

BMU-UMWELTINNOVATIONSPROGRAMM

Abschlußbericht

zum Vorhaben:

Wärmerückgewinnung aus Rauchgas zur Speisung eines Heißwassernetzes
20180

Fördernehmer/-in:

OTTO FUCHS KG

Umweltbereich

(Klimaschutz, Energie, integrierter Umweltschutz)

Laufzeit des Vorhabens

09.02.2010 – 31.12.2010

Autor

Paul Julian Plikat
und
Marcus Lodde

Gefördert aus Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz und Reaktorsicherheit

Datum der Erstellung

März 2011

Berichts-Kennblatt

Aktenzeichen UBA 70441-5/27	Vorhaben-Nr. 20180
Titel des Vorhabens / Report Title Wärmerückgewinnung aus Rauchgas zur Speisung eines Heißwassernetzes Flue gas heat recovery for a hot water supply network	
Autor(en), Name(n), Vorname(n) Paul Julian Plikat, OTTO FUCHS KG Marcus Lodde, Effizienz-Agentur NRW	Vorhabensbeginn 09.02.2010
	Vorhabenende (Abschlussdatum): 31.12.2010
Fördernehmer / -in (Name, Anschrift) OTTO FUCHS KG Derschlager Str. 26 58540 Meinerzhagen	Veröffentlichungsdatum 31.03.2011
	Seitenzahl 31
Gefördert (aus Klimaschutzinitiative) im Rahmen des Umweltinnovationsprogramms des Bundesumweltministeriums	
Kurzfassung / Summary Das vorhandene Heißwassernetz (140°C) musste dem gesteigerten Mengenbedarf angepasst werden. Bestandteil des Planungskonzeptes war es zu versuchen, den zusätzlichen Wärmebedarf über Rauchgasrückgewinnung zu decken. Im Rahmen einer ersten großtechnischen innovativen Anwendung sollte der erforderliche Wärmebedarf aus dem Rauchgas der mit Erdgas betriebenen Industrieöfen ausgekoppelt werden, um ihn in das bestehende Heißwassernetz einzuspeisen. Mit der Integration eines Wärmetauschers konnten ca. 303 kWh Heizleistung eingespart werden. Dies entspricht bei 7.800 Betriebsstunden per anno und einem Wirkungsgrad von 80 % für eine alternative Erzeugung über Primärenergieeinsatz einer Einsparung von 2.954 MWh/a Primärenergie. Unter der Berücksichtigung eines CO ₂ -Äquivalents von 207 g/kWh bzw. des Betriebsaufwandes errechnet sich eine Einsparung von 559,5 t/a. Das Ergebnis liegt um 39 % über der erwarteten Einsparung zur Planung. The existing hot water network (140°C) had to be adjusted to meet increased quantity requirements. The planning concept of the project was to use flue gas heat recovery in order to fulfil additional heat requirements. During the primary stage of the large-scale innovative implementation the heat required was extracted from the natural-gas-fired industrial furnaces, and then fed into the existing hot water supply network. The introduction of a heat exchanger resulted in a reduction of approximately 303 kWh of heat output. At 7,800 operating hours per year with a heat efficiency of 80% for alternative heat generation from primary energy, this equates to a reduction of 2,954 MWh per year in primary energy usage. When considering a CO ₂ equivalent of 207g / kWh respectively the operating costs, the saving amounts to 559,5 tonnes per year. This result exceeds the expected savings calculated during the planning phase by 39%.	
Schlagwörter / Keywords Wärmerückgewinnung, Rauchgas, Heißwassernetz, Pufferspeicher, Hydraulische Weiche Heat recovery, flue gas, hot water supply network, buffer tank, hydraulic coupling	
Anzahl der gelieferten Berichte Papierform: 10 Elektronischer Datenträger: 1	Sonstige Medien Veröffentlichung im Internet geplant auf der Homepage: www.otto-fuchs.com

Kurzfassung / Summary

Beschreibung / Introduction

Ausgangssituation und Aufgabenstellung; Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Die OTTO FUCHS KG betreibt eine umfangreiche Fertigung mit Recycling von Al (Schmelz- und Gießbetrieb), Strang- und Schmiedepressen, sowie einer Weiterverarbeitung der erzeugten Halbzeuge. Bei der Al-Fertigung gehört die Warmbehandlung mit anschließender Abschreckung im temperierten Wasserbad, zum Teil über mehrstufige Warmbehandlungsprozesse, zu den Standardprozessen. Entsprechend groß ist der Warmwasserbedarf des Unternehmens, der über ein dezentrales Kesselhaus und ein umfangreiches Warmwassernetz abgedeckt wird.

Im Rahmen eines geplanten Ausbaues des Standortes Meinerzhagen musste das vorhandene Heißwassernetz (140°C) dem gesteigerten Mengenbedarf angepasst werden. Bestandteil des Planungskonzeptes war es zu versuchen, den zusätzlichen Wärmebedarf über Rauchgasrückgewinnung zu nutzen.

Im Rahmen einer ersten großtechnischen Anwendung sollte der erforderliche Wärmebedarf aus dem Rauchgas der mit Erdgas betriebenen Industrieöfen ausgekoppelt werden, um ihn in das bestehende Heißwassernetz einzuspeisen.

Zu beachten war die industriegerechte Konzeption und die spezifischen Anforderungen der Fertigung,

- ▶ keine Beeinflussung der hohen Anforderungen an die Ofenatmosphäre
- ▶ platzsparende Einbindung in die bestehenden Hallenstrukturen

Zudem musste die Lösung der Grundforderung an Infrastrukturkomponenten in der Industrie genügen:

- ▶ hohe Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit
- ▶ flexible Integration in das bestehende Warmwassernetz. Die OTTO FUCHS KG betreibt eine Vielzahl erdgasbefuerter Industrieöfen. Es galt ein System zu konzipieren, welches nach und nach alle Öfen mit ausreichend Potenzial in das System integriert.
- ▶ ein Baukastensystem, das ohne komplexe Regelung die hydraulische Einbindung der diversen Einzelbausteine ermöglicht (hydraulische Weiche).

Initial situation, task specification and prerequisites for the project

OTTO FUCHS KG runs a comprehensive manufacturing operation that includes aluminium recycling (forging and casting), extruding and forging presses as well as the processing of semi-finished products. A standard process in aluminium manufacturing is heat treatment with subsequent quenching in a temperature controlled water bath; this is often part of a multi-stage heat treatment process. As a result, the hot water demand of the company is relatively high, and the hot water is supplied from a decentralised boiler house using an extensive warm water supply network.

As part of the planned extension of the site in Meinerzhagen, the existing hot water supply network (140°C) had to be adjusted to meet the increased demand. The planning concept included a plan to use flue gas heat recovery to fulfil this additional heat demand.

During the primary large-scale implementation the heat required was extracted from the natural-gas-fired industrial furnaces, and then fed into the existing hot water supply network.

The concept had to comply with industry standards and specific requirements for manufacturing processes, i.e.:

- ▶ No interference with strict requirements for furnace atmosphere
- ▶ Space-saving integration into existing building structures

Moreover, the solution had to comply with the basic industrial requirements for infrastructure components, i.e.:

- ▶ High degree of reliability and availability
- ▶ Flexible integration into the existing warm water supply network. OTTO FUCHS KG operates a multitude of natural-gas-fired industrial furnaces, therefore a system is required which allows for all furnaces with sufficient heat potential to be gradually included into the system.
- ▶ A modular system, which allows the hydraulic integration of various individual components without the need for complex controls (hydraulic coupling).

Planung und Ablauf des Vorhabens / Planning and Project Schedule

OTTO FUCHS KG

Projektplan: "Wärmerückgewinnung aus Rauchgas zur Speisung eines Heizwassernetzes"

Projektmonat	2010												
	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	
Detailplanung / detailed planning													
Bestellungen / Order placed													
Lieferzeit / time of delivery													
Aufbau Anlage / Construction of the plant													
Testbetrieb Optimierungsphase Trial operation/Optimization													
Vorbereitung Messprogramm / Preparation for monitoring pro.													
Messprogramm / Monitoring program													

Ergebnisse aus dem Vorhaben allg. und hinsichtlich Umweltentlastung

In der Stufe 1 des insgesamt dreistufigen Ofen-Konzeptes wurde mit der Integration eines Wärmetauschers ca. 303 kW Heizleistung eingespart. Dies entspricht bei 7.800 Betriebsstunden per anno und einem Wirkungsgrad von 80 % für eine alternative Erzeugung über Primärenergieeinsatz einer Einsparung von 2.954 MWh / a Primärenergie. Unter der Berücksichtigung eines CO₂-Äquivalents von 207 g/kWh Erdgas und Berücksichtigung des Betriebsaufwands bei einem CO₂-Äquivalent von 600 g / kWh Strom errechnet sich eine Einsparung von 559,5 t/a CO₂. Das Ergebnis liegt um 39 % über der erwarteten Einsparung zur Planung. Zudem hat sich im Zuge von detaillierten Berechnungen bezüglich der Rauchsenenthalpie gezeigt, dass sich vor allem ältere Thermoprozessanlagen für die Integration von Wärmerückgewinnungseinheiten eignen. Bei modernen Öfen sind die Energiewerte des Abgases aufgrund moderner Brennertechnologien (Rekuperatorbrenner, etc.) als technisch fast unbedeutend zu erachten.

General project results and environmental effect

In the first stage of the 3-stage furnace concept a heat exchanger was installed which resulted in a reduction of approximately 303 kW of heat output. At 7,800 operating hours per year with a heat efficiency of 80 % for alternative heat generation from primary energy, this equates to a reduction of 2,954 MWh per year in primary energy usage. When considering a CO₂ equivalent of 207 g/kWh domestic gas respectively the operating costs (CO₂ equivalent of 600 g/kWh electric current), the saving amounts to 559,5 tonnes CO₂ per year. This result exceeds the expected savings calculated during the planning phase by 39 %. Moreover, a detailed analysis of the heat content of flue gas has shown that older thermal processing plants are highly suitable for the integration of heat exchangers whereas for modern furnaces the energy value of waste gas is insignificant due to modern burner technologies (recuperation burners etc.).

• Anwendbarkeit der Technik / Applicability

Stand der Technik

Bei den bekannten Systemen wird die gewonnene Wärme üblicher Weise in den Zentralkreislauf des Warmwassersystems eingespeist (Rücklaufanhebung oder zentraler Schichtspeicher). Bei überschaubaren Anlagen mit wenigen Hallen fallen die hierzu erforderlichen Zusatzinvestitionen für Rohrleitungen, Druckhaltung und Anlagensteuerung nicht entscheidend ins Gewicht.

Bei einem großen Industriebetrieb, wie OTTO FUCHS KG, mit 29 Hallen verhält sich dies anders. Das Unternehmen hat internen Untersuchungen zur Folge großes Potenzial für eine Wärmerückgewinnung. Eine realistische Umsetzungsmöglichkeit auf der Basis bekannter Lösungen war bisher jedoch nicht möglich.

Bei der Detailbeschreibung der bestehenden Grenzen sind als elementare Punkte aufzulisten:

- ⇒ Es sind aufwendige Rohrleitungssysteme zu installieren, um die gewonnene Wärme von den einzelnen Öfen in den Hallen des weitläufigen Werksgeländes einzusammeln und dem zentralen Kesselhaus zuzuführen.
- ⇒ Es muss ein immenser Wärmespeicher gebaut werden (> 50m³) mit 16 bar Prüfdruck (140°C Wassertemperatur) zum Ausgleich der oftmals voneinander abweichenden Zeiten für Wärmeeinfall und Wärmebedarf.
- ⇒ Es wird eine aufwendige zentrale Steuerung erforderlich um die Druckhaltung dem aktuellen Energiezustand der zahlreichen dezentralen Energieerzeuger und -verbraucher anzupassen.
- ⇒ Es sind hohe Wartungs- und Instandhaltungskosten zu erwarten, um die aufwendigen technischen Lösungen zu realisieren.

