Abschlussbericht

zum Vorhaben:

„Einsatz eines energieeffizienten Herdwagenofens bei der Herstellung von Edelstahl“

Nka3-001932

Fördernehmer/-in:

Edelstahlwerke Schmees GmbH

Umweltbereich

(Klimaschutz, Energie)

Laufzeit des Vorhabens

01.03.2012 – 30.06.2015

Autoren

Johann Unglaub, Michael Hübner

Marcus Lodde

Gefördert mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Datum der Erstellung

12.02.2016

Berichts-Kennblatt

Aktenzeichen UBA	**Projekt-Nr.** 1932
Titel des Vorhabens / Report Title „Einsatz eines energieeffizienten Herdwagenofens bei der Herstellung von Edelstahl“ „Use of an energy-efficient bogie hearth furnace for the production of special steel“	
Autor(en), Name(n), Vorname(n) Johann Unglaub und Michael Hübner, Edelstahlwerke Schmees GmbH, Pirna Marcus Lodde, prisma consult GmbH / Effizienz-Agentur NRW, Duisburg	**Vorhabensbeginn** 01.03.2012 **Vorhabenende (Abschlussdatum):** 30.06.2015
Fördernehmer / -in (Name, Anschrift) Edelstahlwerke Schmees GmbH Basteistr. 60 01796 Pirna-Copitz	**Veröffentlichungsdatum** 12.02.2016 **Seitenzahl** 54
Gefördert im Rahmen des BMUB-Umweltinnovationsprogramms des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit	

Kurzfassung / Summary

Mit dem Erwerb eines Herdwagenofens der Fa. Promeos wurde der erste großtechnische Einsatz eines energieeffizienten Herdwagenofens für den Temperaturbereich von 600 °C bis zu 1.100 °C für ein Füllgewicht bis 16.000 kg realisiert. Dieser Ofen zeichnet sich dadruch aus, dass er mit Porenbrennern optimal bestückt ist, um so die besten Bedingungen für die Wärmebehandlung des Gutes, welches in unterschiedlichster Form und Ausführung vorliegt, zu erzielen.

Die Ergebnisse des Vorhabens wurden über eine Referenzmessung des Gasverbrauchs des neuen Ofens und eines bestehenden Ofens sowie mit einem viermonatigen Messprogramm ermittelt. Zudem wurde eine Emissionsmessung durchgeführt, um die NOx-Belastung zu ermitteln. In 2015 betrug die Produktionsmenge 1.550 Tonnen Guß.

Die wesentlichen Umwelteffekte ergeben sich aus der Einsparung

- von Primärenergie in Höhe von 227.090 kWh/a Erdgas (11,82 %) im Glühprozess,
- aus der jährlichen Einsparung von 45,87 Tonnen CO_2 –Äquivalenten.
- Reduzierung des NO_x Ausstoßes um bis zu 50,4 kg/a.

Der ursprünglich budgetierte Investitionsansatz in Höhe von 652.000 € wurde für das Projekt durch die tatsächlichen Kosten in Höhe von 644.672,60 € unterschritten.
Das hier vorgestellte Anlagenkonzept ist auf die Mehrzahl aller metallverarbeitenden Betriebe mit Glühprozessen weltweit übertragbar. Alleine in Deutschland beträgt die Zahl der potenziellen Anwender 175 Härtereibetriebe. Zum Zeitpunkt der Antragstellung hat eine Marktrecherche von promeos ein Potenzial von wenigstens 90 Anlagen in Deutschland ergeben.

With the acquisition of a bogie hearth furnace provided by the company Promeos, the first use of an energy-efficient bogie hearth furnace on a large technical scale for the temperature range from 600° C to 1,100° C and for a charging load of up to 16,000 kg has been realized. The outstanding feature of this furnace is that it is optimally equipped with porous burners in order to achieve the best conditions for the heat treatment of the material which exists in different forms and types.

The results of the project were determined by carrying out reference measurements of the gas consumption of both the new furnace and an existing one as well as by means of a four-month measuring programme. In addition to that, an emission measurement was conducted in order to determine the NO_x pollution. In 2015 the production volume was 1,550 tons of cast material.

The essential environmental effects resulted from the savings

- of primary energy amounting to 227,090 kWh/a (11.82 %) in the annealing process,
- of the annual saving of 45.87 tons CO_2 equivalents.
- and from the reduction of the NO_x emission by up to 50.4 kg/a

The original investment budget of € 652,000 for the project fell below the actual costs of € 644,672.60.

This plant conception is transferrable worldwide to a majority of metal processing companies using annealing processes. The number of potential users in Germany alone makes up for 175 hardening shops. At the time of application, market research carried out by promeos showed a potential of at least 90 plants in Germany.

Schlagwörter / Keywords

Herdwagenofen, Temperaturstabilität, Porenbrenner

Bogie hearth furnace, temperature stability, porous burner

Anzahl der gelieferten Berichte	**Sonstige Medien**
Papierform: 5 **Elektronischer Datenträger: 1**	Newsletter, EFA-Loseblattsammlung und Veröffentlichung im Internet geplant auf der Homepage: www.schmees.com

Kurzfassung

Ausgangsituation

Die Fa. Schmees hat zum Zeitpunkt der Antragsellung am Standort Pirna insgesamt vier Ofenanlagen. Zwei Öfen wurden in den Jahren 2006/2008 errichtet. Diese werden für die Härte- und Glühprozesse eingesetzt. In einer anderen Halle befinden sich zwei ältere Öfen, die nur noch zum Vorwärmen der Werkstücke bei Schweißaufgaben verwendet werden. Einer der Öfen wurde zum letzten Mal vor ca. 10 Jahren modernisiert, der andere ist seit 1994 nicht modernisiert worden und wird heute praktisch nicht mehr eingesetzt.

Der neue Herdwagenofen, welcher für die Glühprozesse eingesetzt werden soll, wird einen alten Ofen ersetzen.

Ziel des Vorhabens

Die Edelstahwerke Schmees wollten mit dem Erwerb eines Herwagenofens der Fa. Promeos den ersten großtechnischen Einsatz eines energieeffizienten Herdwagenofens für den Temperaturbereich von 600 °C bis zu 1.100 °C für ein Füllgewicht bis 16.000 kg realisieren.

Dieser Ofen sollte sich dadurch auszeichnen, dass er mit Porenbrennern optimal bestückt wird, um so die besten Bedingungen für die Wärmebehandlung des Gutes, welches in unterschiedlichster Form und Ausführung vorliegt, zu erzielen. Der Ofen hat eine Ofenlänge von ca. 7,0-8,0 m, eine lichte Ofengröße von ca. 5,0 m Länge, 4,0 m Breite und 4,0 m Höhe und eine Ofennennleistung von ca. 1.800 kW besitzen.

Dabei sollten durch den Einsatz der flammenlosen Porenbrenner Verbesserungen bezüglich der homogenen Erwärmung des Gutes, ohne die lokalen Effekte der Überhitzung oder einer zu niedrigen Temperatur, und damit ein effizienterer Energieeinsatz bei Verbesserung der Produktqualität gegenüber dem jetzigen Stand der Technik (Ofen der Fa. Bayer (Erdgasverbrauch 110 m^3/t)) erreicht werden.

Die gewünschten Temperaturverläufe im Ofen und damit im Gut sollten aufgrund der Art der Wärmeeinbringung und mittels der möglichen Leistungsmodulation der Porenbrenner mit einer größeren Temperaturgenauigkeit (ca. +/- 10°C) als bisher abgebildet werden können, was sich positiv auf die Produktqualität auswirkt und aufgrund der möglichen Leistungsmodulation der Porenbrenner zu zusätzlichen Energieeinsparungen führt. Als Effekt der homogenen Ofenraumtemperatur sollte die Temperatur des Gutes an der gesamten Oberfläche um nicht mehr als +/-4°C abweichen, auch bei sehr „verwinkelten Geometrien“ des Gutes, d. h. es sollte eine sehr homogene Erwärmung des Gutes stattfinden.

Bei symmetrischen, glatten Werkstücken wurde von einer erwarteten Homogenität von +/- 2°C ausgegagen.

Technische Lösung

Das Projekt umfasste die Planung des neuen Ofenkonzepts im Hochtemperaturbereich bis 1.100°C, den Bau der Demonstrationsanlage, die Optimierungsphase bei Einfahren der Anlage sowie den Dauerbertrieb. Dabei hatten die folgende Aspekte besondere Bedeutung:

- Wärmeübertragung vom Porenbrenner auf das Gut welches in unterschiedlicher Größe, Masse, Anzahl vorliegt.
- Das möglichst exakte Abfahren unterschiedlichster Glühkurven.
- Integration der Brenner in die Ofenwand unter Berücksichtigung der notwendigen thermischen Trennung zwischen heißem Innenbereich und der äußeren Gemischzuführung bei Ofentemperaturen von über 1.000°C.

- Auswahl und Aufbau neuer thermischer Isolationsverfahren, die an die spezifischen Eigenschaften der Porenbrenner (niedrige Ausströmgeschwindigkeit, hoher Festkörperstrahlungsanteil, homogene Temperaturfelder) angepaßt sind.
- Konstruktive Gestaltung des Ofeninnenraumes, Einbringung von Führungs- und Strahlblechen die gemeinsam sicherstellen, daß auch bei der niedrigen Strömungsgeschwindigkeit des Porenbrenners sicherstellt ist, daß der gesamte Ofenraum uns somit auch das Glühgut gleichmäßig erwärmt wird,
- Mess- und Regelkonzept.
- Dauerhafte betriebliche Anwendbarkeit (u.a. Instandhaltung und Überwachung).
- Nutzung der Abgaswärme zur Brenngasvorwärmung oder für andere Zwecke. Eine solche ist angesichts eines höheren apparativen Aufwands nur wirtschaftlich sinnvoll, wenn der Ofen weitgehend kontinuierlich ohne große Temperaturabsenkungen gefahren wird, z.B. bei der 24/7 Beheizung von Verzinkungsbädern. Die Betriebscharakteristik der neuen Schmeesofens lässt eine Rekuperatortechnik nicht wirtschaftlich erscheinen. Marktübliche 15% Energieeinsparung bei Reku Brennern in Industrieöfen erfordert zur Bewertung und zum Vergleich eine Berücksichtigung der unterlegten Betriebsverläufe.

Ergebnisse aus technischer und wirtschaftlicher Sicht und hinsichtlich Umweltentlastung

Die Umweltbilanz bei Antragstellung bezog sich auf eine Jahresproduktionsmenge von 3.500 t/a. In 2015 betrug die tatsächliche Produktionsmenge aufgrund der Marktgegebenheiten 1.550 t/a. Die nachfolgende Tabelle 1 stellt die bei Antragstellung prognostizierten Werte den tatsächlich gemessenen Werten bei den jeweilgen Produktionsmengen gegenüber.

Umweltmedien (Energie, Rohstoffe)	Einsparung bei Antragstellung	Einsparung nach Messung 3.500 t/a Guss	Einsparung nach Messung 1.550 t/a Guss
Erdgas in kWh/a	1.016.047	701.785	227.090
CO_2 in t/a	247	142	45,87
NO_x in kg/a	197	113,67	50,4

Tabelle 1: Erwartete und tatsächlich erreichte Umweltentlastungen, bezogen auf eine Produktionsleistung von 3.500 t/a bwz. 1.550 t/a

Die Gründe für die Abweichung lassen sich, gemäß Angaben der Fa. Promeos, wie folgt zusammenfassen:

Ein vollständiger energetischer Vergleich unterschiedlicher Brennersysteme erfordert die Erfassung und Verknüpfung dreier Datenarten:

a) Der einfach zu messende Energieverbrauch, welcher für den jeweiligen Ofen anfällt, um die SOLL Temperaturkurve als Funktion der Zeit abzufahren. Dies wurde vollständig durchgeführt.
b) Die Berücksichtigung der Art und des Ortes der erfassten IST Temperaturen, nach welchen die Ofenbefeuerung geregelt wird. Hier gibt es aus dem Alltag und der langen Projektdauer resultuierende Unterschiede der Temperaturerfassung, die einer Interpretation bedürfen.
c) Die besondere Würdigung der gestellten Aufgabe, nämlich erstmalig einen Hochtemperaturindustrieofen nach Elektronorm auszuführen und die mit E-Heizung einfach realisierbare sehr hohe Temperaturhomogenität mit Gasbrennern abzubilden. Vor allem diese Anforderung lässt sich nur mit der Verwendung von impulsarmen Flächenbrennern hoher Leistungsmodulation erfüllen. Der konventionelle Vergleichsofen kann und musste diese Anforderung nie erfüllen, daher hinkt jeder Vergleich, der Aussagen zur Energieeffizienz ohne Berücksichtigung der Temperaturhomogenität auf

beliebig geformten Bauteilen in einem nahezu beliebig beladenen Ofen bei hohen Zieltemperaturen.

Dies beantwortet auch die Frage, warum wir bisher die anvisierten 30% Energieeinsparung nicht nachweisen konnten.

Der ursprünglich budgetierte Investitionsansatz in Höhe von 652.000 € wurde für das Projekt durch die tatsächlichen Kosten in Höhe von 644.672,60 € unterschritten. Vor dem Hintergrund der tatsächlichen Energieeinsparungen und den wegfallenden sonstigen Einsparungen liegt die Amortisationszeit über 10 Jahre.

