie innerhalb der Anlage und die erzeugte Strommenge, um die Gesamteffizienz zu erfassen. Die Auswertung der Daten erfolgt über das System MESSDASS, welches bereits vorher als Energiemanagementsystem bei der GMH-Gruppe implementiert wurde und an welches E.ON seine Anlagenparameter in Richtung Leitstand Kunde übergibt.

Die Messung der Ofenwerte und der Wärmemenge erfolgt kontinuierlich als Onlinemessung, die Stromerzeugung hinter der Turbine wird minütlich am Stromzähler erfasst.

2.6. Konzeption und Durchführung des Messprogramms¹

Automatisierungskonzept

Die ORC Anlage ist mit einer S7-Siemenssteuerung automatisiert. Über ein Proface-Touchpanel vor Ort lässt sich die Anlage komplett bedienen und beobachten. Auf der lokalen Steuerung werden alle Analogwerte, Alarmmeldungen und Zustände archiviert.

¹ Sofern durchgeführt

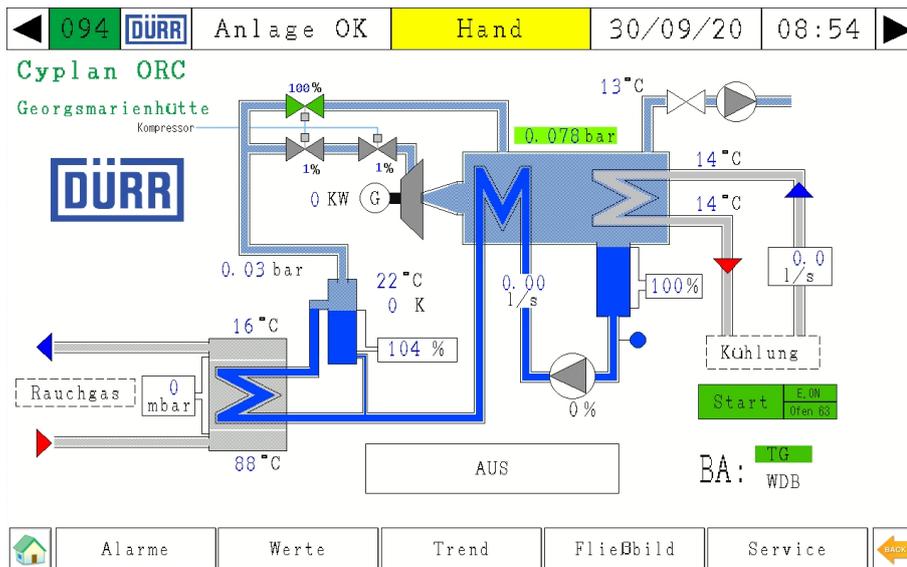


Bild 15: Messprogramm ORC-Anlage GMH (Quelle: Screenshot des Anlagenpanels vor Ort)

2.6.1 Anbindung an E.ON Zentrales Leitsystem

Die Anlage ist über VPN an ein Datencenter angebunden. In diesem Datencenter gibt es eine zentrale Leittechnik (ZLT). Bei der ZLT handelt es sich um ein WinCC Scada System. Es werden alle Analogwerte, Zustände und Alarmmeldungen an das Scada System übertragen und auch archiviert. So lässt sich jederzeit überprüfen und nachvollziehen, wie die Anlage mit welcher thermischen und elektrischen Leistung gelaufen ist. Auch die Leistungswerte des Ofens im Walzwerk werden erfasst.

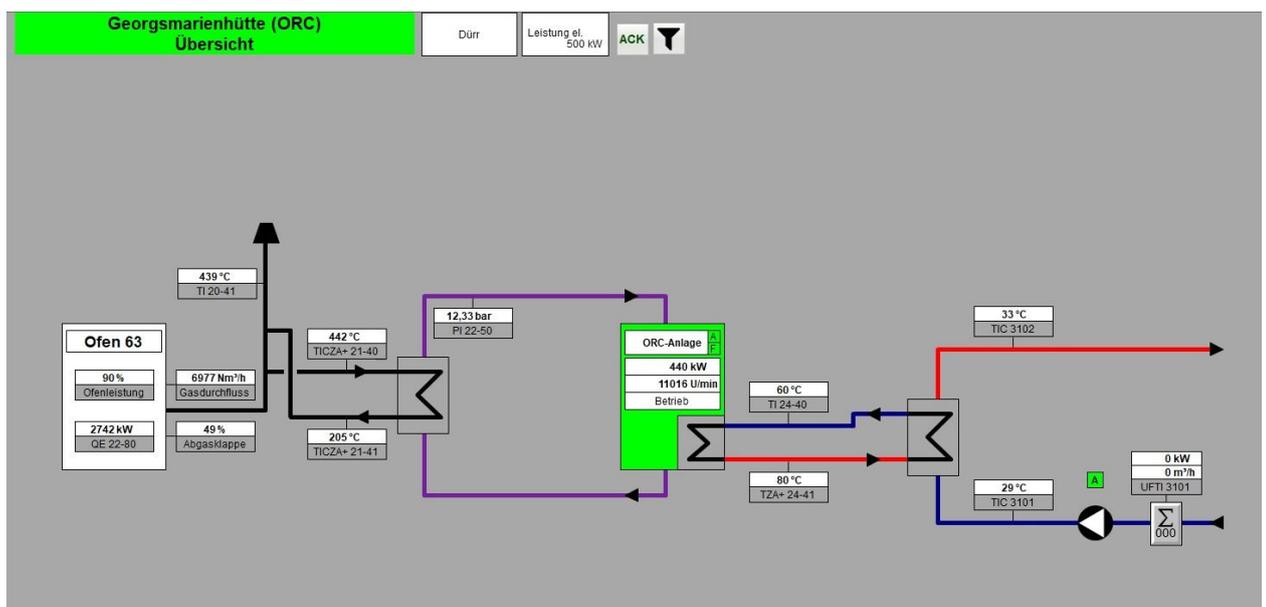


Bild 16: Übersicht Anlagenfließbild (Quelle: E.ON Leittechnik (ZLT/RCC))

2.6.2 Anbindung an E.ON Energie Data Manager – EDM

Zusätzlich ist die Anlage an ein EDM-System angebunden. EDM ist eine Energie Data Manager von Siemens. An EDM werden alle wichtigen Anlagenparameter übertragen wie z. B. elektrische Leistung, Betriebsstunden, Wärmemenge, Verfügbarkeitszähler. Über EDM lassen sich diverse Reports erstellen, die dem Kunden auch als Datengrundlage für seinen Nachhaltigkeitsbericht zur Verfügung gestellt werden.