- ⇒ Die erforderliche hohe Verfügbarkeit der Systeme ist nur zu erreichen, wenn für die zentralen Baugruppen redundante Baugruppen vorgehalten werden.

Unter diesen Rahmenbedingungen kann keine wirtschaftliche Nutzung in einem umfangreichen Industrie – Werkskomplex realisiert werden.

Current state of technology

In current systems the heat generated is usually fed into the centralised circuit of the hot water system (e.g. rise in return temperature or use of a central stratified storage tank). Smaller manufacturing plants with a small number of buildings do not require significant investment for the additional pipes, pressurising and plant control.

However, for a large industrial facility such as OTTO FUCHS KG, which operates 29 buildings, the situation is different. According to internal studies the company has great potential for using heat recovery. So far, it has not been possible to realise this potential based on the current solutions.

The following are the main limiting factors of the current solutions:

- ⇒ Complex pipeline systems have to be installed in order to collect the heat generated by the individual furnaces from the buildings on the extensive manufacturing site and then feed it into the central boiler house.
- ⇒ A large heat exchanger (> 50 m³), with 16 bar test pressure (140°C water temperature) needs to be installed in order to compensate for the time differences between heat generation and heat demand.
- ⇒ A complex centralised control system is required to pressure to the current energy state of the numerous decentralised energy generators and energy consumers.
- ⇒ Repair and maintenance costs will be very high as complex technical solutions have to be implemented.
- ⇒ The required level of availability for the systems can only be achieved if additional redundant assemblies are installed for all central assemblies.

These conditions mean that the current solutions cannot be used profitably for a large industrial production site.

Konstruktionen, Verfahren, Stoffe, Umweltrelevanz, Rahmenbedingungen wie Schutzrechte etc, Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Der von OTTO FUCHS KG in Zusammenarbeit mit der Fa. ONI erarbeitete Innovationsansatz basiert auf vier wesentlichen Bausteinen, die den vorstehend beschriebenen technischen Aufwand und die damit begründete Unwirtschaftlichkeit der Anwendung bestehender Systeme reduzieren.

1. Ansatz: Reduzierung der Kosten für Rohrleitungen und Pufferung der gewonnen Wärme
2. Ansatz: Reduzierung des Aufwandes der Druckhaltung
3. Ansatz: Ausbau des bestehenden Systems, ohne hohen Basisinvest
4. Ansatz: Reduzierung der Übertragungsverluste

Die Fa. ONI war zu dieser umfangreichen Entwicklungsarbeit bereit, weil sie die bestehenden Anwendungsgrenzen für Wärmerückgewinnungssysteme bestens kennt und in der Zusammenarbeit mit OTTO FUCHS KG eine Chance sieht, die bestehenden Systemgrenzen zu verschieben und mit dem Baukastensystem ein wettbewerbsfähiges System auf den Markt

bringen möchte für größere, weitläufige Werksanlagen. Für OTTO FUCHS KG ist das Baukastenkonzept eine Chance, mit einer Baukasteneinheit in vertretbarem Kostenrahmen die Realisierbarkeit dieses Konzeptes zu erproben, um bei positivem Ergebnis die projektierten Potenziale Zug um Zug zu heben.

Engineering, applicable procedures, material, environmental effect, general conditions (e.g. intellectual property rights), cooperation with other authorities

This innovative approach by OTTO FUCHS KG and ONI is based on four major modules, which result in a reduction of the required engineering effort thus reducing the main factor of low profitability for the implementation of such systems.

1st module: Reducing the costs for pipelines and for storing generated heat

2nd module: Reducing the expenses for pressurising

3rd module: Extending the existing system without any large investment

4th module: Reducing transmission losses

The company ONI have extensive experience with the limits of the application of current heat recovery systems and agreed to undertake the engineering for this project. ONI regard their cooperation with OTTO FUCHS KG as an opportunity to extend the system limitations and market the modular system as a competitive system suitable for larger, more spacious plants. For OTTO FUCHS KG the modular system is an opportunity to install one module in order to test whether the system can be implemented at an acceptable cost. If this test shows to be successful, the remaining potential can be realised on a step-by-step basis.

• **Kostendaten / Economics**

Daten zu Investitions- und Betriebskosten

Die tatsächlichen Kosten für das Vorhaben betragen 414.572,68 €. Die Betriebskosten (d.h. Wartungs- und Energiekosten) belaufen sich auf 15.540 € p.a .

Investment and operating Costs

The actual costs for the project amount to 414.572,68 €. Operating costs (i.e. maintenance and energy costs) are up to 15,540 € per year.

Kosten-Nutzen-Vergleich (Eckwerte)

Bei einer Auskoppelung von 303 kW aus dem Rauchgas und bei Annahme von jährlich 7.800 Betriebsstunden beträgt die Kosteneinsparung 133.219 €. Hierbei ist ein Gaspreis von 0,46 €/m_N³ als Mittelwert der Kostenbelastung bei OTTO FUCHS KG sowie ein Brennwert von 10,2 kWh/m_N³ Erdgas unterstellt worden. Unter der Berücksichtigung der Betriebskosten in Höhe von 15.540 € ergibt sich bei statischer Berechnung ein Kapitalrückfluss nach 3,9 Jahren.

Cost-benefit equation (reference data)

With the assumption of 7,800 operating hours per year, the extraction of 303 kW from flue would result in a cost reduction of 133.219 €. This calculation is based on an average gas price of 0.46 €/m_N³ as per the costs at OTTO FUCHS KG and a heating value of 10,2 kWh /m_N³ gas. When considering the operating costs of 15,540 € in the statistical calculation, the pay-back period amounts to 3,9 years.

- **Sonstige Betriebsdaten / Other operating data**

Im Rahmen der Projektumsetzung konnten die Anforderungen der Fertigung

- ▶ keine Beeinflussung der hohen Anforderungen an die Ofenatmosphäre
- ▶ platzsparende Einbindung in die bestehenden Hallenstrukturen

über Messungen und den Einbau der Anlage nachgewiesen werden.

The following requirements for manufacture

- ▶ no interference with strict requirements for the furnace atmosphere
- ▶ space-saving integration into existing building structures

were verified during the implementation phase of the project both by the monitoring program, and through the installation of the system.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	11
Tabellenverzeichnis	11
1. Einleitung.....	12
1.1 Kurzbeschreibung des Unternehmens.....	12
1.2 Ausgangssituation	13
2. Vorhabensumsetzung	15
2.1 Ziel des Vorhabens.....	15
2.2 Darstellung der technischen Lösung (Auslegung und Leistungsdaten).....	17
2.3 Darstellung der Umsetzung des Vorhabens	19
2.4 Behördliche Anforderungen (Genehmigungen).....	20
2.5 Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten	20
3. Ergebnisse.....	21
3.1 Bewertung der Vorhabensdurchführung	21
3.2 Umweltbilanz.....	21
3.3 Konzeption, Durchführung und Ergebnisse des Messprogramms.....	22
3.4 Wirtschaftlichkeitsanalyse.....	26
3.5 Technischer Vergleich zu konventionellem Verfahren	26
4. Empfehlungen	27
4.1 Erfahrungen aus der Praxiseinführung	27
4.2 Modellcharakter.....	30
4.3 Zusammenfassung.....	30

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schienenprofil, AlZn5,5MgCu 1,6kg2.....	12
Abbildung 2: Bugfahrwerk A320, AlZn6MgCu, 142kg.....	12
Abbildung 3: Dreieckslenker, AlSiMg, 5kg	12
Abbildung 4: Aufteilung des Gasverbrauchs OTTO FUCHS 2009	13
Abbildung 5: Entwicklung der Industriegaspreise , Quelle: OTTO FUCHS	13
Abbildung 6: Volumenstrommessung Industrieheizung B19.....	14
Abbildung 7: Warmwasserverbrauch OTTO FUCHS KG.....	16
Abbildung 8: Funktionsschema Wärmerückgewinnungseinheit	17
Abbildung 9: Aufstellungsplan von Wärmerückgewinnungseinheit und hydr. Weiche.....	18
Abbildung 10: Funktionsschema der hydraulischen Weiche.....	18
Abbildung 11: Hydraulische Weiche auf der Technikzentrale.....	19
Abbildung 12: Technikzentrale am Tor 14 und Wärmerückgewinnungseinheit am Rundofen 13	20
Abbildung 13: Temperaturvergleichsmessung Drehherdofen 13.....	22
Abbildung 14: Gasverbrauchsvergleichsmessung Drehherdofen 13	23
Abbildung 15: Leistungsaufzeichnung WRG über 24h bei 930°C	23
Abbildung 16: Einsparpotential der Wärmerückgewinnung über einen Monatszeitraum	24
Abbildung 17: Gasverbrauch Kesselhaus bei ein- und ausgeschalteter Wärmerückgewinnung.....	24
Abbildung 18: Funktionsschema Wärmerückgewinnung	28
Abbildung 19: Ergebnisse der Frequenzanpassung an der Wärmerückgewinnung.....	29

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Bestimmung der Rauchgasenthalpie am Drehherdofen	21
Tabelle 2: Umweltbilanz der Wärmerückgewinnung	22
Tabelle 3: Thermoprozessanlagen Stufe 1,2 und 3 (Planung 2009)	25
Tabelle 4: Thermoprozessanlagen Stufe 1 und 2 (Planung November 2010).....	25
Tabelle 5: Vergleichende Übersicht Amortisationszeiten	26

1. Einleitung

1.1 Kurzbeschreibung des Unternehmens

Das Unternehmen OTTO FUCHS KG wurde 1910 gegründet und hat sich von einer kleinen Messinggießerei zu einem international agierenden mittelständischen Unternehmen entwickelt. Im Mittelpunkt der Unternehmenstätigkeit stehen die Massivumformung von verschiedensten NE-Legierungen und deren anschließende Zerspanung. So werden im Stammwerk Meinerzhagen Leichtmetallprodukte aus Aluminium, Messing und Titan von 2g bis 2t für die Automobil-, Luftfahrt-, Maschinenbau- und Bauindustrie durch Gesenkschmiede- und Strangpressprozesse hergestellt. Die folgenden Abbildungen vermitteln einen Eindruck des Produktspektrums.



Hierbei ermöglichten die stetige, qualitätsorientierte Weiterentwicklung von Werkstoffen und Verfahren und die zukunftsorientierte Ausweitung der Produktionskapazitäten es der OTTO FUCHS KG gestärkt aus den konjunkturellen Krisen und Kriegen des letzten Jahrhunderts hervorzugehen. Heute beschäftigt die OTTO FUCHS GRUPPE in ihren sieben beteiligten Tochterunternehmen weltweit ca. 8000 Mitarbeiter und erwirtschaftet einen Jahresumsatz von ca. 3 Mrd. Euro (Stand 2008). Zu diesen zählen:

- OTTO FUCHS KG in Meinerzhagen
- OTTO FUCHS GmbH in Dülken
- OTTO FUCHS Oberflächentechnik GmbH in Leonberg
- SCHÜCO International KG in Bielefeld,
- Weber Metals Inc., Los Angeles, USA
- OTTO FUCHS Hungary Kft. in Tatabánya, Ungarn
- Foxtec Ikhwezi, East London, Südafrika

1.2 Ausgangssituation

Im Wesentlichen lässt sich die Ausgangssituation durch die Darstellung von zwei Problemen charakterisieren. Diese werden im Folgenden kurz dargestellt.