Übertragbarkeit / Maßnahmen zur Verbreitung der Projektergebnisse

Das hier vorgestellte Anlagenkonzept ist auf die Mehrzahl aller metallverarbeitenden Betriebe mit Glühprozessen weltweit übertragbar. Alleine in Deutschland beträgt die Zahl der potenziellen Anwender 175 Härtereibetriebe. Zum Zeitpunkt der Antragstellung hat eine Marktrecherche von promeos ein Potenzial von wenigstens 90 Anlagen in Deutschland ergeben.

Die branchenspezifische Kommunikation dieses Vorhabens soll zum einen über unsere Kunden erfolgen. Zugleich wollen wir diese Verfahrensumsetzung auch zusammen mit der Effizienz-Agentur NRW in der Loseblattsammlung veröffentlichen.
.

Summary

Initial Situation

At the time of the application, the company Schmees possesses four furnaces in total on the Pirna site. Two furnaces were erected in the years 2006/2008. These are used for the hardening and annealing processes. Two older furnaces, which are only used for preheating the workpieces when welding work is carried out, are in another hall. One of the furnaces was last modernized 10 years ago, the other one hasn't been modernized since 1994 and technically isn't used anymore today.

The new bogie hearth furnace, which is supposed to be used for the annealing processes, will replace an old furnace.

Project Aim

With the acquisition of a bogie hearth furnace provided by the company Promeos, the Edelstahlwerke Schmees aimed to realize the first use of an energy-efficient bogie hearth furnace on a large technical scale for the temperature range from 600° C to 1,100° C and for a charging load of up to 16,000 kg.

The outstanding feature of this furnace was the fact that it is optimally equipped with porous burners in order to achieve the best conditions for the heat treatment of the material which exists in different forms and types. The length of the furnace is approximately 7.0 to 8.0 m, its clearance size is approx. 5.0 m in length, 4.0 m in width and 4.0 m in height; the rated power of the furnace is approx. 1,800 kW.

By using flameless porous burners, improvements regarding the homogenous heating of the material without the local effects of overheating and a too low temperature, thus a more efficient use of energy as well as an improvement in product quality compared with the current state-of-the-art (furnace of the company Bayer ,natural gas consumption 110 m^3/t,) were to be achieved.

Due to the type of heat input and by means of the possible power modulation of the porous burners, the desired temperature profiles within the furnace and thus within the material, were aimed to be shown with a higher temperature accuracy (approx. +/- 10°C) than before, showing positive impact on the product quality and leading to additional energy savings because of the possible power modulation of the porous burners. As an effect of the homogeneous furnace inside temperature, the temperature on the entire surface of the material was not supposed to deviate by more than +/- 4°C, even in very „contorted structures" of the material, i.e. a very homogeneous heating of the material was supposed to be achieved.

For symmetric, smooth workpieces a homogeneity of +/ 2°C was expected and assumed.

Technical Solution

The project comprised the planning of the new furnace conception within the high temperature range up to 1,100°C, the construction of the pilot plant, the optimization phase at the start-up of the plant as well as the continuous operation. The following aspects were of considerable importance:

- Heat transmission from the porous burner to the material existing in various sizes, mass, quantity.
- Tracking very different annealing curves in the most accurate manner.
- Integration of the porous burners into the furnace wall taking into consideration the necessary thermal separation between the hot interior and the outer mixture feeding at furnace temperature over 1,000°C.

- Selection and development of new thermal insulation processes which are adapted to the specific properties of the porous burners (low discharge velocity, high proportion of solid body radiation, homogeneous temperature fields).
- Constructive design of the furnace interior, insertion of guide and radiant panels ensuring a homogeneous heating of the entire furnace interior and thus the annealing material even at low flow speed of the porous burners.
- Measure and control conception.
- Permanent operational applicability (among other things maintenance and monitoring)
- Utilization of the exhaust gas heat for preheating the fuel gas or other purposes. Taking into consideration the complexity of the instruments needed, such a utilization only makes sense in an economical way if the furnace is mostly operated continuously without a significant tempertature decrease, for example in case of the 24/7 heating of a galvanizing plant. The operational characteristics of the new Schmees furnace do not seem to make a recuperator technology viable. 15% market-based energy savings for recuperator burners in industrial furnaces require considerations regarding the given operational processes for an assessment and a comparison.

Results from a technical and economic perspective and the environmental benefit

The environmental record at the time of application referred to an annual production quantity of 3,500 tons/a. Due to the market situation in 2015, the actual production quantity was 1,550 tons/a. The following table 1 compares the predicted values at the time of application with the actually measured ones regarding the respective production quantities.

Environmental media (energy, raw materials)	Savings at time of application	Savings after measurement 3,500 t/a cast material	Savings after measurement 1,550 t/a cast material
Natural gas in kWh/a	1,016,047	701,785	227,090
CO_2 in t/a	247	142	45.87
NO_x in kg/a	197	113.67	50.4

Table 2: expected and actually achieved environmental relief referring to a production capacity of 3,500 tons/a and 1,550 tons/a respectively

According to information provided by the company Promeos, the reasons for the deviation can be summarized as follows:

A complete energy-related comparison of different burner systems requires the collection and connection of three types of data:

a) The easy-to-measure energy consumption for the respective furnace in order to trace the SET temperature curve as a function of time. This was carried out completely.
b) The consideration of type and location of the measured ACTUAL temperature the furnace firing is controlled by. As a result of the daily routine as well as the long project duration, there are differences in temperature measurement which require interpretation.
c) The special appreciation of the assignment, namely to initially design a high temperature industrial furnace according to electrical standards and to demonstrate the very high tempertature homogeneity with gas burners which can be easily realized by means of an electric heating. This requirement in particular can only be met by using low-impulse surface burners with a high power modulation. The conventional reference furnace cannot and never had to meet this requirement. This is why any comparison making statements regarding the energy efficiency without taking into consideration the temperature homogeneity across components of any shape in an almost hapazardly charged furnace at high target temperature is misleading.

This also answers the question why we have not been able to verify the planned 30 % energy savings so far.

The original investment budget of € 652,000 for the project fell short of the actual costs of € 644,672.60. Given the actual energy savings and disappearing other costs, the amortization period is above 10 years.

Transferability / Measures to distribute the project's results

This plant conception is transferrable worldwide to a majority of metal processing companies using annealing processes. The number of potential users in Germany alone are 175 hardening shops. At the time of application, a market research carried out by promeos showed a potential of at least 90 plants in Germany.

On the one hand, the industry-specific communication of this project is to be carried out via our customers; on the other hand, we aim to publish this process implementation together with the Effizienz-Agentur NRW in the loose-leaf collection.

Inhaltsverzeichnis

Berichts-Kennblatt 2
Kurzfassung 4
Summary 7
Abbildungsverzeichnis 11
Tabellenverzeichnis 13
1. Einleitung 14
1.1 Kurzbeschreibung des Unternehmens 14
1.2 Ausgangssituation 14
2. Vorhabensumsetzung 15
2.1 Ziel des Vorhabens 15
2.2 Darstellung der technischen Lösung (Auslegung und Leistungsdaten) 16
2.3 Darstellung der Umsetzung des Vorhabens 18
2.4 Behördliche Anforderungen (Genehmigungen) 27
2.5 Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten 28
3. Ergebnisse 28
3.1 Bewertung der Vorhabensdurchführung 28
3.2 Durchführung und Ergebnisse des Messprogramms 34
3.3 Umweltbilanz 49
3.4 Wirtschaftlichkeitsanlayse 50
3.5 Technischer Vergleich zu konventionellem Verfahren 52
4. Empfehlungen 53
4.1 Erfahrungen aus der Praxiseinführung 53
4.2 Modellcharakter 53
4.3 Zusammenfassung 53

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Standort Herdwagenofen vor Baubeginn 19
Abbildung 2: Gerüstaufstellung zur Vorbereitung des teilweisen Wandabbruchs, hier bereits begonnen 20
Abbildung 3: Errichtung der Grube für die Antriebsaggregate für Wagen und Tor 20
Abbildung 4: Betonierarbeiten im Außenbereich, Fundamentlegung für den Herdwagen 21
Abbildung 5: Transport des Herdwagenofen (Korpus) 21
Abbildung 6: Der Ofen wird durch einen Kran nach innen gehoben 22
Abbildung 7: Herdwagenofen mit Wagen und Torportal am endgültigen Standort 22
Abbildung 8: Schlotmontage 23
Abbildung 9: Feuerfestzustellung des Herdwagens 23
Abbildung 10: Vorbereitung Hubtor Montage 24
Abbildung 11: Das isolierte Tor wird in das Ofenportal eingehoben 24
Abbildung 12: Einbau der Antriebe für Tor und Wagen 25
Abbildung 13: Ansicht des gesamten Schleppdaches 25
Abbildung 14: Herdwagofen-Rückseite mit Verbrennungsluftventilator und Schaltschrank 26
Abbildung 15: Test eines Brenners 26
Abbildung 16: Auf dem in den Ofen eingefahrenen Herdwagen stehen Ständer mit Thermoelementen 27
Abbildung 17: Herdwagendetail nach der Trocknung 27
Abbildung 18: Das Tor wird nach der ersten Glühung geöffnet 28
Abbildung 19: Nach der Abkühlung wird der Herdwagen ausgefahren. Die Positionierung des Gußteiles ist gut zu erkennen 29
Abbildung 20:Schnitt durch den Herdwagenofen mit dem geplanten Auflagern ... 30
Abbildung 21: Skizze der Lochverteilung mit steigender Anzahl an Löchern, D= 30 mm, Lochanteil steigt von Einfach auf das 2,5 fache; Lochanteil = 11 % 30
Abbildung 22:Schnitt durch den Herdwagenofen mit den geplanten Änderungen 31
Abbildung 23: Blick auf die neue Struktur des Herdwagenbodens 32
Abbildung 24: Auflager Promeos 32
Abbildung 25: links Herdwagenaufbau Fa. Promeos, rechts Herdwagenaufbau Fa. Bayer 33
Abbildung 26: Umgebauter Herdwagenofen am 28.01.2015 34
Abbildung 27: Für die Messung vorbereiteter leerer Ofen 19.05.2015 35
Abbildung 28: Gesamte Fahrt mit leeren Ofen 35

Abbildung 29: Bereich 600°C mit leerem Ofen 36
Abbildung 30: Bereich 930°C mit leerem Ofen 36
Abbildung 31: Bereich 1.040°C mit leerem Ofen 37
Abbildung 32: Gesamtansicht Testladung 37
Abbildung 33: Bereich 600°C mit beladenem Ofen 38
Abbildung 34: Bereich 930°C mit beladenem Ofen 39
Abbildung 35: Bereich 1.040°C mit beladenem Ofen 39

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Erwartete und tatsächlich erreichte Umweltentlastungen, bezogen auf eine Produktionsleistung von 3.500 t/a bwz. 1.550 t/a 5

Table 2: expected and actually achieved environmental relief referring to a production capacity of 3,500 tons/a and 1,550 tons/a respectively . 8

Tabelle 3: Projektfahrplan..... 18

Tabelle 4: Teilvorhaben 19

Tabelle 5: Referenzmessung Promeos am 14.10.2015 Leerfahrt 41

Tabelle 6: Referenzmessung HW03 und Promeos am 14.10.2015 Beladung 8,94 Tonnen, Auflager 3,8 Tonnen..... 42

Tabelle 7: Energieverbräuche und CO_2-Mengen HW03 und Promeos bei einer Jahrestonnage von 3.500 Tonnen bzw. 1.550 Tonnen 43

Tabelle 8: Referenzmessungen HW03 versus Promeosofen 43

Tabelle 9: Abmessungen der Wärmebehandlungsöfen HW03, HW04, Promeos. 44

Tabelle 10: Ofenbeladungen im Meszeitraum 9.06. - 8.10.2015 Promeosofen.... 45

Tabelle 11: Auswertung der Messungen Komplette Übersicht und gefiltert nach Temperaturklassen..... 46

Tabelle 12: Emissionsmessung KW 06 2014 47

Tabelle 13: Emissionsmessung vom 27.02.2014 47

Tabelle 14: Verwendete Messtellen Emissionsmessung 4. Juni 2014 48

Tabelle 15: Messergebnisse Emissionsmessung 4. Juni 2014..... 48

Tabelle 16: Erwartete und tatsächlich erreichte Umweltentlastungen, bezogen auf eine Produktionsleistung von 3.500 t/a bwz. 1.550 t/a 49

Tabelle 17: Statische Amortisationszeit bei Antragstellung unter der Berücksichtigung einer Produktionsmenge von 3.500 t/a 51

1. Einleitung

1.1 Kurzbeschreibung des Unternehmens

Die Edelstahlwerke Schmees GmbH gehört international zu den bedeutenden Anbietern von gegossenen Edelstahlprodukten in den Bereichen Pumpen- und Turbinenbau sowie für die Nahrungsmittel- und Pharmaindustrie. Den Kunden stehen rund 300 verschiedene Werkstoffe zur Verfügung. Viele dieser Stahlqualitäten sind Eigenentwicklungen der Edelstahlwerke Schmees GmbH. Das Unternehmen fertigt an den Standorten Pirna und Langenfeld (Rheinland).