3. Ergebnisdarstellung zum Nachweis der Zielerreichung

3.1. Bewertung der Vorhabendurchführung

Durch den massiven Einbruch in der gesamten Wirtschaft mit Beginn der Covid 19-Pandemie im März 2020 und der massiven Verunsicherung insbesondere im Bereich der Automobilindustrie kam es zu einem deutlichen Auftragseinbruch in der deutschen Stahlindustrie, der auch bei der Georgsmarienhütte und der Blankstahl GmbH deutlich spürbar war. Aufgrund der Anordnung von Zugangsbeschränkungen für Drittfirmen in das Stahlwerk in Georgsmarienhütte in den Monaten März-Mai mussten die Arbeiten zeitweise unterbrochen werden bzw. konnten von den Fachunternehmern nicht mit voller Sollstärke der Montageteams durchgeführt werden.

Die Produktion des Elektrostahlwerkes, das die Vorprodukte für den Ofen 63 fertigt, musste in der ursprünglich geplanten Laufzeit und der Produktionsmenge deutlich zurückgenommen werden, was in direkter Folge die Laufzeit des Ofens 63 und somit auch die Möglichkeit der geplanten Inbetriebnahme der ORC-Anlage erheblich verzögert hat. E.ON und GMH haben daher vereinbart, den Probebetrieb am erstmöglichen Termin vorzunehmen, der ein Zeitfenster von mindestens 72 Stunden durchgehenden Ofenbetrieb ermöglicht. Die ersten Stunden lief die Anlage planmäßig, allerdings kam es am Dienstag, 09.06.2020, gegen 17:00 Uhr zu einem kurzen Störlichtbogen am Generator der ORC-Turbine.

Nach erfolgter Reparatur bzw. teilweisen Neubaus des Generatoranschlusskastens und erfolgreicher Überprüfung des Generators im Werk, sowie Rücktransport und Wiedereinbau kam es dann zum zweiten Anlauf des 72-h-Probetriebes vom 14. – 17.07.2020 gab es keine relevanten Störungen, so dass dieser erfolgreich abgeschlossen werden konnte. Im Zuge des Probetriebes wurden insbesondere folgende Parameter geprüft, die für die Gesamteffizienz der Anlage und der Erreichung der CO₂-Einsparung relevant sind:

- Klappenstellung am Abgaskamin und Ermittlung der Teilstrommenge
- Eingangswärmeleistung am Verdampfer
- Elektrischer Eigenbedarf der Anlage für Saugzug, Pumpen etc.
- Nettostromerzeugung am Generator
- Temperatur bei Wiedereintritt in den Kamin für Prozesssicherheit im Ofen 63

Das Gesamtvorhaben zur Wärmerückgewinnung und Stromerzeugung konnte erfolgreich implementiert und am 25.08.2020 an den Betreiber Georgsmarienhütte Blankstahl GmbH

übergeben werden. Allerdings gab es deutliche Verzögerungen, die mit Beginn des Projektes nicht vorhersehbar waren. Dank einer sehr offenen und konstruktiven Zusammenarbeit aller Projektbeteiligten konnten alle Probleme konsensual gelöst werden und das Ergebnis der späten aber in Bezug auf die ermittelten Parameter erfolgreichen Inbetriebnahme ist sehr zufriedenstellend.