1. Verbrauchs- und Kostenproblematik

Aufgrund der Vielzahl der Gasverbrauchsquellen weist die OTTO FUCHS KG einen immensen Gasverbrauch auf. So lag der Gesamtverbrauch (in Normkubikmeter) im Jahr 2008 bei 11.916.848 m_N³, 2009 bei 10.802.306 m_N³ und im ersten Halbjahr 2010 bei 5.411.816 m_N³.

Abbildung 4 veranschaulicht hierbei die Aufteilung des Gasverbrauchs. Hierbei wird deutlich, dass ca. 70% des Primärenergieeinsatzes auf die Betriebsabteilungen, d.h. Ofenaggregate, Heizungseinrichtungen und Pressenaggregate entfallen. Die verbleibende Menge dient zur Deckung des Heißwasserbedarfes.

Aufgrund der in Abbildung 5 dargestellten Gaspreisentwicklung kommt der mit dem Verbrauch korrelierenden Kostenbelastung immer größere Relevanz zu. Wie zu erkennen, sind trotz Preisschwankungen die Bezugskosten für einen m_N³ Erdgas von 0,30 €/m_N³ auf 0,44 €/m_N³ im Sommer 2010 gestiegen.

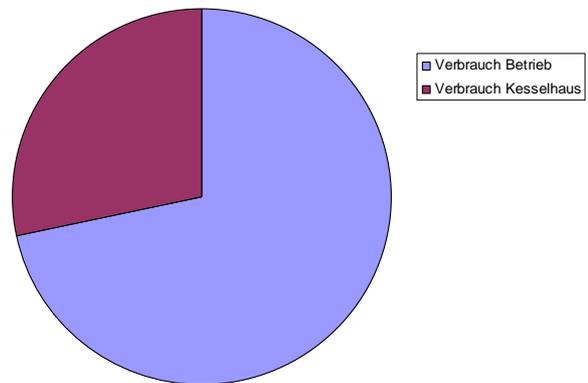


Abbildung 4: Aufteilung des Gasverbrauchs OTTO FUCHS 2009

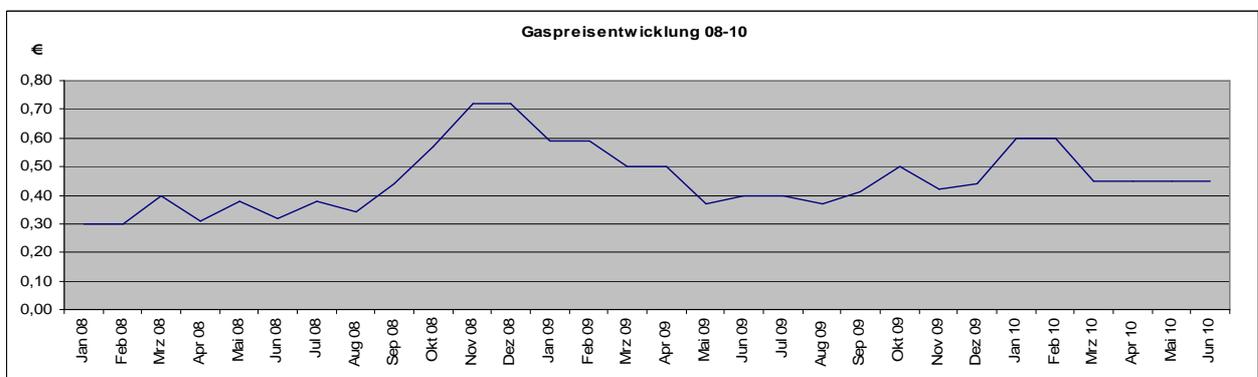


Abbildung 5: Entwicklung der Industriegaspreise, Quelle: OTTO FUCHS

2. Energietransportproblem

Wie dargestellt kommt zur Deckung des durch die Produktionsstruktur bedingten immensen Heißwasserbedarfs ein dezentrales Kesselhaus (Leistung 15 MW), sowie ein umfangreiches Industrieheizungsnetz mit einer Temperatur von 140°C zum Einsatz. Jedoch kann der Heißwasserbedarf trotz ausreichender Kapazität nicht abgedeckt werden, da:

1. Die Rohrleitungen mit einem Querschnitt von DN125 zu gering dimensioniert sind.
2. Die Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf 20K nicht übersteigt.
3. Ein maximaler Volumenstrom von $V=125\text{m}^3/\text{h}$ vorliegt.

Die Auswirkungen dieser Effekte resultieren in einer geringen Energieübertragungsdichte und damit einer maximal verfügbaren Heizleistung von $Q=2,8\text{ MW}$. Hierbei liegt der bedeutendste Versorgungsengpass im Bereich B19 (Vergüterei) vor. In dieser Abteilung kommen 7 Wasserbäder mit einem Gesamtvolumen von 227m^3 und einer Abschrecktemperatur von 98°C zum Einsatz.

Um der internen Forderung nach einer simultanen Erwärmung von 3 Bädern ($V=82\text{m}^3$) in 4h von 30°C auf 98°C nachzukommen, ist eine Heizleistung von ca. 4,0 MW nötig. Aufgrund des deutlich geringeren Volumenstromes von durchschnittlich $25\text{m}^3/\text{h}$ (vgl. Abb. 6) liegt trotz einer VL-RL-Spreizung von 65K mit einer Energietransportleistung von $Q=1,81\text{MW}$ der bedeutendste Versorgungsengpass vor.

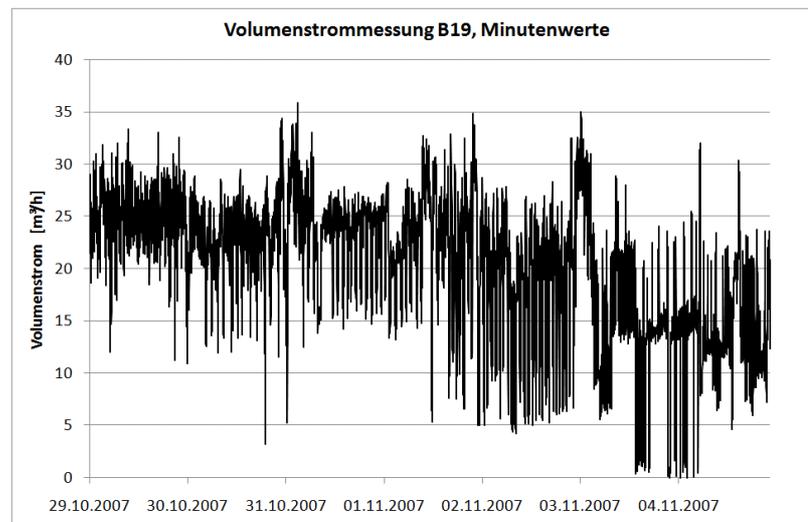


Abbildung 6: Volumenstrommessung Industrieheizung B19

Fazit: Aus den dargestellten Problemstellungen resultiert folgende Zielsetzung:

Entwicklung eines Idealkonzeptes, um vor dem Hintergrund der dargestellten Gaspreisentwicklung einerseits den Verbrauch und damit die Emissionsbelastung zu reduzieren und andererseits im Zuge dieses Optimierungsprozesses das Energietransportproblem („Flaschenhals“) nach B19 im Sinne der Anforderungen zu mindern.

Aus der dargestellten Zielsetzung lässt sich folgender Anforderungskatalog ableiten:

Anforderungskatalog:

Zu beachten sind die industriegerechte Konzeption und die spezifischen Anforderungen der Fertigung. Zudem muss die Lösung der Grundforderung an Infrastrukturkomponenten in der Industrie genügen. Detailliert ergeben sich folgende Punkte:

- ▶ keine Beeinflussung der hohen Anforderungen an die Ofenatmosphäre, d.h. keine Veränderung der Temperatur- und Verbrauchscharakteristik.
- ▶ platzsparende Einbindung in die bestehenden Hallenstrukturen
- ▶ hohe Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit
- ▶ flexible Integration in das bestehende Warmwassernetz. Die Otto Fuchs KG betreibt eine Vielzahl erdgasbefeuerte Industrieöfen. Es gilt ein System zu konzipieren, welches nach und nach alle Öfen mit ausreichend Potenzial in das System integriert.
- ▶ ein Baukastensystem, das ohne komplexe Regelung die hydraulische Einbindung der diversen Einzelbausteine ermöglicht (hydraulische Weiche).

2. Vorhabensumsetzung

2.1 Ziel des Vorhabens

Um dem in Kapitel 1.2 definierten Anforderungskatalog unter dem Gesichtspunkt des Optimierungsbestrebens gerecht zu werden und vor dem Hintergrund des geplanten Ausbaues des Standortes Meinerzhagen, wurde ein Lösungsansatz zur Entlastung des Heißwassernetzes entwickelt. Im Zuge dieses Planungsprozesses plante die OTTO FUCHS KG im Rahmen einer ersten großtechnischen Anwendung den erforderlichen Wärmebedarf aus dem Rauchgas einiger mit Erdgas betriebener Industrieöfen auszukoppeln und in das bestehende Heißwassernetz einzuspeisen. Dieses Konzept zur Auskopplung des hochenergetischen Rauchgases sollte sich in drei Stufen unterteilen.

In Stufe I wurde ein Drehherdofen zur energetischen Aufwertung von Titan (Rauchgastemperatur 700°C - 900°C) fokussiert. An diesem sollten gemäß Planung durch die Integration eines Rauchgaswärmetauschers ca. 218 kW Wärmeleistung zurückgewonnen und in das Heißwassernetz eingespeist werden. Dies entspräche bei 7.800 Betriebsstunden per anno und einem Wirkungsgrad von 80 % für eine alternative Erzeugung über Primärenergieeinsatz einer Einsparung von 2.125 MWh/a Primärenergie. Bei Konformität dieses Pilotprojektes hinsichtlich der technischen und wirtschaftlichen Anforderungen sollte in den beiden Folgestufen eine Übertragung auf weitere geeignete Thermoprozessanlagen im Hause OTTO FUCHS erfolgen.

Diese Maßnahme (Stufe I) ist Gegenstand der Förderung.

In Stufe II ist geplant, weitere 7 Industrieöfen in den Heißwasserkreislauf der Wärmerückgewinnung einzubinden. Damit sind weitere 786 kW Heizleistung einzusparen. Dieses entspricht bei 6.000 Betriebsstunden/a ca. 4.700 MWh/a.

Die Umsetzung der projektierten Stufe III mit weiteren 1.210 kW Heizleistung ist abhängig von der künftigen Entwicklung im Werk Meinerzhagen. Wie aus der Abbildung 7 zum Warmwasserverbrauch zu entnehmen ist, liegt der Bedarf von OTTO FUCHS derzeit etwa bei 3 MW für 8.000 Betriebsstunden pro Jahr. Es zeigt sich, dass dieser unabhängig von der

Jahreszeit entsteht und aus diesem Grund kontinuierlich Energie eingespeist werden kann. Die Darstellung des Einsparpotentials der verschiedenen Stufen ermöglicht die Erkenntnis, dass es bei erfolgreicher Umsetzung möglich ist, einen großen Teil der Grundlast durch die Wärmerückgewinnung abzudecken.