Alleine am Standort Pirna wurde mit ca. 225 Mitarbeitern im Jahre 2010 2.350 Tonnen Guß, was einem Umsatz von ca. 20,5 Mio. € entspricht, umgesetzt. Davon entfiellen ca. 50% auf die Produktgruppe Turbinenguß, 30% auf die Gruppe der Pumpen und Armaturen und 20% unter Sonstige. 2015 wurden, aufgrund der Marktlage insgesamt 1.550 Tonnen umgesetzt.

Für die Zukunft wurde mit einer jährlichen Produktionsmenge von 3.500 t Guss geplant.

1.2 Ausgangssituation

Die Fa. Schmees hat zum Zetipunkt der Antragsellung am Standort Pirna insgesamt vier Ofenanlagen. Zwei Öfen wurden in den Jahren 2006/2008 errichtet. Diese werden für die Härte- und Glühprozesse eingesetzt. In einer anderen Halle befinden sich zwei ältere Öfen, die nur noch zum Vorwärmen der Werkstücke bei Schweißaufgaben verwendet werden. Einer der Öfen wurde zum letzten Mal vor ca. 10 Jahren modernisiert, der andere ist seit 1994 nicht modernisiert worden und wird heute praktisch nicht mehr eingesetzt.

Der neue Herdwagenofen, welcher für die Glühprozesse eingesetzt werden soll, wird einen alten Ofen ersetzen. Im Detail waren die bei den Edelstahlwerken Schmees in Pirna vorhandenen Herdwagenöfen wie folgt ausgestattet:

Ofen 1: Baujahr 1969 von der Firma Padelt, Leipzig mit einer Ofenlänge von 7,0 m, einer lichten Ofengröße von 5,31m Länge, 4,80m Breite und 4,22m Höhe und einer Ofennennleistung von ca. 1.600 kW, Brenner- und Steuerungstechnik sind 1994 zum letzten Mal modernisiert worden.

Ofen 2: Baujahr 1969 von der Firma Padelt, Leipzig mit einer Ofenlänge von 7,0 m, einer lichten Ofengröße von 5,31m Länge, 4,80m Breite und 4,22m Höhe und einer Ofennennleistung von ca. 1.600 kW, Brenner- und Steuerungstechnik sind 2000 zum letzten Mal modernisiert worden.

Ofen 3: Baujahr 2006 von der Firma Bayer, Bexbach mit einer Ofenlänge von 7,0 m, einer lichten Ofengröße von 4,0m Länge, 4,0m Breite und 4,0m Höhe und einer Ofennennleistung von ca. 1.600 kW.

Ofen 4: Baujahr 2008 von der Firma Bayer, Bexbach mit einer Ofenlänge von 8,0 m, einer lichten Ofengröße von 4,0m Länge, 5,0m Breite und 4,0m Höhe und einer Ofennennleistung von ca. 2.160 kW.

Ofen 1 war praktisch nicht mehr im Betreib und sollte durch den neuen Ofen vollständig ersetzt werden, Ofen 2 wird zum Vorwärmen bei Schweißarbeiten benutzt und sollte nach Installation des neuen Ofens nur noch bei Bedarf benutzt werden.

In den Öfen 3 und 4 finden zurzeit sowohl die Glüh-, Wärmenachbehandlungsprozesse, als auch die Härteprozesse statt. In Zukunft sollten hier nur noch die Härteprozesse stattfinden und der neue Ofen an einem neuen Standort für die unverzichtbare wärmetechnischen Nachbehandlung von einfachen Stählen bis hin zu hochlegierten Stählen (sogenannte Duplexstähle) eingesetzt

werden. Die zu behandelten Stahlerzeugnisse haben dabei ganz unterschiedliche Formen und Massen und decken einen Bereich von einigen hundert Kilogramm bis zu mehreren Tonnen, wobei das größte Teil eine Masse von ca. 15 t aufweist, ab.

Die zur Wärmebehandlung im Ofen befindlichen Stahlerzeugnisse müssen auf Temperaturen von ca. 1.100°C erwärmt werden und dabei bestimmte Aufheizprogramme durchlaufen, wichtig ist dabei u. a., daß bei bestimmten Aufheizprogrammen ein Temperaturgradient von 100°C/h erreicht und im Bereich der Haltzeit-/-temperatur die Temperaturverteilung im Ofenraum sehr homogen ist.

Typische Herdwagenöfen, wie sie bei den Edelstahlwerken Schmees verwendet werden, verfügen über an den Seiten angebrachte Gasbrenner (Standard Impulsbrenner), die mit einer langgestreckten Flamme über den Ofenwagen hinweg in den Brennraum hinein brennen. Dies führt per se nicht nur zu sehr instationären Strömungs- und Temperaturfeldern innerhalb des Ofens, sondern beinhaltet auch noch das Problem, dass das Gut so im Ofen zu positionieren ist, dass es nicht von den Flammen berührt wird. Dazu werden in der Regel Stahlkonstruktionen auf den Herdwagen aufgelegt worauf das Gut gelagert und somit über die Flammen hinweg gehoben wird. Dies verhindert zwar das Berühren des Gutes mit den Flammen, was für die Qualität eine Mindestanforderung darstellt, führt aber zu Beschädigungen und ungewollten Verformungen der sehr hohen Temperaturen ausgesetzten oder z. T. sogar in den Flammen stehenden Auflager.

Das Positionieren der Güter auf solchen Auflagern kann aufgrund der punktuellen Krafteinwirkung und der unregelmäßigen Oberflächen der Werkstücke zu unerwünschten Schädigungen und Belastungen im Gut führen. Zusätzlich kann sich evt. sogar die Lage des Gutes im Ofen während des Glühprozesses verändern.

2. Vorhabensumsetzung

2.1 Ziel des Vorhabens

Die Edelstahwerke Schmees wollten mit dem Erwerb eines Herwagenofens der Fa. Promeos den ersten großtechnischen Einsatz eines energieeffizienten Herdwagenofens für den Temperaturbereich von bis zu 1.100 °C für ein Füllgewicht bis 16.000 kg realisieren.

Dieser Ofen sollte sich dadurch auszeichnen, dass er mit Porenbrennern optimal bestückt wird, um so die besten Bedingungen für die Wärmebehandlung des Gutes, welches in unterschiedlichster Form und Ausführung vorliegt, zu erzielen. Der Ofen wird eine Ofenlänge von ca. 7,0-8,0 m, eine lichte Ofengröße von ca. 5,0 m Länge, 4,0 m Breite und 4,0 m Höhe und eine Ofennennleistung von ca. 1.800 kW besitzen.

Dabei sollten durch den Einsatz der flammenlosen Porenbrenner Verbesserungen bezüglich der homogenen Erwärmung des Gutes, ohne die lokalen Effekte der Überhitzung oder einer zu niedrigen Temperatur, und damit ein effizienterer Energieeinsatz bei Verbesserung der Produktqualität gegenüber dem jetzigen Stand der Technik (Ofen der Firma Löcher BVT-Merkblattes "Metallverarbeitung") erreicht werden.

Die gewünschten Temperaturverläufe im Ofen und damit im Gut sollten aufgrund der Art der Wärmeeinbringung und mittels der möglichen Leistungsmodulation der Porenbrenner mit einer größeren Temperaturgenauigkeit (ca. +/- 10°C) als bisher abgebildet werden können, was sich positiv auf die Produktqualität auswirkt und aufgrund der möglichen Leistungsmodulation der Porenbrenner zu zusätzlichen Energieeinsparungen führt. Als Effekt der homogenen Ofenraumtemperatur sollte die Temperatur des Gutes an der gesamten Oberfläche um nicht

mehr als +/-4°C abweichen, auch bei sehr „verwinkelten Geometrien“ des Gutes, d. h. es sollte eine sehr homogene Erwärmung des Gutes stattfinden.

Bei symmetrischen, glatten Werkstücken wird von einer erwarteten Homogenität von +/- 2°C ausgegagen.

Mit dieser technischen Lösung wurden nachfolgende Umwelteffekte erwartet:

- Reduzierung des Erdgaseinsatzes beim Glühen der Werkstücke um ca. 30-35% gegenüber dem bestehenden Ofen. Das entspricht bei den Edelstahlwerken Schnees, Pirna für den geplanten Ofen einer erwarteten Einsparung von ca. 1.016.047 kWh/a Erdgas bei einer Jahrestonnage von 3.500 Tonnen.
- Vermeidung von bis zu 247 t/a CO_2 Emissionen.
- Reduzierung des NO_x Ausstoßes um bis zu 197 kg/a.
- Verbesserung der Werkstoffqualität durch exakteres Abfahren der gewünschten Temperaturkurven.
- Vermeidung von lokalen Überhitzungen an den Werkstücken
- Vereinfachung der Beladung des Ofenwagens, da die jetzigen Auflager nicht mehr gebraucht werden.

2.2 Darstellung der technischen Lösung (Auslegung und Leistungsdaten)

Das Projekt umfasst die Planung des neuen Ofenkonzepts im Hochtemperaturbereich bis 1.100°C, den Bau der Demonstrationsanlage, die Optimierungsphase bei Einfahren der Anlage sowie den Dauerbertrieb. Dabei werden folgende Aspekte besondere Bedeutung haben:

- Wärmeübertragung vom Porenbrenner auf das Gut welches in unterschiedlicher Größe, Masse, Anzahl vorliegt.
- Das möglichst exakte Abfahren unterschiedlichster Erwärmungskurven.
- Integration der Brenner in die Ofenwand unter Berücksichtigung der notwendigen thermischen Trennung zwischen heißem Innenbereich und der äußeren Gemischzuführung bei Ofentemperaturen von über 1.000°C.
- Auswahl und Aufbau neuer thermischer Isolationsverfahren, die an die spezifischen Eigenschaften der Porenbrenner (niedrige Ausströmgeschwindigkeit, hoher Festkörperstrahlungsanteil, homogene Temperaturfelder) angepaßt sind.
- Konstruktive Gestaltung des Ofeninnenraumes, Einbringung von Führungs- und Strahlblechen die gemeinsam sicherstellen, daß auch bei der niedrigen Strömungsgeschwindigkeit des Porenbrenners sicherstellt ist, daß der gesamte Ofenraum und somit auch das Glühgut gleichmäßig erwärmt wird,
- Mess- und Regelkonzept.
- Dauerhafte betriebliche Anwendbarkeit (u.a. Instandhaltung und Überwachung).
- Nutzung der Abgaswärme zur Brenngasvorwärmung oder für andere Zwecke.

Zur homogenen Erwärmung eines Körpers ist idealerweise an dessen gesamter Oberfläche der Wärmeübergang gleich. Dies setzt wiederum voraus, dass die Temperatur- und Strömungsfelder außerhalb des Körpers, also im Ofenraumvolumen, ebenfalls möglichst homogen sind. Erfolgt die Wärmeeinbringung nun nach dem Stand der Technik mittels strömungsstabilisierten Flammen, die zu dem noch in den Ofen hineinragen, bedeutet dies, dass nicht nur sehr große Unterschiede in der Strömungsgeschwindigkeit im Ofen festzustellen sind, die auch noch von der Form und Lage des Gutes abhängen, sondern natürlich auch die Temperaturen innerhalb der Ofenatmosphäre weit von einem auch nur annähernd ausgeglichenen Zustand entfernt sind. Damit sind die oben für eine homogene Erwärmung genannten Anforderungen an die Homogenität der Strömungs- und Temperaturfelder nicht gegeben.

Der Porenbrenner zeichnet sich nun dadurch aus, dass die gesamte Umsetzung des Brennstoffes in einer nur 15mm dicken porösen Keramik stattfindet. Dies bedeutet zunächst einmal, dass es keinerlei offene Flammen gibt, die in den Ofenraum hinein brennen. Deshalb sind auch keinerlei Maßnahmen zum Schutz des Gutes vor den Flammen notwendig.

Ein weiterer wichtiger Punkt ist nun, dass die in der porösen Keramik durch die Verbrennung erzeugten heißen Abgase sehr homogen über die gesamte Brenneroberfläche austreten. Da diese Brenneroberfläche nun in der geometrischen Gestaltung variabel ist, kann sie optimal an die Anforderungen angepasst werden und damit ist die Schaffung von homogenen Strömungs- und Temperaturfeldern und die damit verbundene homogene Erwärmung von Werkstücken überhaupt erst möglich.

Diese neue Brennertechnologie erfordert und ermöglicht auch bei dem Ofen selbst Veränderungen. So muß aufgrund der fehlenden Flammen, die mit hohem Impuls in den Ofen eintreten und den dadurch generierten hohen Strömungsgeschwindigkeiten im Ofen, die thermische Isolierung nicht mehr mit Blick auf mechanische Angriffe durch die Brenner und punktuell sehr hohe thermische Belastungen ausgelegt werden. Hier kann bei der Auswahl und Montage der Werkstoffe einzig und allein der Schwerpunkt auf die thermische Isolation gelegt werden. Auf der anderen Seite sind Maßnahmen zur Vergleichmäßigung der Temperaturen und des Wärmeübergangs im Ofen zu ergreifen, die durch eine gezielte Strömungsführung den fehlenden hohen Ausströmimpuls des Brenners ausgleichen. Des Weiteren ist es zur Erhöhung der Effektivität des Erwärmungsprozesses sinnvoll und notwendig, einen Teil der Energie der Brenner mit Strahlblechen aufzunehmen und diese dann gereichtet an die Werkstück abzugeben. Das heißt, eine Umwandlung der Gasstrahlung in eine gerichtete Festkörperstrahlung. Dies alles erfordert auch bei der Konstruktion und dem Bau des Ofens selbst den Einsatz neuer Werkstoffe, Verfahren und die Umsetzung neuer Lösungsansätze.