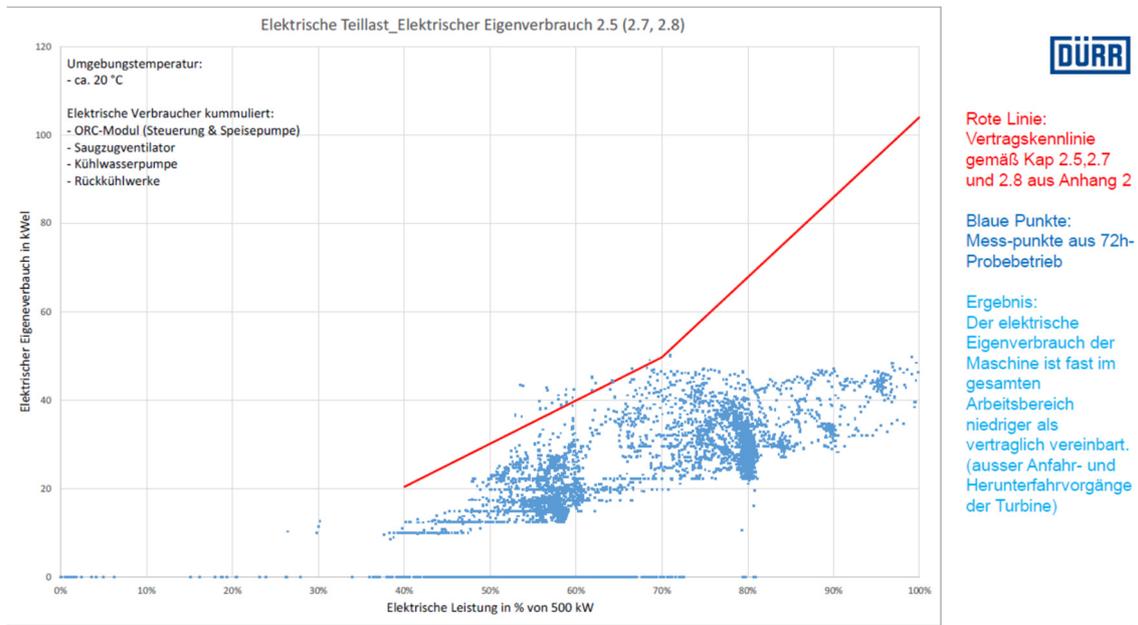


Bild 17: Auswertung elektrischer Eigenbedarf

In diesem Diagramm der Fa. Dürr ist der elektrische Eigenbedarf der Anlage (ohne Kabelverluste) aufgetragen. Die rote Linie beschreibt dabei die vertraglich zugrunde gelegten Parameter, also bei einer Fahrweise von zum Beispiel 70% Auslastung der ORC-Anlage, ergibt sich ein Eigenbedarf der Stromverbraucher von ca. 50 kW. Die blauen Punkte stellen den realen Eigenverbrauch während des 72h-Probetriebs dar. Damit ist erkennbar, dass der Eigenverbrauch der Anlage größtenteils geringer ist als vertraglich festgelegt. Dadurch wird der Verlust über die lange Kabelstrecke bis zur NSHV von GMH BS, zumindest teilweise, kompensiert.

3.2. Stoff- und Energiebilanz

In der Vorher-/Nachher-Betrachtung wird analysiert, wie die Maßnahme sich auf die Gesamtenergiebilanz des Ofens auswirkt. Die Detailangaben zur Beschickung des Ofen 63 mit den Gussstahlblöcken ist abhängig von der jeweiligen Kampagne und dem anschließenden Walzwerksprozess.

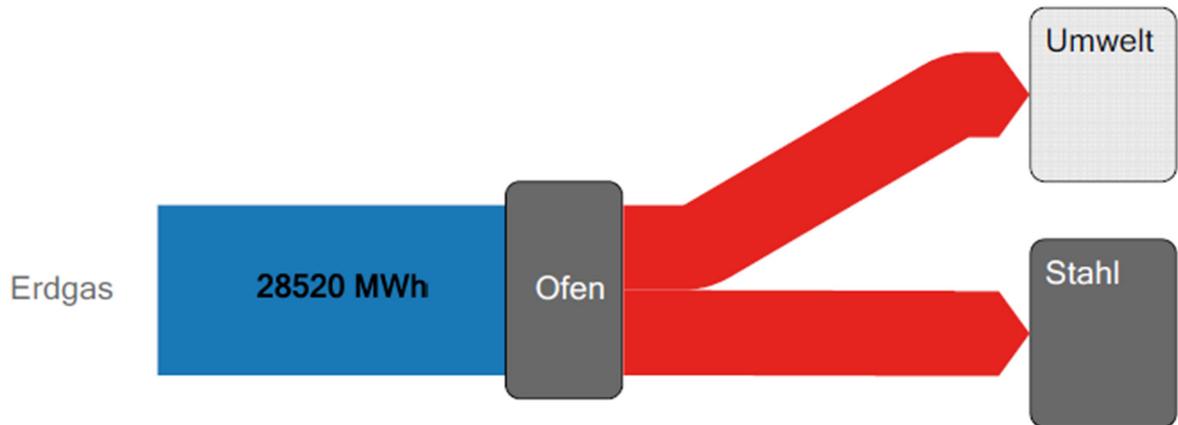


Bild 18: Sankey-Diagramm des Zustandes vor Integration der ORC-Anlage

In Bild 18 ist qualitativ dargestellt wie die eingesetzte Energiemenge des Erdgases als Wärmeenergie sowohl ins Medium (Stahl), als auch ungenutzt über den Schornstein in die Umwelt geht. Über die exakten Prozentanteile liegen keine Daten vor, deswegen ist nur die qualitative Darstellung möglich.