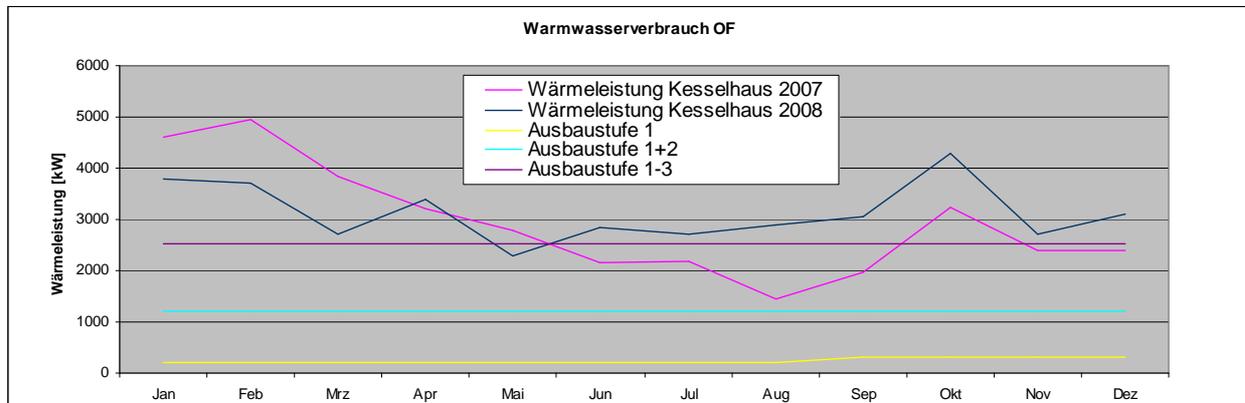


Abbildung 7: Warmwasserverbrauch OTTO FUCHS KG

Insgesamt ergibt sich bei einer Umsetzung aller drei Stufen eine CO₂ Einsparung von 2.484 t/a, durch die Einsparung von Erdgas, das nicht mehr in der zentralen Kesselanlage verfeuert werden muss.

Das angestrebte Baukastensystem hat den Vorteil, dass es anders als die bisher auf dem Markt befindlichen werksspezifischen Lösungen, universell einsetzbar ist. Es kann als Grundkonzept für Betriebe mit vergleichbaren Öfen und Warmwasserbetriebsnetzen genutzt werden. Der flexible Aufbau mit Regelkomponenten an den einzelnen Bausteinen ist beliebig kombinierbar. Aufgrund dieser Charakteristika ergibt sich eine zufriedenstellende Konformität mit dem zuvor definierten Anforderungskatalog.

2.2 Darstellung der technischen Lösung (Auslegung und Leistungsdaten)

Im Mittelpunkt der folgenden Ausführungen steht die Darstellung des technischen Lösungsansatzes zur Realisierung der Zielsetzung. Hierbei werden die Kernaggregate der beteiligten Unternehmen, sowie deren maßgebliche Funktionsweisen dargestellt. Wie zuvor angedeutet, bezieht sich das Pilotprojekt zur Wärmerückgewinnung aus Rauchgas auf den Drehherdofen 13 (Stufe I). Die Abbildung 8 beschreibt schematisch die Funktion der Wärmerückgewinnungseinheit

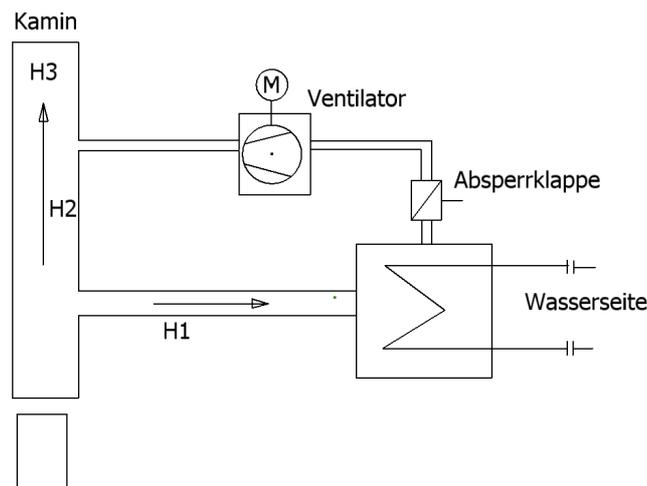


Abbildung 8: Funktionsschema Wärmerückgewinnungseinheit

Es wird der Enthalpiestrom \dot{H}_1 aus dem bestehenden Rauchgaskamin ausgeklint und durch den Wärmetauscher geleitet. Dieser ist als Rohrbündelwärmetauscher ausgelegt und überträgt die Wärmeenergie des Gases. Bei OTTO FUCHS wird diese auf den Heißwasserkreislauf übertragen. Dadurch soll das Kesselhaus entlastet und Energie unabhängig von diesem bereitgestellt werden. Ein weiteres bedeutendes Bauteil der Anlage ist der frequenzgeregelte Heißluftventilator. Dieser saugt bei geöffneter Absperrklappe mit einem definierten Überdruck den Abgasenthalpiestrom gegen die natürliche Schachtthermik aus dem Kamin und durch den Wärmetauscher. Um einen Teil der Kaminthermik aufrecht zu erhalten und um zu verhindern, dass die abgekühlte Abluft nicht erneut durch den Wärmetauscher geleitet wird, darf nicht der gesamte Abgasenthalpiestrom durch den Tauscher gezogen werden. Somit kann die Energie des Rauchgases (\dot{H}_2) nicht vollständig genutzt werden.

Das Rauchgas wird hierbei auf ca. 150°C abgekühlt. Die Wasserseite charakterisiert sich durch eine Vorlauftemperatur von $\vartheta_{VL} = 130^\circ\text{C}$ und eine Rücklauftemperatur von $\vartheta_{RL} = 150^\circ\text{C}$. Mit diesen Werten ergibt sich ein Rauchgasenthalpiestrom von 218 kW. Diese Daten sind auch in dem Angebot des Herstellers enthalten.

Die nachfolgende Abbildung 9 vermittelt einen Eindruck vom Standort der Wärmerückgewinnungseinheit am Rundofen 13 sowie von der Rohrleitungsführung (rote Linie) zum Verbraucher.

Hydr. Weiche

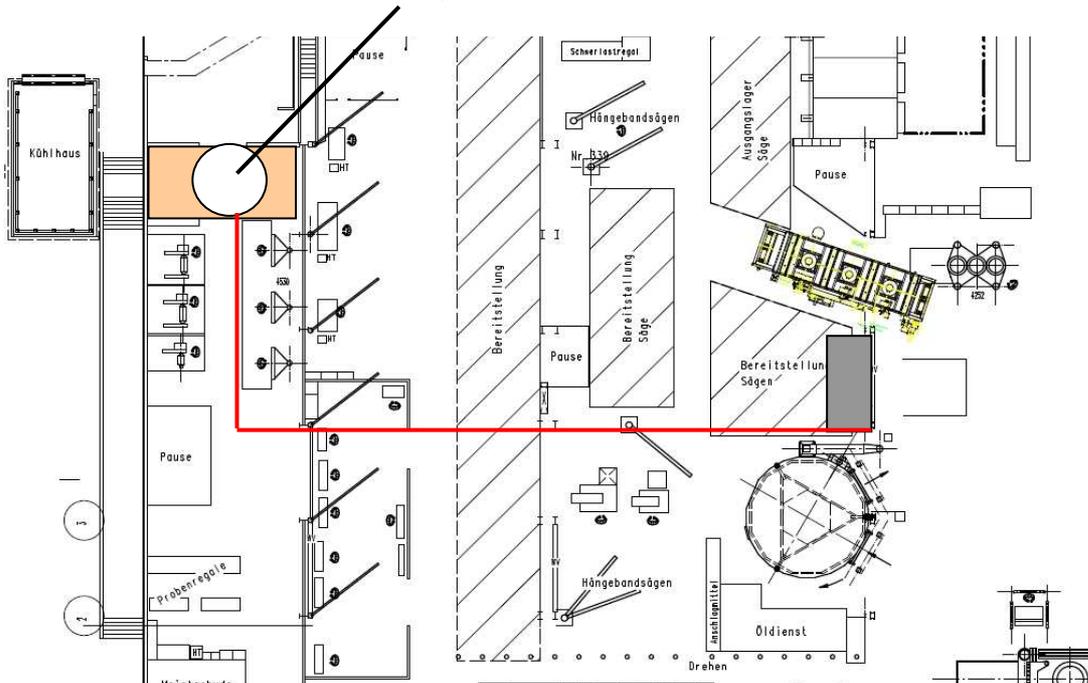


Abbildung 9: Aufstellungsplan von Wärmerückgewinnungseinheit und hydr. Weiche

Hierbei ist zwischen Verbraucher und Wärmerückgewinnungseinheit eine sog. hydraulische Weiche zwischengeschaltet. Folgendes Funktionsschema (Abb. 10) vermittelt die Funktionsweise.

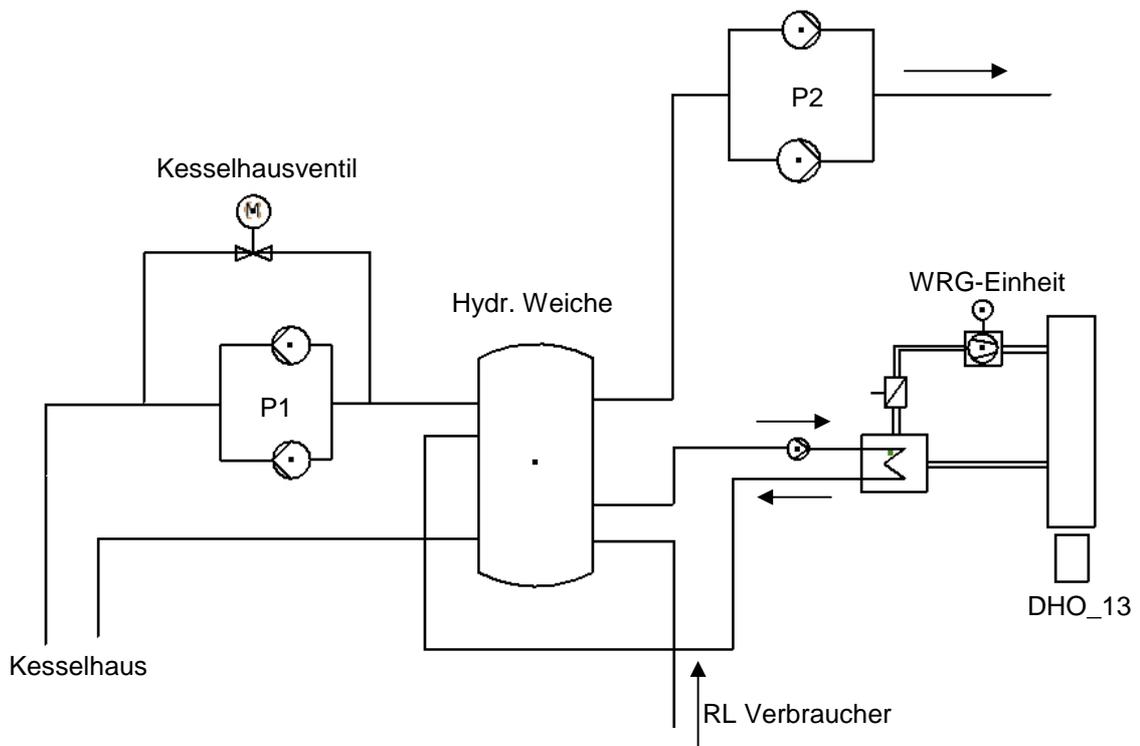


Abbildung 10: Funktionsschema der hydraulischen Weiche

Im Gegensatz zu klassischen Verfahren kommt bei der realisierten Systemlösung ein Schichtwasserspeicher zur hydraulischen Entkopplung der Heißwasserkreisläufe zum Einsatz. Hiermit besteht die Möglichkeit der direkten Verwendung des Heißwassers zur Anlagenbeheizung (über Pumpengruppe P2) bzw. alternativ zur Stützung des Hauptkreises aus dem Kesselhaus (über Pumpengruppe P1), wenn mehr Wärme aus dem Wärmerückgewinnungssystem zur Verfügung steht, als der eingebundene Verbraucher benötigt.