2.3 Darstellung der Umsetzung des Vorhabens

Die Tabelle 3 beschreibt den Projektfahrplan für die Umsetzung des Projektes.

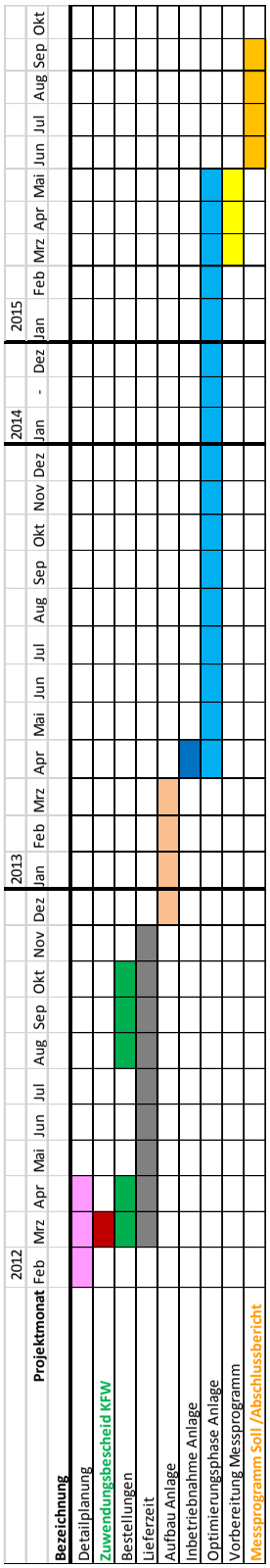


Tabelle 3: Projektfahrplan

Die einzelnen Schritte im Projektablauf werden nachfolgend kurz beschrieben.

Tabelle 4 gibt einen Überblick über unsere investitionsseitigen Teilvorhaben, auf die im Weiteren fortwährend Bezug genommen wird:

Teilvorhaben
Fremdlieferung (Ofen der Fa. Promeos)
Fremdleistung
Personal

Tabelle 4: Teilvorhaben

Zunächst wurde im Zeitraum Februar – April 2012 mit der Firma Promeos das Angebot sowie das Lastenheft konkretisiert. Das finale Angebot der Firma Promeos lag am 02.04.2012 vor. Dieses Angebot wurde durch eine Auftragsbestätigung vom 19.04.2012 angenommen.

Am 11.07.2012 wurden der Fundamentplan, die Ofenskizzen und der Ablaufplan mit der Firma Promeos abgestimmt. Auf Grundlage dieser Absprachen wurden Angebote für die Bauausführung eingeholt. Am 31.07.2012 wurde mit Promeos der Abstand zwischen Glühgut und Brenner geklärt. Bis zum 14.08.2012 lagen die überarbeiten Zeichnungen für den Aufstellungsplan sowie den Fundamentplan vor. Zum 22.08.2012 wurden die Planungsunterlagen mit der Firma Promeos noch einmal im Detail besprochen und konkretisiert und Ende August die Angebote für die ausgeschriebenen Bauausführungen geprüft. Aufträge hierzu wurden Ende August 2012 vergeben. Das nachfolgende Bild zeigt den Standort des Herdwagenofens vor Baubeginn.

Abbildung 1: Standort Herdwagenofen vor Baubeginn

Mit den nachfolgenden Abbildungen werden die Bauarbeiten dokumentiert, die im Oktober 2012 gestartet sind und im Dezember 2012 abgeschlossen worden sind. Es wurde ein Gerüst aufgestellt, der Teilfassadenabbruch (5,50 m x 5,00 m) durchgeführt und ein Stützträger eingebracht.

Abbildung 2: Gerüstaufstellung zur Vorbereitung des teilweisen Wandabbruchs, hier bereits begonnen

Abbildung 3: Errichtung der Grube für die Antriebsaggregate für Wagen und Tor

Anschließend (KW 42/44 2012) wurden die Betonierarbeiten im Außenbereich und das Fundament inkl. Schienenfundament für den Herdwagen errichtet (Abb. 4).

Abbildung 4: Betonierarbeiten im Außenbereich, Fundamentlegung für den Herdwagen

Die Seitenwände und der obere Abschluss des Herdwagenofens (Korpus) wurden zusammengefügt und der Ofen wurde durch einen Kran an den endgültigen Standort gehoben. (KW 45/46 2012)

Abbildung 5: Transport des Herdwagenofen (Korpus)

Abbildung 6: Der Ofen wird durch einen Kran nach innen gehoben

Die Gleisarbeiten wurden durch Betonierung beendet und die Vorbereitungen für den Gasanschluss getroffen. Gas und Druckproben wurden bereits getestet und alle notwendigen Überprüfungen für den Gasanschluss durchgeführt. (KW 46 2012). Abschließend erfolgte die Zusammenführung von Ofen und Herdwagen. Auf dem u.a. Bild ist der Ofen noch ohne Einhausung zu sehen. Der Ofen wird von oben gekühlt (siehe Wandaussparung). Ebenfalls sind die einbetonierten Gleise zu sehen.

Abbildung 7: Herdwagenofen mit Wagen und Torportal am endgültigen Standort

Der Abgasschlot wurde in der KW 47 2012 geliefert und sofort montiert.

Abbildung 8: Schlotmontage

Die Ofen- und Herdwagenisolierung wurde in KW 47/49 2012 ausgeführt.

Abbildung 9: Feuerfestzustellung des Herdwagens

Abbildung 10: Vorbereitung Hubtor Montage

Das Hubtor des HWO wurde in KW 49 2012 montiert.

Abbildung 11: Das isolierte Tor wird in das Ofenportal eingehoben

Die Montage der Antriebe für Tor und Wagen erfolgten in KW 50/51 2012.

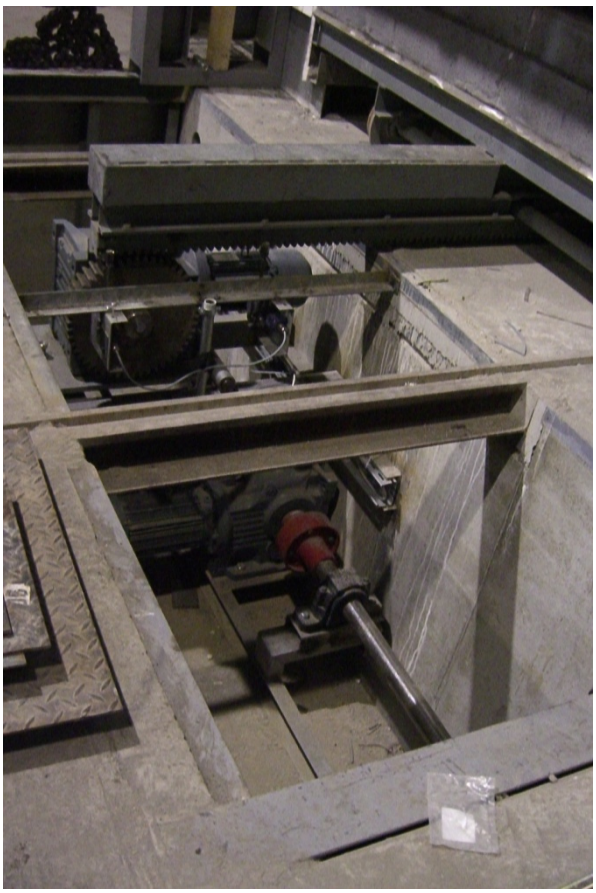


Abbildung 12: Einbau der Antriebe für Tor und Wagen

Im Zuge der Bauarbeiten wurde ein zusätzliches Schleppdach errichtet, um den Guss trocken zu lagern. Dieses Schleppdach war bereits länger in der Planung und wurde nun mit errichtet, da ein nachträglicher Anbau nicht mehr möglich gewesen wäre. Dieses Schleppdach ist nicht Gegenstand der Förderung und wird kostenseitig separat behandelt. Die Montagearbeiten erfolgten in KW 45 bis KW 51 2012.

Abbildung 13: Ansicht des gesamten Schleppdaches

Zum 17.12.2012 wurde der Schaltschrank geliefert. Die Aufstellung wurde im Zuge der Arbeiten noch einmal neu definiert. Dadurch ist ein geschützter Standort gegeben.

Abbildung 14: Herdwagofen-Rückseite mit Verbrennungsluftventilator und Schaltschrank

Am 06.02.2013 fand in Pirna mit der Firma Promeos ein Vororttermin statt, um die Inbetriebnahme des Ofens zu planen. Am 7. und 8. Februar 2013 wurden alle Restarbeiten an der Brennertechnik ausgeführt.

Abbildung 15: Test eines Brenners

Die Prüfung der Funktion der Temperaturregelung sowie der Test der Steuerung des Ofens wurden am 11 und 12. Februar 2013 durchgeführt. Ab dem 14. Februar 2013 wurde die Trocknung des Herdwagens gestartet, am 15. Februar 2013 wegen des Wochenendes unterbrochen und in der Zeit vom 18.02 – 20.02.2013 fortgeführt und erfolgreich abgeschlossen. Dabei wurden die Temperaturen von Promeos separat im Ofenraum über Schleppelemente erfasst.

Abbildung 16: Auf dem in den Ofen eingefahrenen Herdwagen stehen Ständer mit Thermoelementen

Abbildung 17: Herdwagendetail nach der Trocknung

2.4 Behördliche Anforderungen (Genehmigungen)

Am 9. Januar 2012 haben die Edelstahlwerke Schmees ein Änderung der bestehenden Stahlgießerei gemäß § 15 BImSchG beim Landratsamt angezeigt. Gemäß Schreiben vom 24. Mai 2012 hat das Landratsamt Sächsische Schweiz-Osterzgebirge entschieden, dass die Anzeige der Edelstahlwerke Schmees keiner Genehmigung nach § 16 BImSchG bedarf.

Die für den Betrieb der Anlage erforderliche Dokumente des Herstellers liegen vor. Sicherheitstechnisch ist die Anlage abgenommen.

2.5 Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten

Die Erfassung der Betriebsdaten erfolgte durch die Promeos GmbH und die Edelstahlwerke Schmees GmbH. Eine fortwährende Protokollierung von Materialstromdaten ist durch die Erfassung zu den Fertigungsaufträgen durch Schmees gewährleistet. Die Messungen für den neuen Ofen wurden im Juni 2015 gestartet und sind Anfang Oktober 2015 beendet worden.

Eine umfassende Beschreibung der Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten (Messprogramm) findet in Kapitel 3.2 statt.

3. Ergebnisse

3.1 Bewertung der Vorhabensdurchführung

Für die vergleichenden Probeglühungen wurden von uns gleiche Gußteile bereitgestellt. Dabei wurde ein Werkstück mit Nutzraumbreite (2.500 mm) ausgewählt. Die Glühungen erfolgten am 27. und 28.02.2013 mit einer Aufheizung von 200 – 930 °C und zehnstündiger Haltezeit im neuen Herdwagenofen und am 28.02./01.03.2013 im Herdwagenofen 4. Das Gesamtgewicht inklusive Glühauflagen betrug 13 Tonnen.

Abbildung 18: Das Tor wird nach der ersten Glühung geöffnet

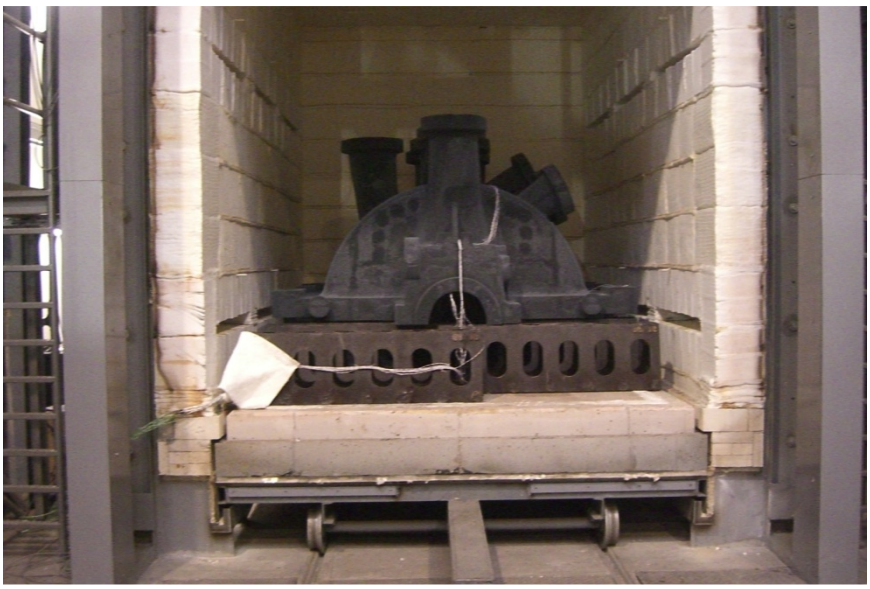


Abbildung 19: Nach der Abkühlung wird der Herdwagen ausgefahren. Die Positionierung des Gußteiles ist gut zu erkennen

Aus den vergleichenden Probeglühungen konnten erste Ergebnisse gewonnen werden, die Anpassung am Ofen erforderlich machten. Die Brenner waren noch nicht optimal eingestellt. An einzelnen Meßpunkten am Werkstück traten große Schwankungen bei der Temperaturverteilung auf. Eine hohe Startleistung und nicht weit genug geschlossene Klappen der Brenner im Stillstand verursachen große Schwankungen um den Sollwert (nach DIN 17052 Güteklasse A sind +/-5 K zulässig). Abstimmungsprobleme bereitete auch die Isolierung des Herdwagens. Im Zuge der weiteren Aufstellung konnten diese Probleme gelöst werden.