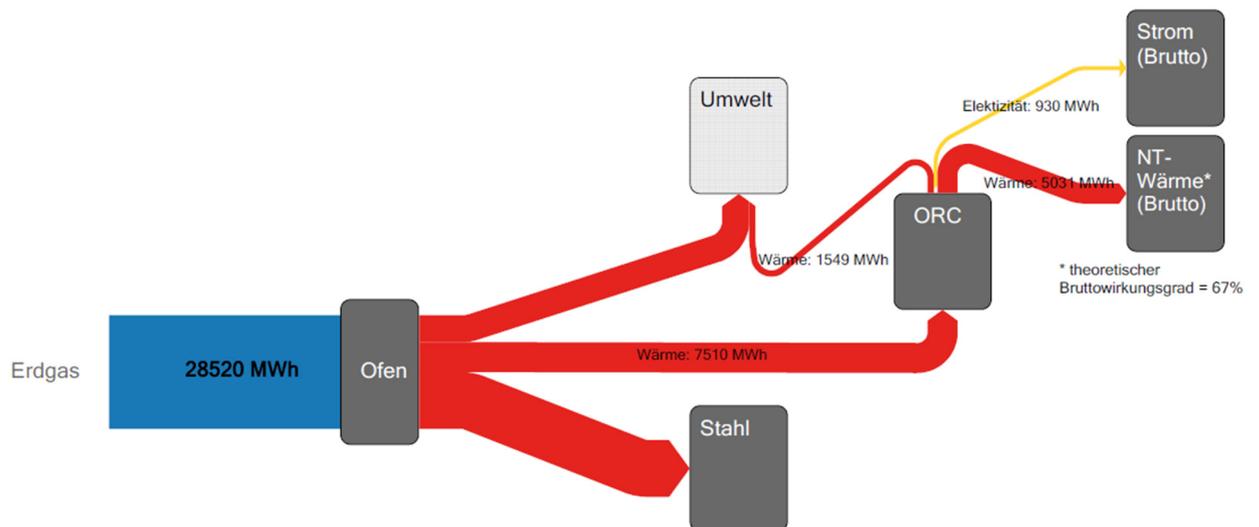


Bild 19: Sankey-Diagramm nach Integration der ORC-Anlage

In Bild 19 sind die aktuellen Energieströme mit der ORC-Anlage zu erkennen. In Veränderung zu Bild 18 werden nun der Abwärme, die vormals ungenutzt durch den Schornstein in die Umwelt gelangt ist, ca. 7.500 MWh dem Verdampfer der ORC-Anlage zugeführt. Daraus werden in dem erfassten Zeitraum dann ca. 930 MWh Strom und ca. 5.000 MWh Wärme erzeugt. Ca. 1.500 MWh werden dann (auf einem niedrigeren Temperaturniveau) wieder über den Schornstein der Umwelt zugeführt. Sobald die NT-Wärme vollständig im Werk genutzt wird, kann man daraus einen Bruttowirkungsgrad von ca. 67 % des ORC-Prozesses

ableiten.

Der ORC-Prozess wird gesteuert über die verfügbare Wärmeenergie und die in Abstimmung mit dem Lieferanten und dem Kunden eingestellten Sollwerte. Sollte eine Mindestabwärmemenge unterschritten werden, fährt die Anlage in den Stand-By-Modus, da der Eigenverbrauch für die elektrischen Verbraucher Saugzuggebläse und insbesondere bei hohen Außentemperaturen im Sommer das Rückkühlwerk den Großteil der erzeugten elektrischen Energie konsumieren würden. Daher ist die Anlage so parametrisiert, dass mindestens 100 kW elektrisch erzeugt und ins Werksnetz eingespeist werden können.

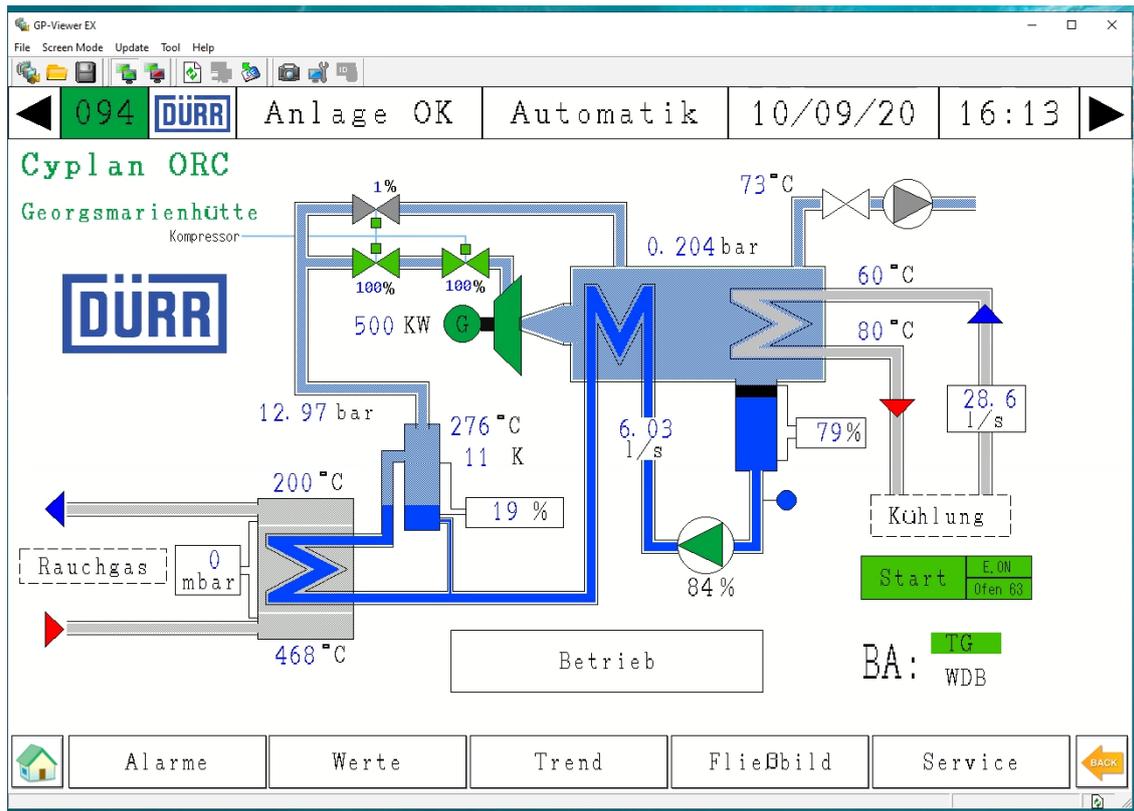


Bild 20: Übersicht ORC-Kreisprozess (S7 Touchpanel Dürr)

Busdaten			
Temperatur Verdampfer	28 °C	Abgasstemperatur max. vor Reku	0 °C
Druck Verdampfer	0 bar	Abgasstemperatur max. nach Reku	303 °C
Überhitzung Sattdampf	0 K	Gasmenge	2304 Nm³/h
Fullstand Hotrot	100 %	Stellung Abgasklappe	25 %
Leistung ORC Anlage elektr.	0 kW	Ofendruck	0.07 bar
Thermische Ausgangsleistung	0 kW	ORC-Anlage Netto Leistung	*** kW
Thermische Eingangsleistung	0 kW	ORC-Anlage Netto Energie	50 MWh
Leistung Steuerschrank	0 kW	ORC-Anlage Netto Betriebsstunden	0 h
Energiezähler Z4 ungeeicht elektrisch	58 kWh	GMH Blankstahl Netto Leistung	0 kW
Energiezähler thermischer Ausgang	587685 kWh	GMH Blankstahl Netto Energie	0 MWh
Durchfluss Arbeitsmedium	0 m³/h	GMH Blankstahl Netto Betriebsstunden	0 h
Differenzdruck Rauchgas	0 mbar		
Anlagenleistung Wärmequelle	30 kW		
CosPhi Sollwert	1.000		
Saugzugventilator	0 %		

Bild 21: Übersicht der erfassten Anlagenparameter (ZLT E.ON im RCC)

3.3. Umweltbilanz

Ökologisch betrachtet ist die Bereitstellung von Nutzenergie aus Abwärme eines Prozesses eine CO₂-neutral gewonnene Nutzenergie, da die Umwandlung in Nutzenergie ohne Einsatz von zusätzlichen Primärenergieträgern erfolgt. Die gewonnene Nutzenergie ersetzt zudem solche aus anderen Energiequellen, welche alternativ Primärenergieträger zur Umwandlung benötigen. Dadurch verringert sich der Primärenergieeinsatz für die Erzeugung von Prozesswärme, Strom oder Heizwärme.