Diese Flexibilität bezüglich der Energieverteilung und damit die Möglichkeit, anfallende Wärmeenergie kontinuierlich (d.h. unabhängig von Einzelprozessen) abzuführen, definieren den innovativen Charakter des Gesamtkonzeptes. Ein weiteres Indiz für die hohe Innovativität liegt in der Konzeption als hydraulisch geschlossenes Gesamtsystem und dem Verzicht auf verlustbehaftete Wärmeübertrager, wie z.B. Plattenwärmetauscher. Damit besteht die Option, weitere Rückgewinnungskreisläufe in den Hauptkreis der Kesselanlage zu integrieren, soweit Bedarf besteht.

Durch die Baukastenbauweise ist es gelungen, ein Konzept zu entwerfen, dass sowohl innerbetrieblich einen stufenweisen Ausbau zulässt, sowie bei vergleichbaren anderen Anwendungsfällen sehr flexibel einsetzbar ist. Alle Bausteine sind mit eigenen, auf die Größe abgestimmten Regelsystemen autark zu betreiben, bzw. beliebig zu verknüpfen.

Auf der Abbildung 11 ist die hydraulische Weiche auf der Technikzentrale zu erkennen.



Abbildung 11: Hydraulische Weiche auf der Technikzentrale

2.3 Darstellung der Umsetzung des Vorhabens

Im Juli 2010 begann die Umsetzungsphase des Wärmerückgewinnungsprojektes mit dem Aufbau der Stahlbühne am Tor 14 in der Großpresserei. Nach der Fertigstellung haben die am Projekt maßgeblich beteiligten Unternehmen mit dem Aufbau ihrer Kernaggregate begonnen. Firma HTA integrierte die Wärmerückgewinnungseinheit am Drehherdofen 13 und konnte innerhalb von zwei Wochen erste Testbetriebe durchführen. Simultan hat Firma ONI die hydraulische Weiche auf der Technikzentrale integriert, sowie die nötigen Rohrleitungen zur Wärmerückgewinnungseinheit und zum Verbraucher (B19) gelegt. Nach Abschluss der nötigen Elektro- und Steuerungsarbeiten konnte Ende August die gesamte Anlage in Betrieb genommen werden. Der Arbeitsinhalt der Monate September und Oktober charakterisierte sich maßgeblich durch die Aufnahme von Messdaten, kleinere Optimierungs- und Verbesserungsmaßnahmen und Montagearbeiten an den Wasserbädern in B19. Die abschließende Abbildung 12 vermittelt einen Eindruck von Wärmerückgewinnungseinheit am Rundofen 13 und Technikzentrale mit hydraulischer Weiche.

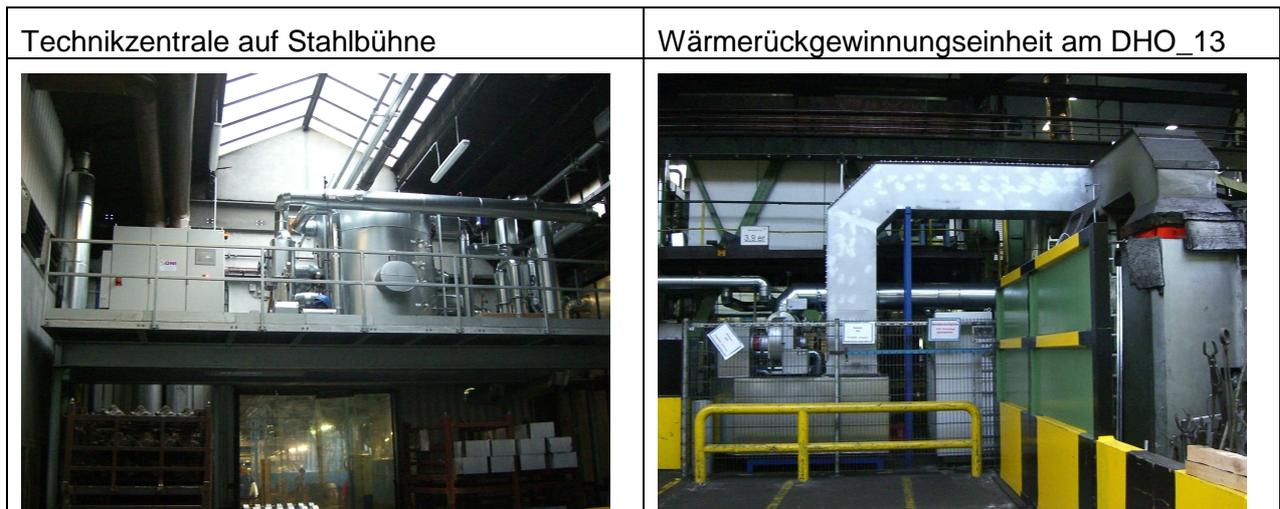


Abbildung 12: Technikzentrale am Tor 14 und Wärmerückgewinnungseinheit am Drehherdofen 13

2.4 Behördliche Anforderungen (Genehmigungen)

Aufgrund des Eingriffs der Gesamtanlage in das Industrieheizungsnetz von OTTO FUCHS (140°C, 15-18bar) ist es nötig, einige behördliche Anforderungen zu erfüllen. So mussten beide Anlagenteile (ONI und HTA) eine Genehmigung durch die zuständige Prüfstelle erfahren. Im Zuge dieser Prüfung wurden dem TÜV NORD Konformitätserklärungen und Betriebsanleitungen der Anlagen, Gefährdungsbeurteilungen und Prüfzeugnisse von sicherheitsrelevanten Einrichtungen (vor allem Sicherheitsventile) vorgelegt. Daraufhin stellte dieser der OTTO FUCHS KG am 16.8.2010 Bescheinigungen über die erfolgreiche Prüfung von hydraulischer Weiche und Pufferspeicher vor Inbetriebnahme aus.

2.5 Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten

Im Rahmen des mehrstufigen Wärmerückgewinnungsprojektes ist es nötig, verschiedenste Daten zu erfassen. So sind vor allem Enthalpieströme im Rauchgas und Leistungsdaten von großer Bedeutung. Um realitätsnahe Werte aufzuzeichnen, ist es nötig, diese direkt an den entsprechenden Thermoprozessanlagen aufzunehmen. Die folgenden Ausführungen zeigen beispielsweise die Vorgehensweise zur Bestimmung der Rauchgasenthalpie am Drehherdofen. Zu Beginn ist es nötig, die mittlere Temperatur zu erfassen. Hierbei ist diese über ein Zeitintervall von einer Stunde in Sekundentaktung aufgezeichnet worden (vgl. Abbildung in Tabelle 1). Hierbei befand sich die Thermoprozessanlage bei einer Innentemperatur von $\vartheta_i = 930^{\circ}\text{C}$. Neben dem Temperaturwert kommt der Messung des Betriebsvolumenstromes und dessen anschließende Umrechnung in den Normvolumenstrom entscheidene Bedeutung zu.

Diese Aufzeichnung des Betriebsvolumenstroms orientierte sich an der VDI 2640 (Netzmessungen in Strömungsquerschnitten). Hierbei erfolgte die Datenaufnahme mit dem Strömungs- und Temperaturmessgerät THERM 2295-2B.

Rauchgastemperatur, Zeitintervall 1h	Betriebsvolumenstrom und Enthalpie																															
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Größe mit Einheit</th> <th>DHO_14</th> <th>Einheit</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Volumenstrom</td> <td>3993,6</td> <td>m_B³</td> </tr> <tr> <td>Gastemperatur</td> <td>857</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td>Bezugstemperatur</td> <td>150</td> <td>°C</td> </tr> <tr> <td>Rauchgasdichte</td> <td>0,322</td> <td>kg/m³</td> </tr> <tr> <td>Volumenstrom</td> <td>965</td> <td>m_N³/h</td> </tr> <tr> <td>Massenstrom *</td> <td>1284,18</td> <td>kg/h</td> </tr> <tr> <td>spez. Wärmekapazität</td> <td>1.273</td> <td>J/kgK</td> </tr> <tr> <td>Enthalpie</td> <td>1155,78</td> <td>MJ</td> </tr> <tr> <td>Enthalpie</td> <td>321,05</td> <td>kWh</td> </tr> </tbody> </table>		Größe mit Einheit	DHO_14	Einheit	Volumenstrom	3993,6	m _B ³	Gastemperatur	857	°C	Bezugstemperatur	150	°C	Rauchgasdichte	0,322	kg/m ³	Volumenstrom	965	m _N ³ /h	Massenstrom *	1284,18	kg/h	spez. Wärmekapazität	1.273	J/kgK	Enthalpie	1155,78	MJ	Enthalpie	321,05	kWh
Größe mit Einheit	DHO_14	Einheit																														
Volumenstrom	3993,6	m _B ³																														
Gastemperatur	857	°C																														
Bezugstemperatur	150	°C																														
Rauchgasdichte	0,322	kg/m ³																														
Volumenstrom	965	m _N ³ /h																														
Massenstrom *	1284,18	kg/h																														
spez. Wärmekapazität	1.273	J/kgK																														
Enthalpie	1155,78	MJ																														
Enthalpie	321,05	kWh																														
	<p>*) Die Dichte von Abgas im Normzustand beträgt 1,331 kg/m³</p>																															

Tabelle 1: Bestimmung der Rauchgasenthalpie am Drehherdofen

Unter Berücksichtigung der temperaturspezifischen Rauchgasdichte ergeben sich für die Rauchgasenthalpie am Rundofen die entsprechenden Werte. Hierbei handelt es sich um eine Momentaufnahme. Diese Berechnungsmethodik hat bei allen Aggregaten (Ausbaustufe II und III) Anwendung gefunden.

3. Ergebnisse

3.1 Bewertung der Vorhabensdurchführung

Aufgrund der konsequenten und ergebnisorientierten Arbeitsweise der am Gesamtprojekt beteiligten Unternehmen war es möglich, das Vorhaben im zeitlichen Rahmen zu realisieren. Hierbei kam der Koordination zwischen den Beteiligten entscheidende Bedeutung zu. Während der Vorhabensdurchführung kam es zu keinen wesentlichen Problemen oder gar Montageunterbrechungen.

3.2 Umweltbilanz

Wie noch in Kapitel 3.4 gezeigt wird, ist es möglich, durch die Umsetzung der ersten Ausbaustufe anstatt prognostizierten 218 kW durchschnittlich 303 kW Wärmeleistung in das Leitungsnetz einzuspeisen und damit den Verbrauchern zur Verfügung zu stellen. Die nachfolgende Umweltbilanz veranschaulicht das Minderungspotential der CO₂-Emission durch die Wärmerückgewinnung unter Berücksichtigung des Betriebsaufwandes.

Ertrag		Einheit
Zurückgewonnene Leistung	303	kW
Aufwand		
Pumpe	10	kW
Ventilator	1	kW
Betriebsstunden	7800	h
CO₂-Einsparung aus Ertrag		
	611,00	t/a
CO₂-Mehrverbrauch aus Aufwand		
	51,48	t/a
CO₂-Einsparung gesamt		
	559,52	t/a

Tabelle 2: Umweltbilanz der Wärmerückgewinnung

Dies entspricht bei 7.800 Betriebsstunden per anno und einem Wirkungsgrad von 80 % für eine alternative Erzeugung über Primärenergieeinsatz einer Einsparung von 2.954 MWh / a Primärenergie. Unter der Berücksichtigung eines CO₂-Äquivalents von 207 g / kWh Erdgas und Berücksichtigung des Betriebsaufwands bei einem CO₂-Äquivalent von 600 g / kWh Strom errechnet sich eine Einsparung von 559,5 t/a CO₂. Das Ergebnis liegt um 39 % über der erwarteten Einsparung zur Planung.

3.3 Konzeption, Durchführung und Ergebnisse des Messprogramms

Das im Rahmen des mehrstufigen Wärmerückgewinnungsprojektes entwickelte Messprogramm fokussiert im Wesentlichen zwei verschiedene Schwerpunkte. Diese und die entsprechenden Ergebnisse werden im Folgenden kurz dargestellt.