In der KW 12 2013 wurde mit der Optimierung des Ofens begonnen und diverse Einstellungen an den Brennern und der Software geändert. Mit der Integration des Frequenzumrichters war es ohnehin notwendig, die Einstellung der Gas-Luft-Mischung neu vorzunehmen, sowie die Klappenstellungen der Luftklappen zu ändern. So wurden die Brenner jeweils auf eine Luftzahl von ca. 1,2 eingestellt und die Minimalleistung auf ca. 50 kW pro Brennerlinie abgesenkt. Im Bereich mittlerer Leistung wird die kleinste Luftzahl, minimal ca. 1,1, erreicht. Zur Energieeinsparung des Ofens wurden in der SPS zwei unterschiedliche minimale Klappenstellungen integriert. Eine für den Fall, dass der Brenner aus ist und eine während des Betriebs. Damit lässt sich die Menge an Luft minimieren, die bei ausgeschaltetem Brenner in den Ofenraum gespült wird, und trotzdem eine genügend hohe Minimalleistung gewährleisten, um einen Brennerrückschlag zu verhindern. Zusätzlich wurden die im Feuerungsautomaten hinterlegten Zeiten, die den Brennerstart verzögern, verkürzt bzw. deaktiviert. Dazu gehören die Vorspülzeit, die Stabilisierungszeit und der Taktzyklus. Während einiger Tests bei unbeladenem Ofen wurden in der SPS p- und i-Anteil der Temperaturregelung auf den Prozess angepasst. Zusätzlich wurden für die zweite Glühung außerdem die Auflager um ca. 13 cm erhöht.

Weiter Ofentests wurden durchgeführt, woraus sich als Zwischenergebnis festhalten lässt, dass sich die Temperaturverteilung im Ofen bzw. die homogene Erwärmung der Zuladung verbessert hat. Mit den erzielten Ergebnissen wurde jedoch absehbar, wie die weiteren Schritte zur Optimierung des Ofens auszusehen haben. Diese werden im Folgenden beschrieben:

Um die Temperaturverteilung des Ofens deutlich zu verbessern, bedurfte es zum einen einer Änderung der Auflager auf dem Herdwagenofen. Sie sollten die komplette Fläche des Herdwagens bedecken und so konstruiert sein, dass die heißen Abgase zunächst in den darunter liegenden Hohlraum strömen. Die Auflager sollten viele Löcher in ihren Auflagefläche haben. Die Anzahl bzw. der Durchmesser der Löcher sollte von außen nach innen zunehmen, um

sicherzustellen, dass das Abgas auch bis in die Mitte des Ofens gelangt und gleichmäßig über die Fläche verteilt austritt. Ein mögliches Aussehen der späteren Auflager ist in der folgenden Abbildung 20 zu sehen.

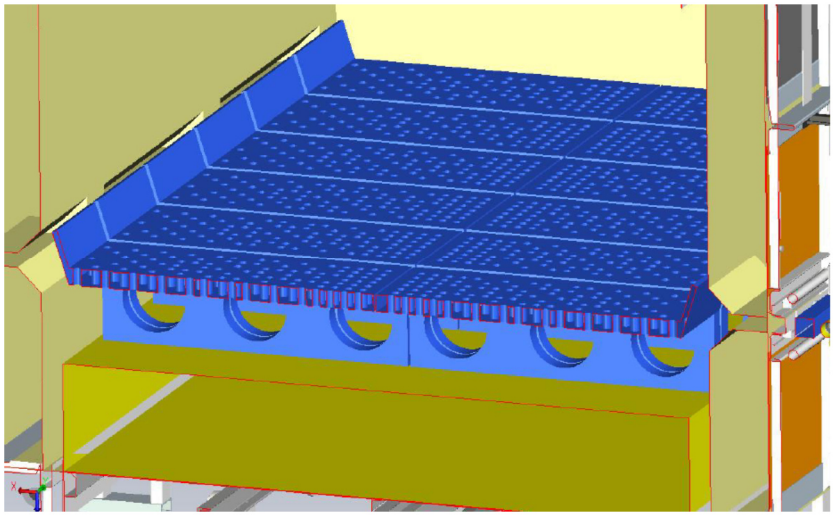


Abbildung 20:Schnitt durch den Herdwagenofen mit dem geplanten Auflagern

Um die Wirkung dieser Auflager zu testen, wurden Lochbleche gefertigt, die auch einen von außen nach innen hin zunehmenden Lochflächenanteil besitzen. Diese wurden auf die bestehenden Auflager gelegt. Die Spalte zwischen Ofenisolierung und den Blechen wurde mit Isoliermatten geschlossen. In nachfolgender Zeichnung Abbildung 21 ist ein solches Blech dargestellt. Durch die unterschiedliche Lochverteilung soll gewährleistet werden, dass schon bei kleiner Leistung heißes Abgas in die Mitte des Ofens vordringen kann.

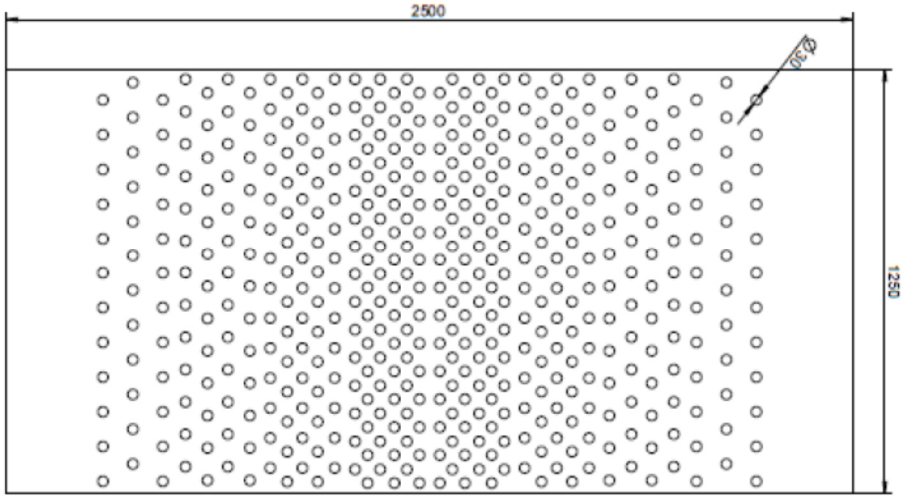


Abbildung 21: Skizze der Lochverteilung mit steigender Anzahl an Löchern, D= 30 mm, Lochanteil steigt von Einfach auf das 2,5 fache; Lochanteil = 11 %

Die weitere Maßnahme, die durchgeführt wurde, ist der Einbau eines Blechs auf beiden Längsseiten des Ofens im Bereich der oberen Brenner. Diese sollten in erster Linie dazu dienen, den Abgasvolumenstrom der oberen Brenner nach unten in den Ofen zu zwingen und so zu vermeiden, dass das Abgas teils ungenutzt den Ofen direkt durch den Abzug verlässt. Als positiver Nebeneffekt dient das heiße Blech auch als Festkörperstrahler. Angedeutet ist dies in folgender Abbildung 22.

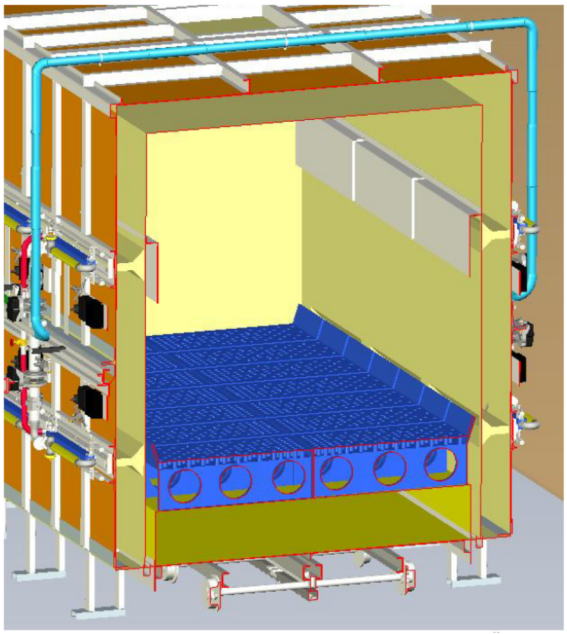


Abbildung 22:Schnitt durch den Herdwagenofen mit den geplanten Änderungen

Die Länge und Art der Anbringung im Ofen wurden zu diesem Zeitpunkt noch nicht endgültig festgelegt. Die letzte am 11.07.2013 durchgeführte Messung zeigte, dass die Temperaturen durch die Einführung der Lochbleche nicht nur beim instationären Aufheizvorgang deutlich näher beieinander lagen, sondern auch wesentliche Veränderungen in der Temperaturverteilung in der Ebene zu konstatieren waren. Obwohl die gesamte Energie bei dem Aufheizvorgang nur mit den Unterbrennern eingebracht wurde, waren in der instationären Phase maximale Differenzen von ca. 150K zu beobachten. Der Wärmeübergang, bzw. vor allem die Strömungsmechanik in dem Ofen mit promeos-Technologie ist völlig anders, als bei Öfen mit konventionellen Brennern als Punktquelle.

Deshalb sind Brennerlinien in unterschiedlicher Höhe angebracht. Bei der Ausdehnung im Ofen wird damit der Einsatz von Leitstrukturen notwendig und die Oberbrenner wurden mit in die Erwärmungsphase einbezogen. Die Regelung des Systems wurde entsprechend intelligent ausgeführt und angepaßt.

Die üblichen bei Schmees Verwendung findenden Auflager wurden mittels Feuerfeststeinen um ca. 100 mm erhöht. Die Aufstellung der Auflager erfolgte unverändert, d. h. zwischen den Auflagern befindet sich jeweils eine Lücke mit der Stellbreite von einem Auflager. Die gesamte Nutzfläche wurde mit einem aus einzelnen Lochblechen zusammengefügten Lochboden abgedeckt. Der Rand zwischen Ofenseitenwand und Lochblech wurde verschlossen. Die oberen Brenner haben "Vorhänge" aus Blechen erhalten, die die Abgase zunächst nach unten führen und dann in den Ofeninnenraum entlassen. Dabei nehmen die Bleche einen Teil der Abgasenthalpie auf und geben diesen in Form von Festkörperstrahlung wieder ab. Der Herdwagenofenboden ist zwischen den Auflagern mit einer zweilagigen Schicht aus Hochtemperaturwolle (Höhe ca. 50mm) abgedeckt.

Nach Umsetzung dieser Maßnahmen zeigten die durchgeführten Testreihen, dass bezüglich der Temperaturverteilung in den Werkstücken, im Ofen und bezüglich des Energieverbrauches z. T. erhebliche Fortschritte erzielt werden konnten.

In der 43. KW 2013 wurde das bisher provisorische Auflager und Lochblechkonzept durch eine seriennahe Lösung ersetzt. Die üblichen bei Schmees Verwendung findenden Auflager wurden so abgelängt, daß je zwei Auflager die gesamte Herdwagenbreite überbrücken. Die Auflager wurden auf Feuerfeststeine positioniert, die dadurch erreichte Erhöhung beträgt ca. 180 mm. Die Aufstellung der Auflager erfolgte regelmäßig über die Herdwagenlänge.

Abbildung 23: Blick auf die neue Struktur des Herdwagenbodens

Die gesamte Nutzfläche wurde mit einem aus einzelnen spezifisch gefertigten Lochblechen zusammengefügten Lochboden abgedeckt. Der Rand zwischen Ofenseitenwand und Lochblech wurde zunächst verschlossen. Die oberen Brenner haben "Vorhänge" aus Blechen erhalten, die die Abgase zunächst nach unten führen und dann in den Ofeninnenraum entlassen. Dabei nehmen die Bleche einen Teil der Abgasenthalpie auf und geben diesen in Form von Festkörperstrahlung wieder ab. Der Herdwagenofenboden ist zwischen den Auflagern mit einer Schicht aus Hochtemperaturwolle (Höhe ca. 180-200mm) abgedeckt.