Die Substitution der Nutzenergie hat auch ökonomische Effekte. Durch die Einsparung an thermischer oder elektrischer Energie, die durch alternative Erzeugung bereitgestellt werden müsste, lassen sich Kosten für Brennstoff oder elektrischen Strom einsparen. Die Energiekosten sind häufig ein wichtiger Kostenfaktor und beeinflussen signifikant die Konkurrenzfähigkeit von produzierenden Unternehmen am Markt. Im Gegensatz zum Energiebezug aus öffentlichen Quellen bleiben die Kosten für die Umwandlung von Abwärme in Nutzenergie langfristig kalkulierbar.

Mit diesem Projekt wurde im Wesentlichen auf eine deutliche CO₂-Reduzierung im Strombezug der GMH Blankstahl durch Errichtung einer effizienten Eigenstromerzeugung aus Abwärme abgezielt. Dabei wurde für die Eigenerzeugung der CO₂-Faktor des deutschen Stromnetzes gem. der Berechnungsfaktoren des BafA mit 538 g/kWh (Stand 2019) zu Grunde gelegt. Die Abwärme hinter dem Ofen wird dabei mit einem CO₂-Faktor von Null angesetzt, da der im Erdgasverbrennungsprozess entstehende CO₂-Anteil bereits im Zuge der Verbrennung berücksichtigt wurde.

Die vermiedene CO₂-Belastung durch die Erzeugung des Stroms zur Eigenbedarfsdeckung beträgt rd. 1.200 t/a bzw. 64% unter Berücksichtigung des elektrischen Eigenbedarfes der ORC-Anlage. Darin ist die Laufzeit des Ofens mit 6.000 Betriebsstunden unterstellt, was in der Analyse der Betriebsjahre vor der Anlagenerrichtung ein typischer Wert ist. Bedingt durch die Teillastverhältnisse und die planmäßigen Betriebsunterbrechungen in Sommer- und Winterrevision an den Produktionsanlagen, wird die ORC-Anlage ca. 4 Wochen im Jahr planmäßig nicht im Betrieb sein. Durch konjunkturell bedingte Änderungen der Betriebsweise des Ofen 63 kann es zu Änderungen der Rahmenbedingungen kommen, die Auswirkungen auf die An-/Abschaltzyklen der ORC-Anlage haben.

Aufgrund der Corona-Implicationen konnte eine geplante mehrwöchige Messkampagne noch nicht durchgeführt werden und wird nachgeholt. Diese Ergebnisse werden in Absprache mit UBA als Anhang zum Abschlussbericht nachgereicht. Für den Projektabschluss und eine erste Abschätzung der Umweltvorteile weist die Gesamtenergiebilanz eine Einsparung des Netzstrombezugs und somit eine direkte CO₂-Einsparung auf.

3.4. Wirtschaftlichkeitsanalyse

Die ORC-Technologie ist in der in diesem Projekt eingesetzten Größenordnung nur von wenigen Herstellern serienreif und weist dadurch spezifisch vergleichsweise hohe Kosten pro Kilowatt installierter Leistung auf. Zwei Lieferanten, die sich auf diese Anlagentechnologie spezialisiert haben, sind die Firma Dürr Cyplan Limited, eine Tochter der Dürr Systems AG und die Firma Turboden, eine Tochter von Mitsubishi Electric. Das Fabrikat Dürr wurde für das Projekt bei der GMH gewählt, da diese Anlage das Arbeitsmedium (hier Abgas) über einen Direktverdampfer schickt und ein nachgeschalteter Thermalölkreislauf dadurch entfallen kann.

Der Businesscase, der dem Projekt zu Grunde liegt, ist ein Pachtmodell mit einer Servicevereinbarung für Wartung und Instandhaltung an der Anlage, um die Effizienz der Anlage über den Pachtzeitraum aufrecht zu erhalten. Das bedeutet, dass die Anlage in Eigenregie von E.ON geplant, gebaut und nach Fertigstellung an die GMH verpachtet wurde. Der Hintergrund ist, dass die Anfangsinvestition von rd. 2,3 Millionen Euro in die Anlage für eine Eigeninvestition der GMH BS zu hoch ist und ohne die Variante der Pachtlösung nicht realisiert worden wäre.

Eine wirtschaftliche Gegenüberstellung in Tabelle 1 zeigt, welchen Effekt eine Förderung der Maßnahme auf die ROI-Betrachtung hat. Nur mit einer Förderung ist eine Kapitalrückflusszeit von rd. 10 Jahren erreichbar, was für Investitionen in Industrieprojekten als lang einzustufen ist.

Pay-back-Betrachtung	ohne Förderung	mit Förderung	
Erzeugte Strommenge netto (Prognose bei 6.000 Vbh)	2.700,00	2.700,00	MWh/a
getätigte Gesamtinvestition	2.300.000,00	1.630.000,00	€
Einsparung durch Vermeidung Netzbezug (ohne NNE)	112,50	112,50	€/MWh
EEG-Umlage auf produzierten Eigenstrom (40%)	26,22	26,22	€/MWh
Einsparung brutto	303.750,00	303.750,00	€/a
abzgl. zu entrichtende EEG-Umlage	70.804,80	70.804,80	€/a
Einsparung Energiekosten netto	232.945,20	232.945,20	€/a
Betriebskosten Full-Service, Personal	81.838,76	81.838,76	€/a
Einsparung nach Abzug Betriebskosten	151.106,44	151.106,44	€/a
ROI	15,22	10,79	a

Tabelle 1: Payback-Betrachtung

Das Ergebnis in Tabelle 1 zeigt auf, dass ohne eine Investitionsförderung als Anschubfinanzierung eine Umsetzung eines solchen Projektes aus Kundensicht nicht möglich wäre.