1. Überprüfung der Eigenschaften des Rauchgaswärmetauschers

Im Mittelpunkt dieser Überlegungen stehen die Überprüfung der technischen Eignung der Wärmerückgewinnungseinheit im Rahmen des zuvor definierten Anforderungskatalogs und die Ermittlung der Übertragbarkeit des Konzeptes auf weitere Aggregate (Ausbaustufe II). Hierzu wurde untersucht, inwieweit sich durch den Eingriff der Wärmerückgewinnung in die Thermoprozessanlage die Innenraumtemperatur des Drehherdofens, sowie der Gasverbrauch verändern. Die folgenden beiden Abbildungen visualisieren die Ergebnisse. Hierbei sind die entsprechenden Daten bei ein- und ausgeschalteter Anlage über einen längeren Zeitraum ohne thermische Beeinflussung des Ofens (z.B. durch das Öffnen der Tür) erfasst worden.

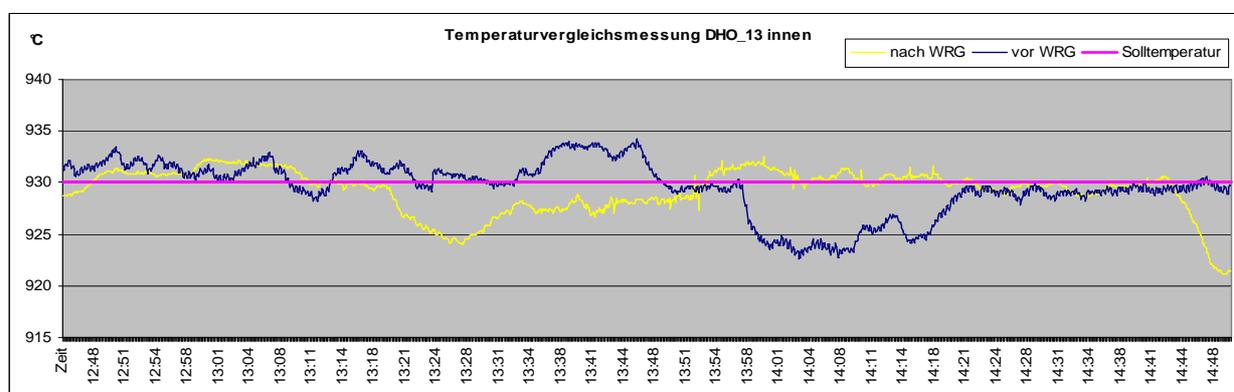


Abbildung 13: Temperaturvergleichsmessung Drehherdofen 13

Abbildung 13 zeigt das Temperaturregerverhalten des Drehherdofens. Hierbei lässt sich erkennen, dass sich dieses durch die Anlagentätigkeit nicht wesentlich verändert. Die Regelgröße schwankt in beiden Zuständen mit fast identischer Amplitude um den

Temperatursollwert. Um eine Aussage bezüglich der Verbrauchsbeeinflussung zu ermöglichen, werden die Gasverbrauchsmengen (Betriebskubikmeter) bei ein- und ausgeschalteter Anlage über 24 h aufgezeichnet und anschließend in Abbildung 14 dargestellt.

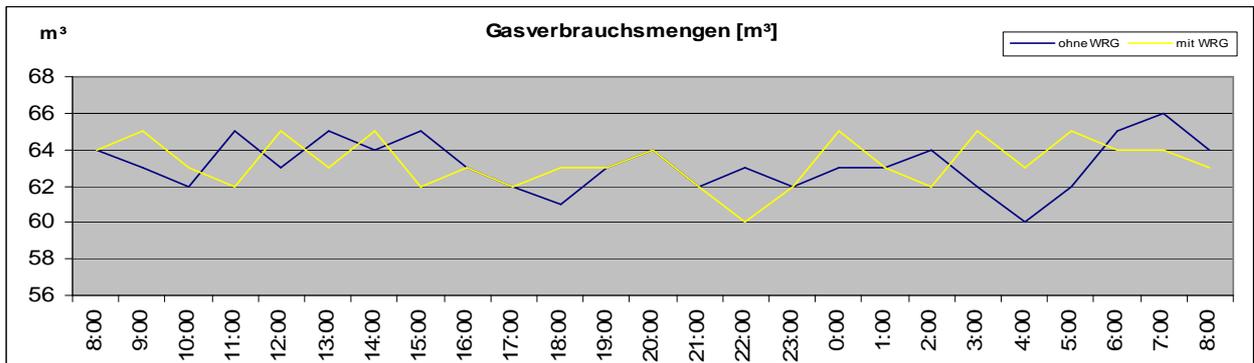


Abbildung 14: Gasverbrauchsvergleichsmessung Drehherdofen 13

Bei eingeschalteter WRG-Anlage sind durchschnittlich $63,84\text{m}_B^3/\text{h}$ verbraucht worden. Wurde diese ausgeschaltet, veränderte sich der Durchschnittsverbrauch um $-1,3\%$ auf $63,02\text{m}_B^3/\text{h}$.

2. Funktionssicherheit und Einsparpotential durch den Anlagenbetrieb

Im Anforderungskatalog ist der hohe Stellenwert der Anlagensicherheit und eines konstanten Einsparergebnisses dargestellt worden. Die folgende Abbildung 15 veranschaulicht das Einsparpotential über einen Tageszeitraum vor dem Hintergrund der Planung.

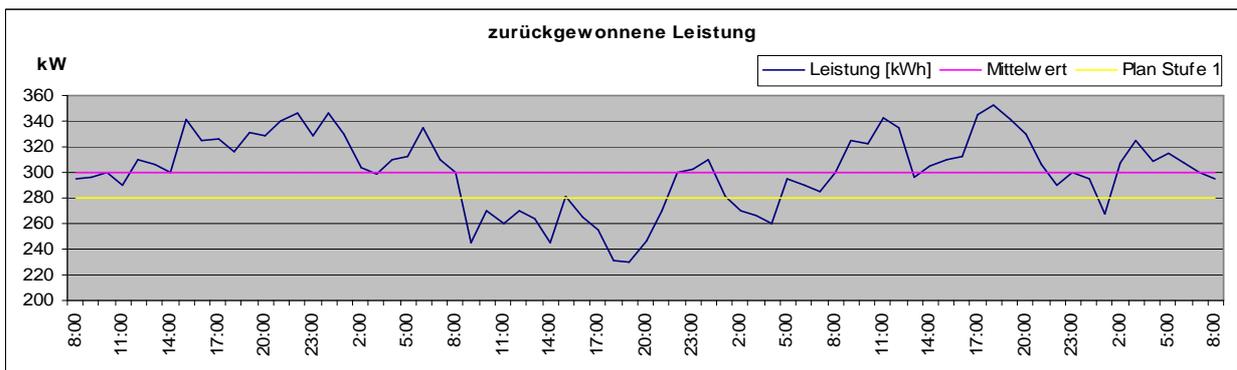


Abbildung 15: Leistungsaufzeichnung WRG über 24h bei 930°C

Es zeigt sich, dass das Einsparpotential im Tagesverlauf aufgrund der Arbeitscharakteristik des Drehherdofens deutlichen Schwankungen unterliegt, jedoch im Durchschnitt mit 303 kW stets über den erwarteten Resultaten liegt. Während der Datenaufnahme befand sich die Thermoprozessanlage im Arbeitsbetrieb bei $\vartheta_t = 930^\circ\text{C}$. Um das langfristig erwartbare Einsparpotential zu bestimmen und damit den Einfluss der Betriebscharakteristik herauszuarbeiten, ist die Tagesleistung über einen Monatszeitraum aufgezeichnet und in Abbildung 16 dargestellt worden.

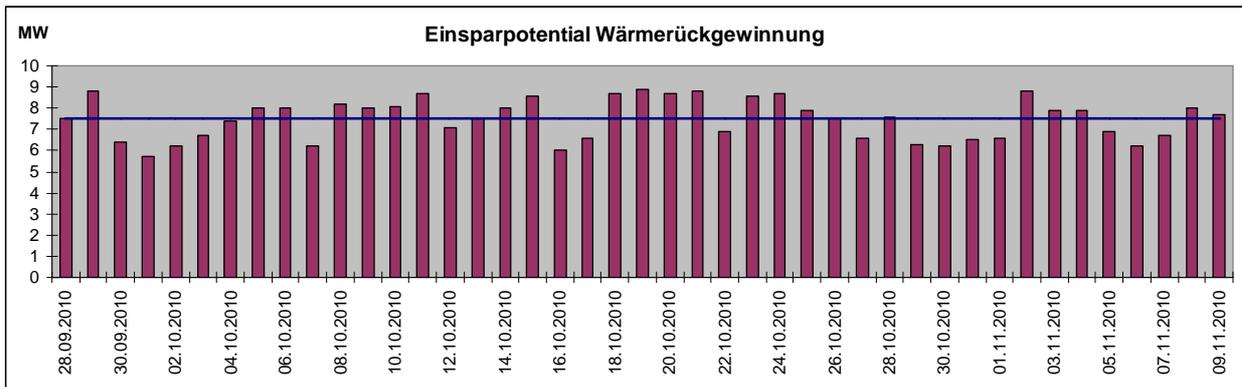


Abbildung 16: Einsparpotential der Wärmerückgewinnung über einen Monatszeitraum

Die Auswertung ergibt ein durchschnittliches Einsparpotential von 7,55 MW (=315kWh) pro Tag. Damit liegt dieses noch über den Erwartungen und zeigt eindrucksvoll das Potenzial der Gesamtanlage. Um die effektive Verbrauchsentlastung aufzuzeigen, ist der Kesselhausverbrauch in m^3/h in Abbildung 17 dargestellt. Hierbei werden zwei Zustände mit guter Vergleichbarkeit der Umgebungsbedingungen (gleiches Zeitintervall, identische Abnahmesituation) definiert. Es zeigt sich, dass im Zustand I bei eingeschalteter Wärmerückgewinnung ca. 32 % weniger Erdgas verbraucht worden sind, als im Zustand II bei ausgeschalteter Einheit.

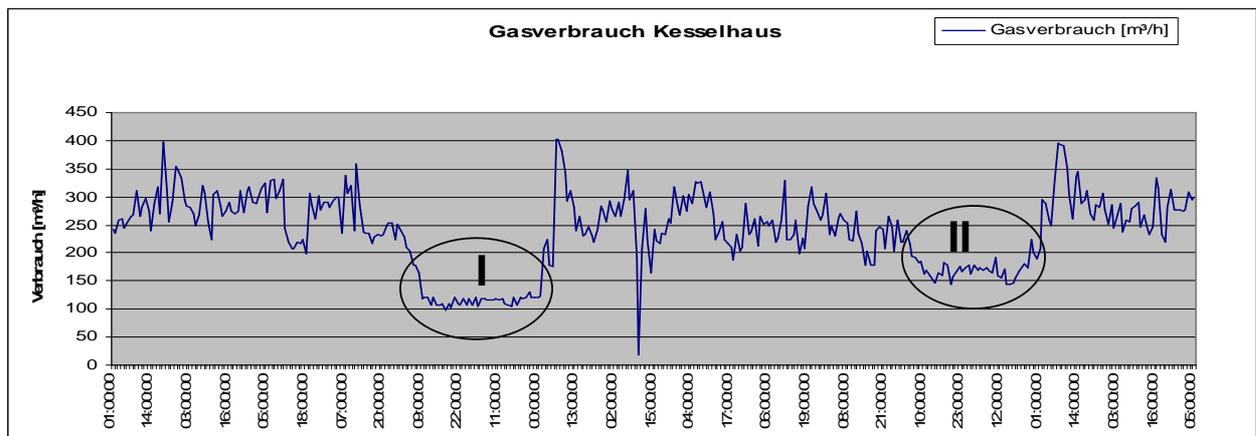


Abbildung 17: Gasverbrauch Kesselhaus bei ein- und ausgeschalteter Wärmerückgewinnung

Fazit: Die Ausführungen und Untersuchungen bezüglich der Ofenatmosphäre haben die technische Qualität (und Funktionssicherheit) des dargestellten Wärmerückgewinnungskonzeptes verdeutlicht und unterstrichen. Die WRG-Anlage beeinflusst weder die Temperatur, noch die Verbrauchscharakteristik des Drehherdofens und damit auch nicht die Ofenatmosphäre. Zudem arbeitet die Anlage sicher und ermöglicht ein konstantes, über den Erwartungen liegendes, Einsparergebnis.