Diese Lösung war zu diesem Zeitpunkt notwendig, der Weg zu einer dauerhaften Lösung muss aber noch gefunden werden. Die nachfolgende Abbidlung 24 stellt die aktuelle Lösung für das Auflager dar.

Abbildung 24: Auflager Promeos

Durch den sehr hohen Herdwagenaufbau gestalten sich die Beladung und vor allem die Entladung heißer Bauteile vom Herdwagen äußerst schwierig. Der Herdwagen ist nur über eine Leiter begehbar. Das Anschlagen von Ketten an glühende Bauteile über eine Leiter ist sehr riskant, da kein Rückweichen bei Gefahr (z.B. Verbrennungen, kippende Bauteile) gegeben ist. Auch ein sicheres Handling der schweren Ketten, Haken, Stangen ist auf einer Leiter nicht gegeben. Deshalb musste noch ein Be- und Entladungskonzept erarbeitet werden, das den arbeitsschutztechnischen und ergonomischen Anforderungen gerecht wird.

Abbildung 25: links Herdwagenaufbau Fa. Promeos, rechts Herdwagenaufbau Fa. Bayer

Der ganz wesentliche Vorteil des neuen Bodenkonzeptes besteht jedoch darin, daß der eigentlich Herdwagen thermisch vom Ofenraum entkoppelt werden kann und dadurch das System energetisch günstiger wird. Zudem bleibt herabfallender Zunder auf der Wärmedämmung liegen und eine Zerstörung der Zustellung des Herdwagens durch den in die Fugen fallenden Zunder wird in ihrer Wahrscheinlichkeit deutlich reduziert. Falls einmal ein Austausch der Wärmedämmung notwendig ist, ist dieser mit geringem Aufwand an Zeit und Kosten zu realisieren.

Am 18. Dezember 2013 fand ein Gespräch zwischen der Fa. Schmees und der Fa. Promeos in Pirna statt. Es wurde vereinbart, dass der Ofen beladen und für die Abnahme (leer & beladen) optimiert wird.

Die **mechanischen Arbeiten/Nachbesserungen** umfassten u.a. folgende Punkte:

- Kabelkanalstütze ersetzten, Ofendruckleitung fest verlegen,
- Führung für Tor-Endschalter
- Zündbrenner ausbessern
- Gaszähler überprüfen, wenn möglich reparieren
- Absturzsicherung auf Ofen
- Abgassammler auf Ofen
- Nachbessern Zustellung

In der KW 09 2014 wurden durch die Fa. Richter der Herdwagenofen einer Abnahmeprüfung in Anlehnung an die DIN EN 17052 unterzogen. Ziel war es den Nachweis zu führen, daß der Ofen die Qualitätsklasse A der zitierten Norm erfüllt. Eine Zertifizierung konnte durch das die Messungen durchführende Unternehmen allerdings nicht erteilt werden.

Am 20. März 2014 ist die Abnahmemessung für den Promeos-Ofen erfolgt und damit der Ofen in den Verantwortungsbereich der Fa. Schmees übergegangen. In der der viermonatigen Messphase wurden viele Glühungen im Promeos Ofen durchgeführt. Leider traten in dieser Phase noch einige „Kinderkrankheiten“ (Ausfall eines Brenners und notwendiger Austausch, Stabilitätsproblem mit dem eigentlichen Herdwagen) auf, sodass diese Ergebnisse für die Ergebnisdokumentation nicht genutzt werden konnten.

Um die notwendige Durchwärmung und Temperaturgleichmäßigkeit des Ofens zu erhalten, war es notwendig, das eigentliche Niveau der Herdwagenfläche anzuheben und Lochbleche zur Verteilung des Abgasstromes zu installieren. Der Herdwagenaufbau ist jetzt sehr hoch und bringt viele Probleme, speziell strukturelle Instabilitäten, Verschiebungen und Deformationen des Aufbaus. Für den praktischen Einsatz des Herdwagenofens wurde beschlossen, die unteren Brenner sowie den Herdwagenaufbau tiefer zu legen, um die notwendige Stabilität und somit

auch die Sicherheit zu erhalten. Die Umbauarbeiten begannen in der 45 KW 2014 und wurden in der 49 KW 2014 abgeschlossen.

Für den Umbau wurden neu konstruierte Auflager sowie Fixierelemente benötigt, welche die Fa. Schmees im Stahlguss hergestellt hat. Ebenfalls wurden die nachfolgenden Optimierungen umgesetzt:

- Senkung des Geräuschniveaus vom Gebläse für Kühl- und Verbrennungsluft sowie
- eine weitere Gewichtsmiderung/thermische Entkopplung des Herdwagens

Vor dem Hintergrund der umfangreichen Änderungen am Promeos-Ofen war es nach allen technischen Änderungen unabdingbar, neue Messungen zur Temperaturgenauigkeit (Ofenklassifizierung) und zum Energieverbrauch durchzuführen.

Die nachfolgende Abbildung 26 zeigt den umgebauten Ofen am 28. Januar 2015.

Abbildung 26: Umgebauter Herdwagenofen am 28.01.2015

Am 7.05.2015 wurde durch Promeos die letzte Testglühung incl. Anpassung der letzten reglungstechnischen Feinheiten durchgeführt.

3.2 Durchführung und Ergebnisse des Messprogramms

Umweltziel: Energieeffizienz und Temperaturgenauigkeit

In der 21 KW 2015 wurden durch die Fa. Richter der Promeos-Herdwagenofen einer Abnahmeprüfung in Anlehnung an die DIN EN 17052 unterzogen. Ziel war es den Nachweis zu führen, dass der Ofen die Qualitätsklasse A der zitierten Norm erfüllt.

Grundlage für die Abnahmeprüfung des Ofens ist die Temperaturverteilung im unbeschickten Nutzraum. Je nach gewünschten Temperaturbereichen ist diese Verteilung bei unterschiedlichen Temperaturen in der jeweiligen Haltephase zu bewerten.

Der leere Ofen wurde, wie auch in den bisherigen Testfahrten, mit 5 Ständern (4 an den Ecken des Nutzraumes, einer in der Mitte) ausgerüstet, an denen je 3 Thermoelemente an der unteren und oberen Grenze des Nutzraumes und in der mittelern Höhe, befestigt wurden.

Abbildung 27: Für die Messung vorbereiteter leerer Ofen 19.05.2015

Die Aufzeichnung der Temperaturen erfolgte mittels Messgeräten der Fa. Richter. Zusätzlich zu den Ständern sind noch Testkörper mit den Messstellen HS1, HS2 und HS3 im Ofen abgelegt. Die Sollkurve sah einen Gradienten von 100K/h vor und Haltephasen von je 6h bei 600°C, 930°C und 1040°C. Die von der Leitwarte vorgegebene Sollkurve wurde von der Ofensteuerung in entsprechende Stellsignale für die Brenner umgesetzt. Der Ofen arbeitete vollautomatisch wie auch im späteren Normalbetrieb.

Bei dem durchgeführten Versuch konnten folgende Temperaturverläufe über alle Haltephasen (nachfolgende Abbildung 28) ermittelt werden. Die Daten wurden dabei aus dem Mitschrieb der Fa. Richter entnommen und in die dargestellten Diagramme überführt.

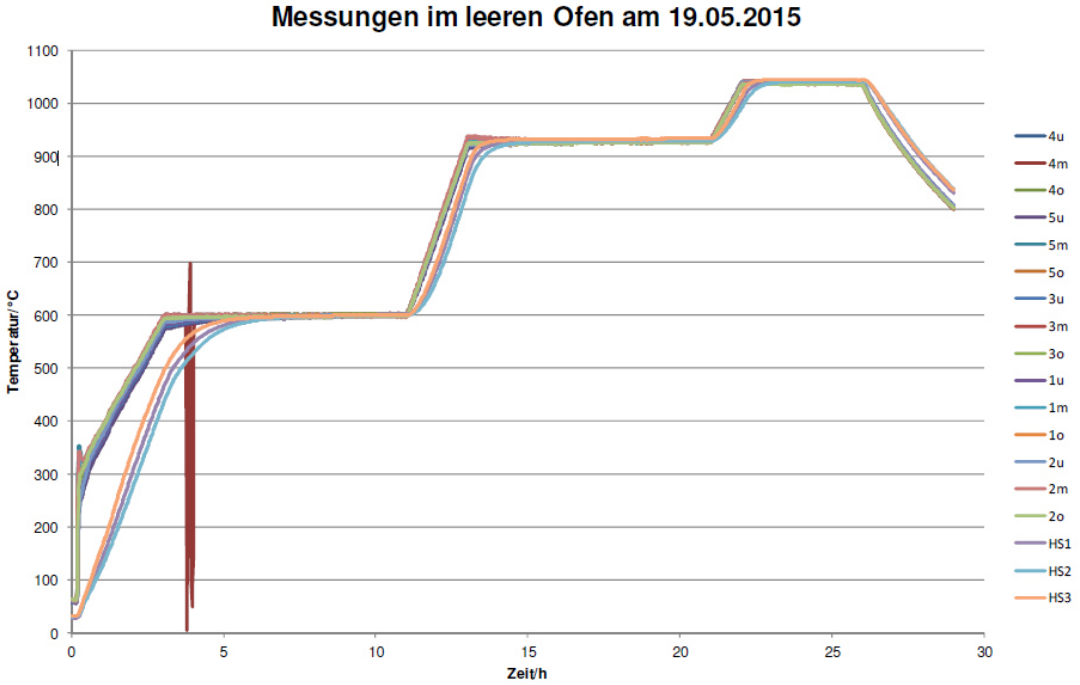


Abbildung 28: Gesamte Fahrt mit leeren Ofen

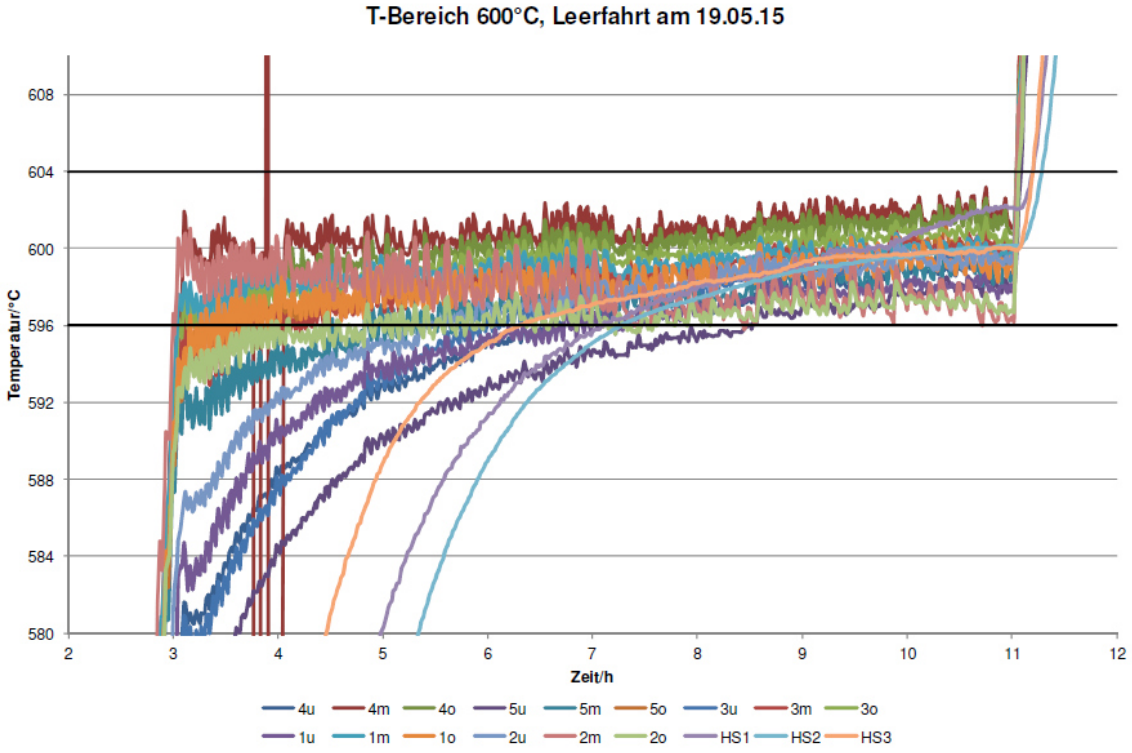


Abbildung 29: Bereich 600°C mit leerem Ofen

Der Blick auf den Haltebereich von 600°C in der vorangegangenen Abbildung 29 zeigt, dass ca. 3 h nach Beginn der Haltephase bis auf 3 Temperaturen alle im gewünschten Temperaturband sind. Zum Ende der Haltezeitliegen sind dann alle innerhalb von 600°C±4K. Ein Überschwingen über die maximale Temperatur von 604°C trat nicht auf. Der Verlauf für die nächste Haltephase 930°C stellt sich wie folgt dar:

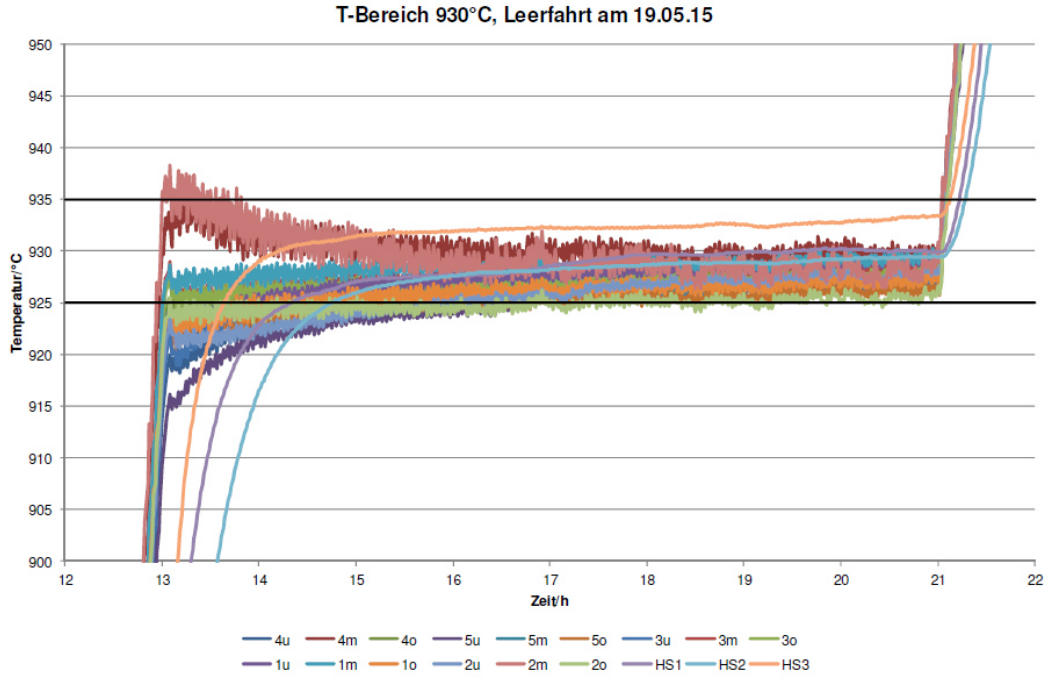


Abbildung 30: Bereich 930°C mit leerem Ofen

Zum Ende der Haltezeit sind alle Temperaturen im Band 930°C ±5K. Die max. Temperatur von 935°C wurde von einer Temperatur kurzfristig am Anfang überschritten. Damit dieses kurzfristige

Überschwingen in Zukunft verhindert wird, wurde Anpassungen an der Software vorgenommen.

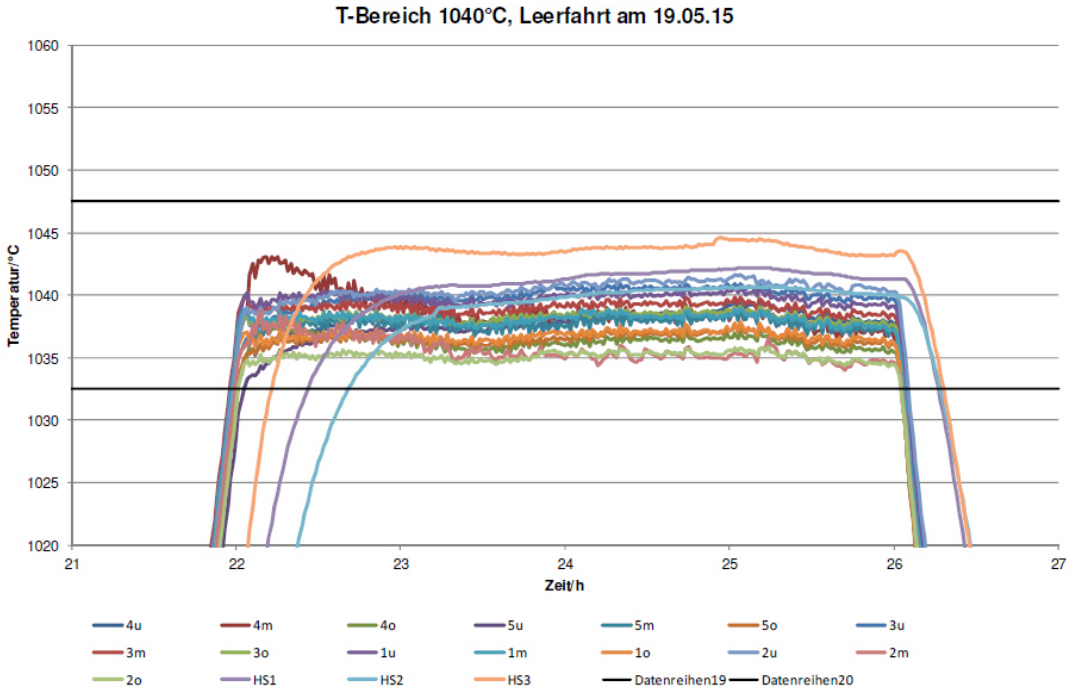


Abbildung 31: Bereich 1.040°C mit leerem Ofen

In der letzten Haltephase sind nach ca. 1 h alle Temperaturen im gewünschten Band von 1.040°C±7,5K. Die maximale Temperatur von 1.047,5°C wurde nie überschritten.

Nach den durchgeführten Versuchen lässt sich konstatieren, dass die Anforderungen der DIN EN 17052 für die Genauigkeitsklasse A erfüllt sind. Den kleinen Abweichungen in der 930°C Aufheizphase wurde mit Anpassungen an der Software entgegengetreten, die bei den nächsten Glühprogrammen wirksam werden.

Damit aber das Verhalten des Ofens auch im beladenen Zustand dokumentiert werden konnte, wurde die Temperaturverteilung auch im beladenen Ofen aufgenommen. Der Ofen wurde mit einer Testladung beladen, wie die nachfolgende Abbildung 32 belegt und dann die gleiche Aufheizkurve durchfahren. Der Ofen wurde mit einem Gewicht von 8,96 Tonnen beladen. Das Gewicht des Auflagers betrug 3,8 Tonnen.

Abbildung 32: Gesamtansicht Testladung

Ziel der Messung war es den Nachweis zu führen, dass auch im beladenen Ofen an den Werkstücken keine Abweichungen von der Zieltemperatur auftreten und vor allem gezeigt wird, dass die maximale Temperatur nicht überschritten wird. Die Abbildung 33 auf der nachfolgenden Seite zeigt den Temperaturverlauf bei 600 °C im beladenen Ofen.

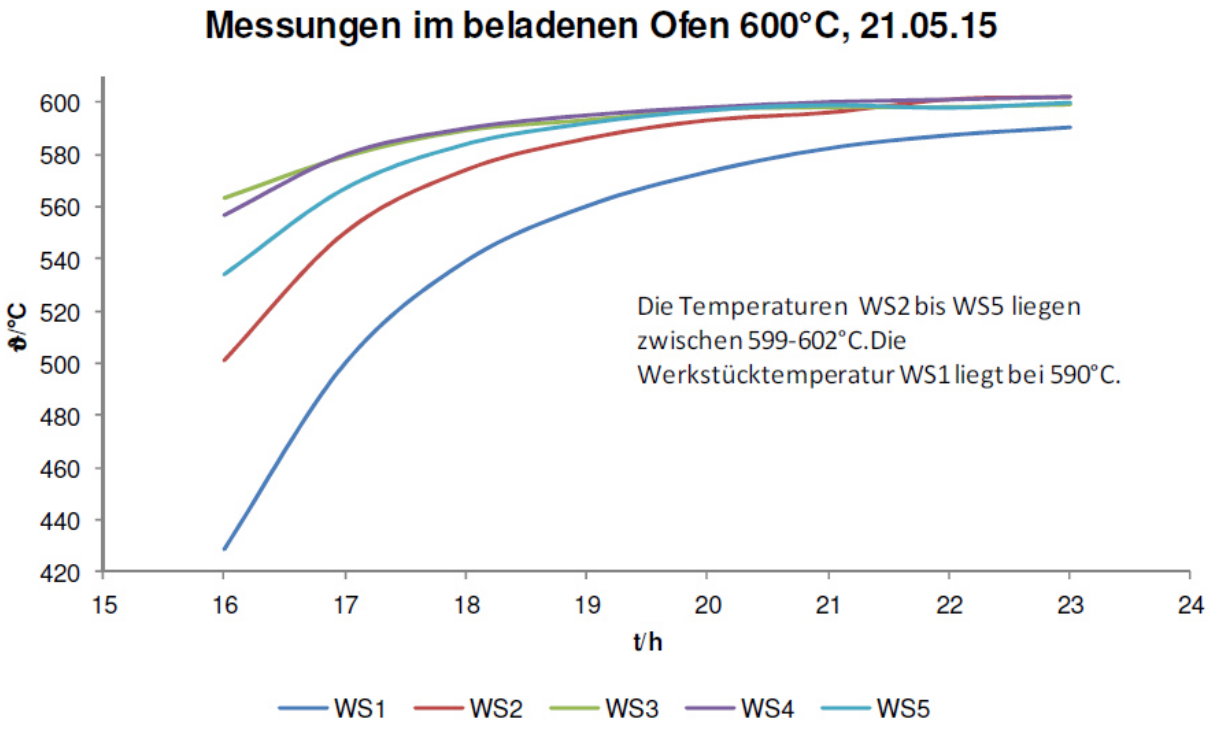


Abbildung 33: Bereich 600°C mit beladenem Ofen

Die Messung bei der Zieltemperatur von 600°C zeigt, dass auch im beladenen Ofen die obere Grenztemperatur nicht überschritten wird und alle Temperaturen sehr nahe beieinander liegen. Mit Ausnahme des Werkstückes 1 sogar in einem Band von 3K. Das Nachziehen der Temperatur von Werkstück 1 ist physikalisch bedingt und stellt keine normative Abweichung dar. In diesem Temperaturbereich bedarf es einer längeren Zeit, bis alle Bauteile auf Soll-/Haltetemperatur sind.

Bei 930°C liegen nach der Haltezeit alle Temperaturen in einem Bereich von 927-934°C und bei 1040°C in dem Bereich von 1043-1046°C. Die jeweiligen Messungen werden in den nachfolgenden Abbildungen 34 und 35 dokumentiert.