Auch in dem in Tabelle 1 abgebildeten Szenario ist die Wirtschaftlichkeit nur dann gegeben, wenn der Ofen 63 eine reale Betriebszeit von 6.000 h/a aufweist, der anzulegende Strompreis eine entsprechende Höhe hat und eine ausreichend große und in der ORC-Anlage technisch nutzbare Wärmemenge liefert.

Ein wesentliches Hemmnis für die Umsetzung weiterer vergleichbarer Projekte ist, dass die auch im Rahmen von Effizienzprojekten zu entrichtende EEG-Umlage wie der hier betrachteten Abwärmeverstromung, wirtschaftlich tragfähige Lösungen verhindert. Die Anschubfinanzierung könnte deutlich geringer ausfallen, wenn Anreize für Effizienzprojekte durch Entfall nicht sachgerechter Umlagen geschaffen werden.

3.5. Technischer Vergleich zu konventionellen Verfahren

Die ORC-Technologie mit Direktverdampfung konkurriert im Wesentlichen mit konventionellen Dampf- oder Thermalölanwendungen, bei denen Wasser bzw. ein Thermalöl erhitzt werden, um einen Kreisprozess anzutreiben. Diese Standard-Technologien sind etabliert und bewährte Praxis, allerdings sind sie im Betrieb überwachungspflichtig und unterliegen regelmäßigen Prüfungen.

Der innovative Teil der hier errichteten Anlage besteht insbesondere darin, dass mit der ORC-Technologie ein breites Spektrum an verschiedenen Betriebspunkten der Abwärmeauskopplung abgefahren werden kann und erst bei einer Temperaturuntergrenze $< 372\text{ °C}$ die Anlage in den Stand-by-Modus schaltet, da dann das Betriebsmittel ggf. beginnt zu kondensieren und die Turbine bei Tröpfchenbildung Schaden nehmen könnte. Mittlerweile sind über ORC-Lösungen auch niederkalorische Abwärmequellen ($>80\text{ °C}$) für eine Verstromung nutzbar (siehe www.orcan.de). Allerdings sind die elektrischen Wirkungsgrade mit ca. 7% nicht vergleichbar mit den Hochtemperaturanlagen, die bei ca. 17% brutto liegen.

Da bei der eingesetzten ORC-Turbine mit dem Wärmeübertrager Ethylbenzol die Expansion nahezu flüssigkeitsfrei geschieht, sollte es zu keinen Erosions- und Korrosionserscheinungen an der Turbine kommen. Die gewählte ORC-Anlage des Herstellers besitzt ein sehr gutes Teillastverhalten und kann bis ca. 30% der Nennlast ohne Wirkungsgradverlust betrieben werden. Darüber hinaus läuft der Betrieb der Anlage völlig automatisiert und beaufsichtigungsfrei. Aufgrund fehlender Erfahrungen gibt es aber durch die lokale Betriebsmannschaft der GMH BS alle 72 Stunden eine Sichtprüfung, da bei einer Anlage dieser Größenordnung mögliche Leckagen oder akustische Auffälligkeiten nur durch regelmäßige vor-Ort-Prüfungen frühzeitig erkannt werden können.

Da im Gegensatz zu Dampfturbinen das An- und Abfahren der Anlage relativ einfach und anwenderfreundlich ist, erfolgt dieses im Bedarfsfall durch die Serviceteams von E.ON und Dürr mit Ferneinweisung des lokalen Betriebspersonals. Ein weiterer Vorteil der ORC-Technologie ggü. Dampfturbinen liegt in der Vermeidung einer komplexen Wasserchemie und dem damit verbundenen Betriebsaufwand in der Überwachung. Hier ist insbesondere bei Kleinanlagen bis ca. 2 MW die ORC-Technologie im Vorteil, da der Betreuungsaufwand mit spezifisch kleineren Anlagenleistungen steigt. Da im Vergleich zur ORC-Technologie die

Dampferzeugung apparativ relativ aufwändiger und der Wirkungsgrad der Dampfturbine sehr stark von den Dampfparametern Temperatur und Druck abhängig ist, wird eine Verstromung mittels einer Dampfturbine meist nur bei Temperaturen von über 300 °C eingesetzt. Der Wirkungsgrad einer Dampfturbine liegt mit 20 bis 30 % oberhalb einer ORC-Anlage, allerdings nur bei entsprechender hoher Kondensationsrate.

4. Übertragbarkeit

Die Implementierung der ORC-Anlage hinter dem Abwärmeprozess des Hubbalkenofens war im Wesentlichen dadurch geprägt, dass im Vorfeld das Risiko des Eingriffs in den Ofenprozess auf der Abgasseite bewertet werden musste. Vor dem Hintergrund, dass eine unkontrollierte Veränderung der Ofenatmosphäre durch das Saugzuggebläse möglicherweise zu einer Veränderung der Materialeigenschaften und somit zu einem ggf. späteren Ausschuss der Halbfabrikate führen kann, wurde die Entnahmeleistung der Abwärme auf 3 MW thermisch begrenzt. Als positive Erfahrungen sind anzuführen, dass der Ofenhersteller bei der Beschaffung der erforderlichen Auslegungsdaten kooperativ war und das Vorhaben konstruktiv unterstützt hat. Die Fachabteilungen der GMH, die für das Projekt eingebunden wurden, haben konstruktiv mitgewirkt und die in vergleichbaren Vorhaben relevanten Themen wie z.B. Brandschutz-, Entwässerungs- und Schallschutzkonzept eng fachlich begleitet.