Aus diesem Grund ist es sinnvoll das im Rahmen der ersten Ausbaustufe realisierte Pilotprojekt auf weitere geeignete Thermoprozessanlagen der Folgestufen zu übertragen.

3. Überprüfung der Eignung der Thermoprozessanlagen (Ausbaustufe II)

Im Mittelpunkt stehen hierbei die in Kapitel 2.1 beschriebenen Thermoprozessanlagen der Ausbaustufe II und III (siehe Tabelle 3).

Stufe 1	Umsetzung	2009			
			Ø Leistung aus dem Rauchgas		
Deherdofen	Freiformpresse 36 MN		218 kW	In Summe	218 kW
Stufe 2	Umsetzung	2011			
			Ø Leistung aus dem Rauchgas		
Deherdofen I	Gesenkschmiedepresse 300 MN		218 kW		
Deherdofen II	Gesenkschmiedepresse 300 MN		218 kW		
Durchlaufofen	Freiformpresse 18 MN		70 kW		
Durchlaufofen	Freiformpresse 8 MN		70 kW		
Durchlaufofen	Freiformpresse 36 MN		70 kW		
Durchlaufofen	Gesenkschmiedepresse 70 MN		70 kW		
Durchlaufofen	Gesenkschmiedepresse 39 MN		70 kW	In Summe	786 kW
Stufe 3	Umsetzung	2013			
			Ø Leistung aus dem Rauchgas		
Stutzenanwärmofen	Räderlinie 1		160 kW		
Stutzenanwärmofen	Räderlinie 2		160 kW		
Stutzenanwärmofen	Lenkerlinie 1		110 kW		
Stutzenanwärmofen	Lenkerlinie 2		110 kW		
Lösungsglühofe	Leichtradlinie B 8		160 kW		
Lösungsglühofe	Exradlinie B 8		160 kW		
Späneofen	Gießerei B1		350 kW	In Summe	1210 kW
				Potential über alle 3 Stufen	2.214 kW

Tabelle 3: Thermoprozessanlagen Stufe 1,2 und 3 (Planung 2009)

Als Indikator für die Eignung wird die, nach der in Kapitel 2.5 dargestellten Methodik ermittelbare, Rauchgasenthalpie herangezogen. Hierbei hat sich herausgestellt, dass die Leistung aus dem Rauchgas an den 5 Durchlauföfen deutlich geringer ausfällt, als zuvor angenommen. Aus diesem Grund wird die Planung bezüglich der Ausbaustufe II angepasst und gestaltet sich wie folgt:

Stufe 1	Umsetzung	2009	Leistung aus Rauchgas	In Summe
Drehherdofen 13	Gesenkschmiedepresse 300 MN		303 kW	303 kW
Stufe 2	Umsetzung	2011	Leistung auch Rauchgas	In Summe
Drehherdofen 14	Gesenkschmiedepresse 300 MN		345 kW	
Elhaus – Gautschi	20MN_2 Strangpresse B2		380 kW	725 kW
Stufe 3*	Umsetzung	2013		
-				
			Gesamtpotential aus Stufe I+II	<u>1.027 kW</u>

*) Aufgrund der Entwicklung in B3 ist die Umsetzung der in Stufe 3 geplanten WRG-Maßnahmen als fragwürdig zu betrachten.

Tabelle 4: Thermoprozessanlagen Stufe 1 und 2 (Stand November 2010)

Hierbei lässt sich festhalten, dass das Anlagenalter mit der Sinnhaftigkeit der Integration einer Wärmerückgewinnungseinheit korreliert. Je neuer die Thermoprozessanlage, desto geringer ist das Rückgewinnungspotential aufgrund des Einsatzes moderner Technik (z.B. hocheffiziente Feuerfestzustellung und Rekuperatorbrenner). Aus diesem Grund eignen sich vor allem alte

Aggregate wie Drehherdofen 14 und der Elhaus-Gautschi Ofen an der 20MN_2 Strangpresse mit einem geringen feuerungstechnischen Wirkungsgrad. Bei diesem Aggregat handelt es sich um einen Gasschnellanwärmofen für Aluminium.

3.4 Wirtschaftlichkeitsanalyse

Die folgende Wirtschaftlichkeitsanalyse fußt auf einem Einsparpotential von 303 kW auf (Ausbaustufe I) und berücksichtigt folgende Daten:

1. Anschaffungskosten:

Die geplanten Anschaffungskosten wurden um 28.172 € unterschritten und betragen 414.573 €.

2. Wartungs- und Betriebskosten

Diese subsumieren Betriebskosten von 10.540 €, sowie einen monetären Wartungsaufwand von 5.000 € per anno.

Unter der Berücksichtigung dieser Werte stellt sich die Amortisationsrechnung für das Projekt wie folgt dar:

Amortisationsrechnung (Kapitalrückfluss-, Pay back Methode)

	geplant	tatsächlich ohne Zuschuss	tatsächlich mit Zuschuss
Anschaffungskosten [€]:	442.745	414.573	414.573
Zuschuss [€]:			82.915
Anschaffungskosten - Zuschuss [€]:			331.658
Restwert [€]:	0	0	0
Nutzungsdauer [a]:	10	10	10
Kalkulatorischer Zins [%]:	5	5	5
Kalkulatorische Abschreibung [€]:	44.275	41.457	33.166
Jährliche Betriebsstoffeinsparung [€]:	103.000	133.219	133.219
Kapitalkosten [€]:	55.343	51.822	41.457
Wartungs- und Betriebskosten [€]:	35.000	15.540	15.540
Jährliche Kosteneinsparung:	12.657	65.857	76.222
Amortisationszeit [a]:	7,8	3,9	3,0

Tabelle 5: Vergleichende Übersicht Amortisationszeiten

3.5 Technischer Vergleich zu konventionellem Verfahren

Konventionelle Verfahren arbeiten nicht mit dem Einsatz eines Schichtwasserspeichers zur hydraulischen Entkopplung der Wasserkreisläufe. Hiermit besteht die Möglichkeit der direkten Verwendung des Heißwassers zur Anlagenbeheizung bzw. alternativ zur Stützung des Hauptkreises aus dem Kesselhaus, wenn mehr Wärme aus dem Wärmerückgewinnungssystem zur Verfügung steht, als der eingebundene Verbraucher benötigt. Zudem besteht die Option, weitere Rückgewinnungskreisläufe in den Hauptkreis der Kesselanlage zu integrieren, soweit Bedarf besteht. Durch die Baukastenbauweise ist es gelungen, ein Konzept zu entwerfen, das sowohl innerbetrieblich einen stufenweisen Ausbau zulässt, sowie bei vergleichbaren anderen Anwendungsfällen sehr flexibel einsetzbar ist. Alle Bausteine sind mit eigenen, auf die Größe abgestimmten Regelsystemen, autark zu betreiben, bzw. beliebig zu verknüpfen. Dieses

ermöglicht auch anderen Betrieben einen stufenweisen Einstieg in die Wärmerückgewinnung aus Rauchgas.

4. Empfehlungen

4.1 Erfahrungen aus der Praxiseinführung

Störfälle der Projekttechnik:

- Die Einspeisung von Wärmeenergie in den Kesselhauskreislauf gestaltet sich aufgrund eines zu hohen, systembedingten Gegendrucks als problematisch.
- Wird der hydraulischen Weiche schlagartig durch das simultane Aufheizen mehrerer kalter Wasserbäder Energie entzogen, kann die Regelung den Bedarf nicht decken und die Weiche kühlt sehr stark ab ($>100^{\circ}\text{C}$).
- Bei Stromausfall an der Anlage reißt die Heißwasserversorgung nach B19 komplett ab, da ohne die Pumpenleistung der Systemdruck nicht ausreicht, um die in den Leitungen integrierten Rückschlagklappen (Ansprechdruck 3 bar) zu überwinden.

Angaben zu Maßnahmen zur Vermeidung von Betriebsstörungen

- Nach dargestellter Planung soll eine Einspeisung der Wärmeenergie in den Industrieheizungsvorlauf erfolgen. Da der Druck dieses Netzteiles oftmals in Abhängigkeit der Abnahmesituation zu hoch ist, ist in Kooperation mit Firma ONI ein Lösungskonzept erarbeitet worden. Hierbei wird der Differenzdruck zwischen Vor- und Rücklauf gemessen und in Abhängigkeit dessen Größe entweder in den Vor- oder Rücklauf eingespeist. Zusätzliche Rohrleitungsarbeiten und MSR-Technik resultieren in Zusatzkosten.
- Die Temperatur der hydraulischen Weiche wird erfasst. Fällt dieser Wert unter eine definierte Temperatur, wird die Frequenz der Förderpumpen gemindert um den Volumenstrom zu reduzieren und dadurch den Auskühleffekten entgegenzuwirken. In diesem Fall verringert sich die Energietransportleistung zum Verbraucher.

Angaben zur vorhabensbezogener Optimierung der Anlage bzw. der Anlagenteile

Betriebsinterne Messung haben gezeigt, dass die Rauchgastemperatur ϑ_4 bei 930°C Innenraumtemperatur bei ca. 250°C liegt. Damit geht nach wie vor ein größerer Teil der Enthalpie über den Kamin verloren als nötig. Um diesen Effekt zu mindern und simultan das Einsparpotenzial zu optimieren, wird die Frequenz des Ventilators auf 60 Hz angehoben und dadurch der Fördervolumenstrom um ca. 20% vergrößert.

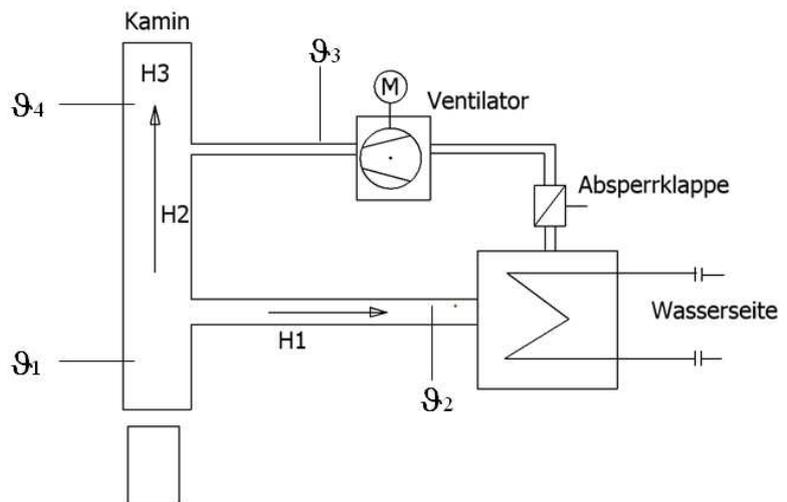


Abbildung 18: Funktionsschema Wärmerückgewinnung

Durchführung: Der Verlauf von Leistung, Frequenz, Ofenraumtemperatur und Rauchgastemperatur (an den vier Temperaturmessstellen $\vartheta_1 - \vartheta_4$) wird über einen längeren Betrachtungszeitraum aufgezeichnet. Hierbei werden vier charakteristische Betrachtungszeiträume definiert.

Zeitraum I: Thermoprozessanlage im Leerbetrieb bei 930°C mit $f=50\text{Hz}$.

Zeitraum II: Variation der Innenraumtemperatur, die Temperatur von 930°C wird schrittweise auf 1.000°C erhöht, gehalten und danach auf 930°C abgesenkt. Die Messergebnisse aus dieser Periode sollen den Einfluss der Ofentemperatur auf die Leistung herausstellen. Die Frequenz wird nicht beeinflusst.

Zeitraum III: Die Heißluftventilatorfrequenz wird bei konstanter Innenraumtemperatur von 930°C auf 60Hz angehoben.

Zeitraum IV: Die Heißluftventilatorfrequenz wird bei konstanter Innenraumtemperatur erst auf 65Hz, dann auf 70Hz angehoben. In dieser Betrachtungsperiode wird das Regelverhalten der Anlage überprüft, indem die Frequenz schlagartig verringert wird.

Auswertung der Messergebnisse:

Die Resultate und Verläufe an den vier Temperaturmessstellen, sowie die des Leistungs- und Frequenzwertes veranschaulicht Abbildung 19. Hierbei wurden die Werte in Sekundentaktung aufgezeichnet. Im Folgenden werden die vier charakteristischen Zustände näher analysiert und die maßgeblichsten Ergebnisse abgeleitet.

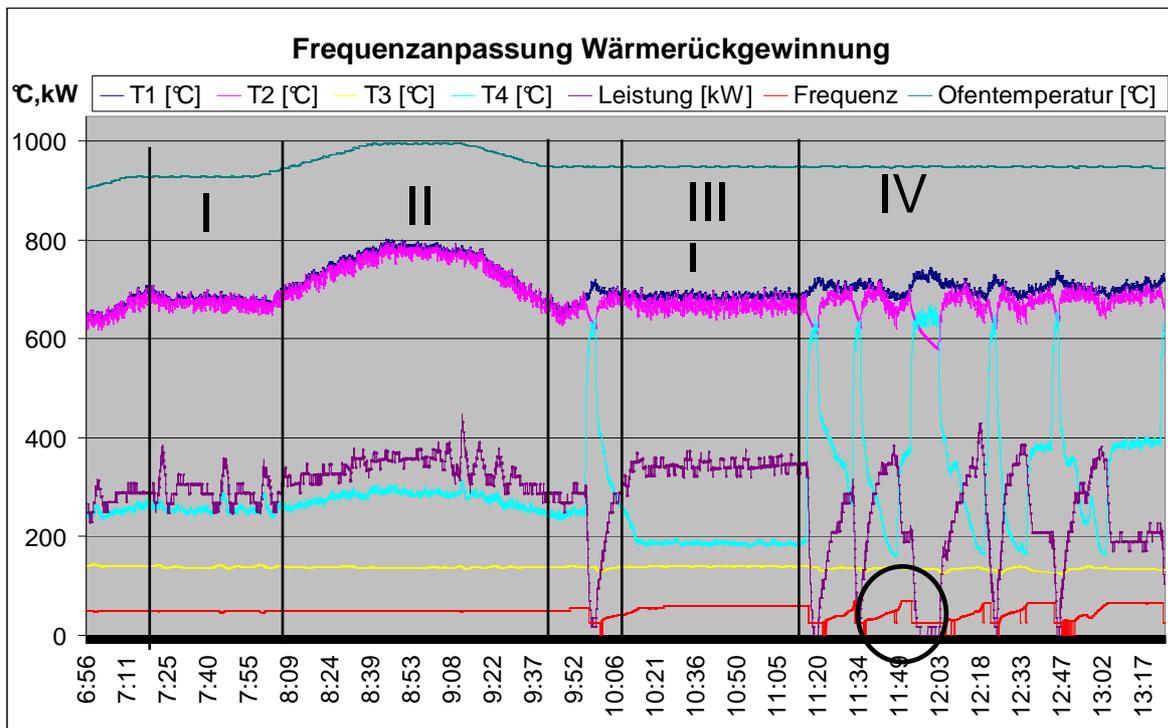


Abbildung 19: Ergebnisse der Frequenzanpassung an der Wärmerückgewinnung

Zeitraum I: 7:15 – 8:05

Diese Zeitperiode veranschaulicht das vom Hersteller regelungstechnisch vorgegebene Verhalten der Anlage. Bei einer Frequenz von 50 Hz stellt sich eine mittlere Leistung von 290 kW bei einer Resttemperatur des Rauchgases von 257°C ein. Diese Resultate bezüglich Leistung und Temperatur decken sich im Wesentlichen mit den zuvor aufgenommenen Werten.

ϑ_1	ϑ_2	ϑ_3	ϑ_4	Leistung kW
682,87	673,31	139,52	256,71	290,32

Zeitraum II: 8:06 – 9:40

Ab 8:34 hat sich das thermische Gleichgewicht des Drehherdofens bei 1000°C eingestellt. Anhand der Messergebnisse lässt sich die Abhängigkeit von Rauchgastemperatur und Leistung von der Ofentemperatur erkennen. Eine Zunahme dieses Wertes hat eine lineare Leistungssteigerung zur Folge. Da in diesem Zustand aber auch ein höherer Energieaufwand nötig ist, ändert sich am relativen Einsparpotenzial nichts. Zudem ist zu erkennen, dass die Temperatur ϑ_3 hinter dem Rauchgaswärmetauscher nicht gestiegen ist. Dieses lässt die Aussage zu, dass dieser auch Rauchgas mit einer Temperatur von 770°C auf die gewünschte Solltemperatur kühlen kann.

ϑ_1	ϑ_2	ϑ_3	ϑ_4	Leistung kW
782,11	771,11	138,09	289,40	358,08

Zeitraum III: 10:10 – 11:10

Die Auswertung der Messergebnisse aus diesem Zeitraum ermöglicht im Hinblick auf die Zielintention entscheidende Aussagen. Es ist zu erkennen, dass die Resttemperatur im Rauchgaskamin (ϑ_4) bei 60 Hz deutlich gefallen ist und somit mehr Leistung zurückgewonnen werden kann. Die Temperatur von 141°C hinter dem Ta uscher zeigt jedoch die Grenzen des Übertragungsverhaltens auf. Bei einem höheren Volumenstrom kann der Wärmetauscher nicht mehr die gesamte Wärmeenergie übertragen, da $\vartheta_3 > 140^\circ\text{C}$.

Ø1	Ø2	Ø3	Ø4	Leistung kW
685,71	667,63	141,12	186,32	343,40

Zeitraum IV: ab 11:15

In diesem Betrachtungszeitraum ist das Regelverhalten der Anlage bei plötzlichem Ein- und Ausschalten, sowie bei einer Frequenzanhebung auf 70 Hz untersucht worden. Wird die Anlage ausgeschaltet, fällt die Leistung sofort deutlich ab und die Rauchgastemperaturen im Kaminschacht steigen an. Bei 70 Hz (Kreis in Abbildung 19) übersteigt die Rauchgastemperatur an Ein- und Ausgang des Rekuperators die zugelassenen Werte. Dieses bedingt ein Umschalten der Anlage auf Notbetrieb (25 Hz).

Fazit: Die Messresultate haben den Einfluss der Heißluftventilatorfrequenz auf die Leistung unterstrichen. Wird diese auf 60 Hz angehoben, ergibt sich eine Zunahme um durchschnittlich 15,46 %. Da der Anlagenbetrieb unter diesen Bedingungen unproblematisch ist, wird die Frequenz nun dauerhaft angehoben. Dieses erfolgt jedoch nicht statisch auf 60 Hz, sondern dynamisch. Als Regelgröße für die Ventilatorfrequenz dient die Rauchgastemperatur hinter der WRG-Einheit (Ø4). Diese Frequenzanpassung in Temperaturabhängigkeit begründet Einspareffekte bei den Anlagenbetriebskosten. Durch die dynamische Frequenzanpassung ist eine Ausweitung des jährlichen Einsparpotentials gegenüber des Betriebs mit 50 Hz um ca. 20.000 € zu erwarten.

4.2 Modellcharakter

Durch Implementierung der dynamischen Frequenzanpassung seitens der Firma HTA ist es möglich, ohne Beeinflussung der Betriebscharakteristik des Drehherdofens das Einsparpotenzial deutlich auszuweiten. Das gewählte Anlagenkonzept ist auch anwendbar für andere metallverarbeitende Betriebe mit ähnlich gelagerten Verhältnissen. Otto Fuchs wird selber die Erkenntnisse und die daraus abgeleiteten technischen Konzepte bei einer Integration der in den beiden Folgestufen thematisierten Thermoprozessanlagen berücksichtigen.

4.3 Zusammenfassung

Das vorhandene Heißwassernetz (140°C) musste vor dem Hintergrund des geplanten Ausbaues des Standortes Meinerzhagen dem gesteigerten Mengenbedarf angepasst werden. Bestandteil des Planungskonzeptes war es zu versuchen, den zusätzlichen Wärmebedarf über Rauchgasrückgewinnung zu nutzen.

Im Rahmen einer ersten großtechnischen Anwendung sollte der erforderliche Wärmebedarf aus dem Rauchgas der mit Erdgas betriebenen Industrieöfen ausgekoppelt werden, um ihn in das bestehende Heißwassernetz einzuspeisen.

Mit der Integration eines Wärmetauschers konnten ca. 303 kW Heizleistung eingespart werden. Dies entspricht bei 7.800 Betriebsstunden per anno und einem Wirkungsgrad von 80 % für eine alternative Erzeugung über Primärenergieeinsatz einer Einsparung von 2.954 MWh / a Primärenergie. Unter der Berücksichtigung eines CO₂-Äquivalents von 207 g/kWh Erdgas und Berücksichtigung des Betriebsaufwands bei einem CO₂-Äquivalent von 600 g / kWh Strom errechnet sich eine Einsparung von 559,5 t/a CO₂.

Das Ergebnis liegt um 39% über der erwarteten Einsparung zur Planung.

Der ursprünglich budgetierte Investitionsansatz in Höhe von 442.754 € wurde für das Projekt durch die tatsächlichen Kosten in Höhe von 414.572,68 € unterschritten. Die von uns

errechnete Amortisationszeit für die innovative Technik konnte von 7,8 Jahren bei der Planung auf 3,9 Jahre reduziert werden. Die im Bericht dargestellten über der Planung liegenden Einsparmöglichkeiten beim Energieverbrauch (30.219 €) untermauern die Sinnhaftigkeit dieser Zukunftsinvestition für unser Unternehmen.

Mit der erfolgreichen Inbetriebnahme der innovativen Wärmerückgewinnungseinheit ist der erstmalige großtechnische Einsatz dieser Technik in der Bundesrepublik Deutschland realisiert worden. Anhand der dargestellten Versuchsdurchführungen und Aufzeichnungen hat sich die Praxistauglichkeit und letztendlich der Erfolg dieses prozessintegrierten Ansatzes nachweisen lassen. Aufgrund dieser Tatsache wird im Jahr 2011 die Umsetzung der in Kapitel 3.4 dargestellten Ausbaustufe II erfolgen. Das Anlagenkonzept ist auf die Mehrzahl aller Betriebe mit bestehenden Heißwassernetz und Ofenbetrieb übertragbar.

Die Firmen ONI-Wärme Trafo GmbH und HTA Hochtemperatur-Abwärmetechnik GmbH sind in der Lage, diese Technologie auch für andere Kunden auf deren Bedürfnisse zu übertragen.

Die neue Anlagentechnik kann, selbstverständlich nach vorheriger Terminvereinbarung, bei uns in Meinerzhagen besichtigt werden. Die Ansprechpartner sind Herr Hubert Eschbach und Herr Paul Julian Plikat.