Bei der Praxiserfahrung im Betrieb der Anlage hat sich gezeigt, dass das zur Verfügung stehende Abwärmepotential folgender Logik unterworfen ist: Je geringer die Materialstärke im angeschlossenen Walzwerksprozess, desto kürzer dauert der Walzprozess und es wird weniger Ofenleistung benötigt. Somit sinkt auch der Erdgaseinsatz und das Abgasvolumen. Besonders relevant ist somit die Kampagnendauer und die insgesamt zu walzende Tonnage, die das verfügbare Abwärmepotential des Ofens beeinflusst.

In künftigen Projekten ist daher insbesondere darauf zu achten, wie sich die Materialflüsse bezogen auf die Produktionszyklen gegebenenfalls ändern. Im konkreten Fall ist aufgrund der Corona-bedingten Verschiebungen der Auftragseingänge der Ofendurchsatz entsprechend reduziert gewesen, was zu einer Reduzierung der Ofenleistung und somit linear zu einem verminderten Stromertrag aus der ORC-Anlage geführt hat.

Das hinter einem Hubbalkenofen, der eine besondere Form eines sogenannten Durchlaufofens darstellt, umgesetzte ORC-Projekt hat Modellcharakter, weil erstmalig die Integration einer ORC-Anlage hinter einem Hubbalkenofen realisiert wurde, einem in der Typologie der Industrieöfen als Durchlaufofen klassifizierter Ofen.

Die Ofentechnologie des Durchlaufofens gibt es mit elektrischer Beheizung oder Gasbeheizung als Durchlaufofen, Durchstoßofen, Kettendurchlaufofen, Hubbalkenofen,

Förderbandofen und Rollenofen und findet sich in unterschiedlichen Bauformen in vielen Industriezweigen wie z.B. der keramischen Industrie. Grundsätzlich wäre somit das Prinzip der umgesetzten Lösung auf andere Industriezweige übertragbar. Im Einzelfall entscheidet die Abgasqualität und -menge darüber, ob ein ausreichendes Wärmepotential gehoben werden kann. Sollten aufwändige Verfahren zur Reinigung der Abgase nötig sein, um die Wärme für andere Prozesse übertragen zu können, sind in den meisten Fällen so hohe Investitionen zu tätigen, dass eine wirtschaftliche Nutzung mit vertretbaren Amortisationszeiten nicht möglich ist.

Die Abwärmenutzung in der Industrie besitzt nach wie vor ein sehr großes Potenzial, die Energieeffizienz von Produktionsprozessen für die unterschiedlichsten Anwendungsfälle deutlich zu steigern und den Einsatz fossiler Energieträger in der Stromerzeugung zu reduzieren. Hemmend für die Durchsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen insbesondere in Richtung der Erzeugung von Eigenstrom ist die aktuelle Handhabung des EEG und die dadurch entstehende Kostenbelastung. Die aufgrund der hohen Investitionskosten in den meisten Fällen ohnehin schon langen Amortisationszeiten hindern Unternehmen mit entsprechenden Potentialen häufig, diese Potentiale auch zu heben. Die im vorliegenden Projekt verwendete Technologie vom Hersteller Dürr ist in einem industriellen Projekt erstmalig eingesetzt worden und verspricht aufgrund der Robustheit der Technik eine lange technische Nutzungsdauer.

5. Zusammenfassung/ Summary

Einleitung/Introduction

Die Georgsmarienhütte hat im Rahmen ihrer Nachhaltigkeitsagenda für die Unternehmen am Standort und ihrer Gruppe der Weiterverarbeiter konkrete Einsparziele definiert, um ihre Produkte möglichst energieeffizient herzustellen und zu prüfen, inwieweit Maßnahmen zur Energierückgewinnung und -weaternutzung möglich sind. Die Problemstellung lag in der Verknüpfung einer ungenutzten Energiequelle aus Teilprozessen des vorgelagerten Bearbeitungsprozesses eines Walzwerks mit dem gleichzeitig hohen Sekundärenergiebedarf des benachbarten Weiterverarbeiters auf dem gleichen Gelände. Es sollte eine technische Lösung gefunden werden, die Energieverluste im Abgas des Aufheizprozesses eines Hubbalkenofens auf der einen Seite, dem benachbarten Unternehmen in der Form elektrischer Energie zugänglich zu machen. Eine zu lösende Herausforderung war insbesondere das Design der Anlage an die örtlichen Platzverhältnisse anzupassen und dabei kurze Wegstrecken sowohl auf der Entnahmeseite der Abgaswärme am Kamin als auch bei der Übergabe der Sekundärenergien Strom- und Wärme zu realisieren.

As part of its sustainability agenda, Georgsmarienhütte has defined concrete savings targets for the companies at the site and its group of processors in order to manufacture its products as energy-efficiently as possible and to examine the extent to which measures for

energy recovery and further use are possible. The problem lay in the linking of an unused energy source from sub-processes of the upstream machining process of a rolling mill with the simultaneously high secondary energy demand of the neighboring processor on the same site. A technical solution was to be found to make the energy losses in the exhaust gas of the heating process of a walking beam furnace on the one hand accessible to the neighboring company in the form of electrical energy.

A challenge to be solved was in particular to adapt the design of the system to the local space conditions and to realize short distances both on the extraction side of the exhaust gas heat at the chimney and when transferring the secondary energies electricity and heat.

Vorhabenumsetzung/Project implementation

Das Vorhaben wurde nach einer Projektunterbrechung aufgrund der Insolvenz des Lieferanten für die Hauptkomponenten planerisch überarbeitet und auf eine alternative technische Lösung, die an dem Charakter des Projektes nichts verändert hat, realisiert.

Dabei wurden im Wesentlichen Wert auf die möglichst hohe Effizienz bei der Stromerzeugung und die Optimierung der Eigenverbrauchsanlagen (Pumpen, Lüfter, Motoren) gelegt, um einen möglichst hohen Systemwirkungsgrad zu erreichen. Das Vorhaben wurde unter Einhaltung der Werksnormen und Vorschriften der Georgsmarienhütte realisiert und in Betrieb genommen. Die aufgetretenen Anlagenfehler im Rahmen des ersten Probetriebs konnten schnell lokalisiert und in enger Zusammenarbeit mit den Lieferanten und dem Kunden behoben werden.

After a project interruption due to the insolvency of the supplier, the project was revised in terms of planning for the main components and implemented on an alternative technical solution that did not change the character of the project.

Emphasis was placed on the highest possible efficiency in power generation and the optimization of self-consumption systems (pumps, fans, motors) in order to achieve the highest possible system efficiency. The project was implemented and put into operation in compliance with the factory standards and regulations of the Georgsmarienhütte. The system faults that occurred during the first trial operation could be localized and corrected in close cooperation with the suppliers and the customer.

Ergebnisse/Project results

Die Ergebnisse des nach Anlaufschwierigkeiten erfolgreich absolvierten dreimonatigen Probetriebs der Anlage zeigen, dass die Anlage die geplanten Parameter hinsichtlich der Strom- und Wärmeauskopplung erreicht, wenn die Eingangsparameter auf der Prozessseite mit Abgastemperatur und Volumenstrom gegeben sind. Diese stehen in direktem Zusammenhang mit der Beladung des Ofens für den anschließenden Walzprozess. Im Zuge der Prozessanalyse konnte festgestellt werden, dass eine Glättung der Lastspitzen auf der

Primärenergieeinsatzseite des Ofens zu einem deutlich verbesserten Anlagenverhalten ohne Notabschaltungen aufgrund von Schwingungen an der Turbine führt.

Das wirtschaftliche Ergebnis des Projektes ist abhängig von den Betriebszeiten des Ofens und seiner Beschickung mit Werkstücken in ausreichender Materialstärke. Um einen hohen Wärmeeintrag und somit ein hohes Abwärmepotential zu erzielen. Im Normalbetrieb des Ofens ist das Potential für eine ausreichende Abwärmenutzung zur Produktion von CO₂-freiem Strom von rd. 2,4 Gigawattstunden und einer damit verbundenen CO₂-Einsparung von rd. 1.450 Tonnen pro Jahr gegeben.

The results of the three-month trial operation of the plant, which was successfully completed after start-up difficulties, show that the plant achieves the planned parameters with regard to electricity and heat extraction if the input parameters on the process side with exhaust gas temperature and volume flow are given. These are directly related to the loading of the furnace for the subsequent rolling process. In the course of the process analysis, it was found that smoothing the load peaks on the primary energy input side of the furnace leads to a significantly improved system behavior without emergency shutdowns due to vibrations on the turbine. Contrary to expectations, the economic result of the project depends on the operating times of the furnace and its feeding with workpieces in sufficient material thickness. To achieve a high heat input and thus a high waste heat potential. In normal operation of the furnace, there is the potential for sufficient waste heat utilization for the production of CO₂-free electricity of approx. 2.4 gigawatt hours and a CO₂ saving of approx. 1,450 tons per year.

Ausblick/Prospects

Die Praxiserfahrungen des realisierten Projektes hinter dem Hubbalkenofen zeigen, dass trotz einer im Rahmen der Planung sehr detaillierten Betrachtung von Messwerten in allen Betriebszuständen in hoher Auflösung (Minutenwerte) im realen Betriebsverhalten sich andere Bedingungen einstellen können. Daher ist im Rahmen der Übertragung auf andere Öfen im Vorfeld die Betriebscharakteristik detailliert zu prüfen. Grundsätzlich lässt sich die Technologie auf Unternehmen übertragen, die prozessbedingt ähnliche Abwärmeströme zur Verfügung haben und auch in der Betriebscharakteristik der Anlagen die erforderlichen Betriebszeiten aufweisen. Der kontinuierliche Betrieb eines Ofens ist eine wichtige Voraussetzung, damit die ORC-Technologie funktioniert und Wärme in Strom umgewandelt werden kann. Prozesse, bei denen ein so genannter Batch-Betrieb üblich ist, können mit dieser Technologie nicht sinnvoll optimiert werden.

The practical experience of the realized project behind the lifting beam furnace shows that despite a very detailed consideration of measured values in all operating states in high resolution (minute values) in the real operating behavior, other conditions can arise in the context of planning. Therefore, as part of the transfer to other furnaces, the operating

characteristics must be checked in detail in advance. In principle, the technology can be transferred to companies that have similar waste heat flows available due to the process and also have the required operating times in the operating characteristics of the plants. The continuous operation of a furnace is an important prerequisite for ORC technology to work and heat to be converted into electricity. Processes in which so-called batch operation is common cannot be meaningfully optimized with this technology.

Veröffentlichungen

Das erfolgreich umgesetzte Projekt soll mit redaktionellen Fachbeiträgen in den einschlägigen Printmedien der Energiebranche (z.B. Energie & Management, BWK, VDI-Nachrichten) publiziert werden. Darüber hinaus ist geplant, Präsentationen zu erstellen und auf Kongressen und Fachmessen (z.B. Europäische Stahlmesse, E-World etc.) das Projekt vorzustellen. Ferner soll das Projekt über die Internetseiten der Projektpartner GMH, E.ON und Dürr für interessierte Dritte zugänglich gemacht werden.

Literatur

Betriebsdaten Ofen 63 der Georgsmarienhütte GmbH

Technische Dokumentationen des Ofenherstellers und der Kaminanlage

Bildmaterial von E.ON Business Solutions GmbH, Dürr Systems AG, Georgsmarienhütte GmbH, Georgsmarienhütte Blankstahl GmbH

6. Anhang (s. Exceldateien)