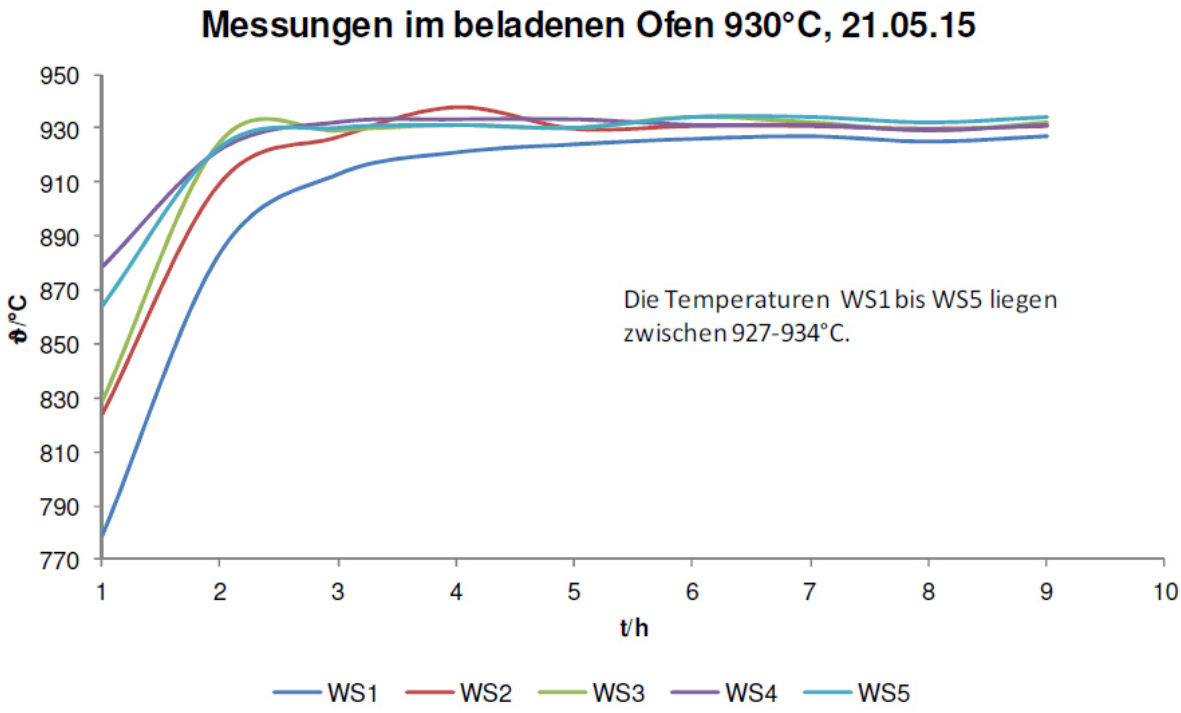


Abbildung 34: Bereich 930°C mit beladenem Ofen

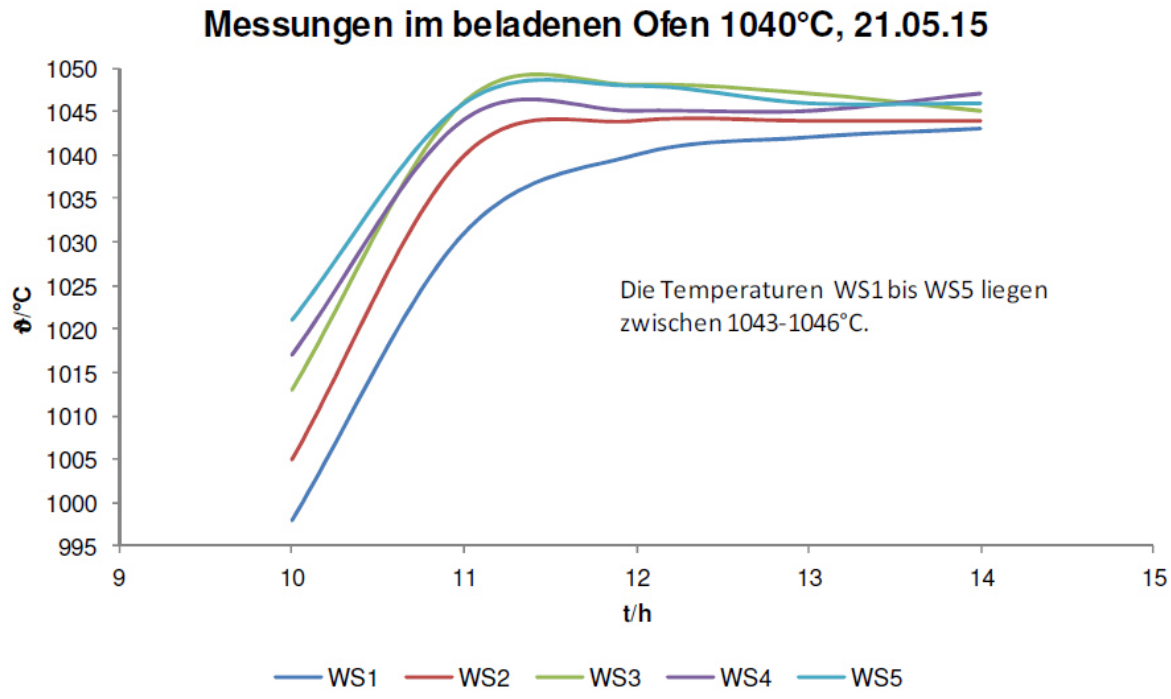


Abbildung 35: Bereich 1.040°C mit beladenem Ofen

Damit konnte gezeigt werden, dass auch in einem sehr heterogen beladenen Ofen bezüglich der Temperaturhomogenität exzellente Ergebnisse erreicht werden. Auch bei dem beladenen Ofen wurde eine hervorragende Temperaturhomogenität bei der heterogenen Beladung gemessen.

Während der Leerfahrt wurde eine Energie (Erdgas) von ca. 6.710 kWh und mit Beladung von ca. 8.630 kWh zugeführt.

Nachdem der Herdwagenofen 3 (HW03) mit Feuerfestbeton erneuert wurde, konnte in der KW 42 2015 die Referenzmessung zum Gasverbrauch mit und ohne Beladung am HW03 und am Promeosofen durchführt werden. Am 14.10.2015 wurde mit dem Aufbau der Beladung sowie der Messung begonnen.

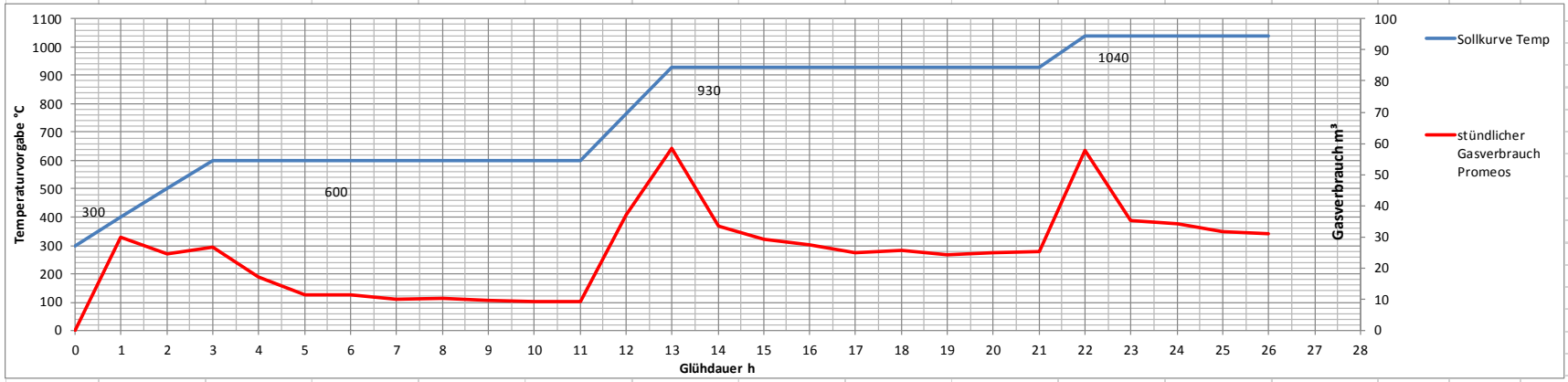
Um die Messung nicht unnötig zu verteuern, wurden lediglich 3 Schleppelemente mitgeführt, die Steller sind entfallen. Einige Musterbauteile standen für die Glühung leider nicht mehr zur Verfügung und mussten durch ähnliche Bauteile (gleiches Gewicht) ersetzt werden.

Die Ergebnisse dieser Messungungen lassen sind in den Tabellen 5 und 6 zusammengefasst:

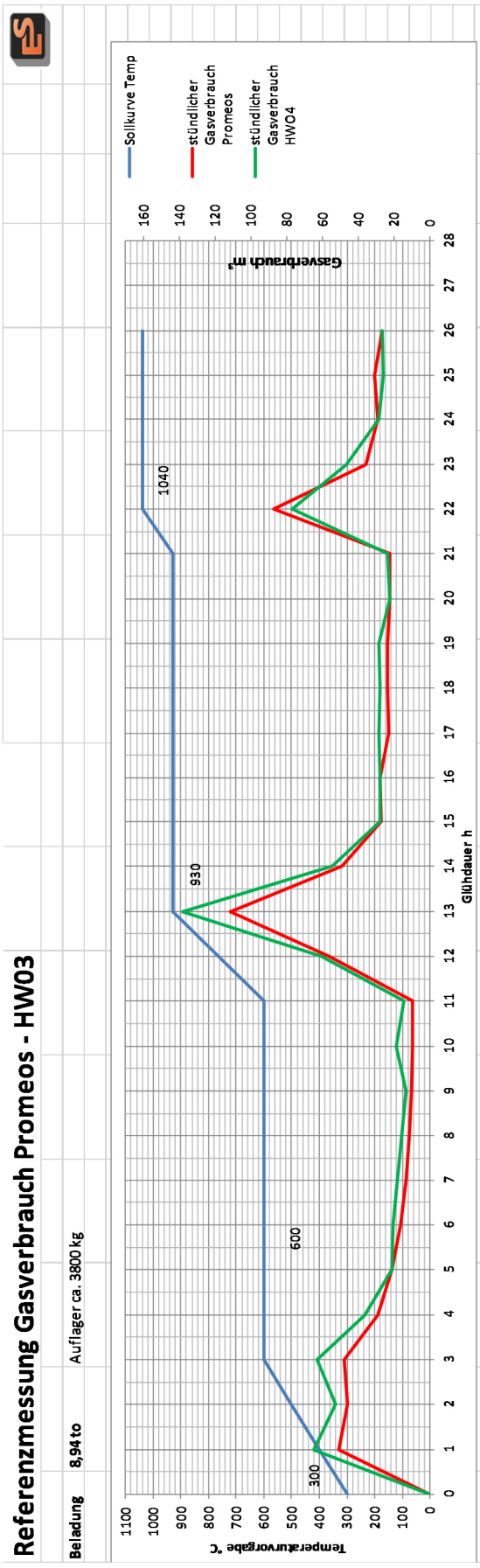
Tabelle 5: Referenzmessung Promeos am 14.10.2015 Leerfahrt

Referenzmessung Gasverbrauch Promeos

Leerfahrt



	Zählerstände m³														
Versuch1	**Aufheizphase 600°C**		**Haltezeit 600°C**		**Aufheizphase 930°C**		**Haltezeit 930°C**		**Aufheizphase 1040°C**		**Haltezeit 1040°C**		Strom		
	Beginn	**Ende**	**Beginn**	**Ende**	**Beginn**	**Ende**	**Beginn**	**Ende**	**Beginn**	**Ende**	**Beginn**	**Ende**			
Promeos	100511,55	100592,6	100592,6	100681,2	100681,2	100776,8	100776,8	100992,1	100992,1	101050	101050	101182,5	15KW	Summe	670,95
Verbrauch	81,05		88,6		95,6		215,3		57,9		132,5				



Versuch2	Zählerstände m³												Strom	
	Aufheizphase 600°C		Haltezeit 600°C		Aufheizphase 930°C		Haltezeit 930°C		Aufheizphase 1040°C		Haltezeit 1040°C			
	Beginn	Ende	Beginn	Ende	Beginn	Ende	Beginn	Ende	Beginn	Ende	Beginn	Ende		
Promeos	101183	101327,1	101327,1	101448,9	101448,9	101616,9	101616,9	101836,4	101836,4	101923,4	101923,4	102046	15KW	Summe 863 m³
Verbrauch	144,1		121,8		168		219,5		87		122,6			
HWO 3	735851,4	736032,3	736032,3	736191,3	736191,3	736390,4	736390,4	736631,7	736631,7	736708,5	736708,5	736836,4	7KW	
Verbrauch	180,9		159		199,1		241,3		76,8		127,9			Summe 985 m³
P/HWO3 %	79,7		76,6		84,4		91,0		113,3		95,9			87,61%

Tabelle 6: Referenzmessung HW03 und Promeos am 14.10.2015 Beladung 8,94 Tonnen, Auflager 3,8 Tonnen

Vergleicht man den Promeos-Ofen mit dem Herdwagenofen 3 (HW03), kommt man zu folgenden Ergebnis. Dabei haben wir eine Bewertung dahingehend vorgenommen, das wir diesen Vergleich einmal für aktives Glühgut (Bauteile) und einmal für aktives und passives Glühgut (Bauteile + Auflager + Leitbleche) aufgestellt haben.

Der Erdgasverbrauch beim Promeosofen beträgt 97 m^3/t aktives Glühgut gegenüber 110 m^3/t beim HW03. Prozentual bedeutet dies eine Einsparung von 11,82 %. Bei einem Umrechnungsfaktor (1m^3 Erdgas = 11,27 kWh (Okt. 2015)) errechnet sich ein Erdgasverbrauch beim Promeosofen von 1.093,19 kWh/t aktives Glühgut gegenüber 1.239,70 kWh/t aktives Glühgut beim HW03.

Bezogen auf das aktive Glühgut und unter der Berücksichtigung einer Jahrestonnage von 3.500 Tonnen bzw. 1.550 Tonnen stellen sich die Energieverbräuche bzw. die CO_2-Mengen (1 kWh = 202 g CO_2) der beiden Öfen wie folgt dar:

	HW03 aktives Glühgut	Promeos aktives Glühgut	Δ HW03 - Promeos
3.500 t/a	4.338.350 kWh/a	3.637.165 kWh/a	701.785 kWh/a
	876,36 t/a CO_2	734,71 t/a CO_2	141,75 t/a CO_2
1.500 t/a	1.921.535 KWh/a	1.694.445 kWh/a	227.090 kWh/a
	388,15 t/a CO_2	342.28 t/a CO_2	45,87 t/a CO_2

Tabelle 7: Energieverbräuche und CO_2-Mengen HW03 und Promeos bei einer Jahrestonnage von 3.500 Tonnen bzw. 1.550 Tonnen

Bezogen auf das aktive Glühgut benötigt der Promeosofen im Verhältnis zum HW03 88 % der Energiemenge und unter Berücksichtigung des passiven Glühgutes 83 % der Energiemenge. Die nachfolgende Tabelle 8 verdeutlicht diese Zusammenhänge.

	m^3/to aktives Glühgut	**m^3/to aktiv+passives Glühgut**
Promeos	97	68
HWO3	110	82
Pr/HWO3 %	88	83

Tabelle 8: Referenzmessungen HW03 versus Promeosofen

Bei diesme Vergleich müssen aber die Ofenabmessungen mit berücksichtigt werden, die wir nachfolgend dokumentieren:

Abmessungen Wärmebehandlungsöfen - ES Schmees Pirna

Lichte Ofenmaße

	HWO III - Bayer	HWO IV - Bayer	HWO I - Promeos
Länge m	4,0	5,0	4,20 (4,8)
Breite m	3,3	3,3	2,75 (3,3)
Höhe m	3,0	3,0	3,10 (3,15)

Nutzabmessungen

	HWO III - Bayer	HWO IV - Bayer	HWO I - Promeos
Länge m	3,0	4,0	3,8 (4,0)
Breite m	2,5	2,5	2,35 (2,5)
Höhe m	2,5	2,5	2,5 (2,5)

Ofenvergleich

	HWO III - Bayer	HWO IV - Bayer	HWO I - Promeos
Ofenvolumen ca. m³	40	50	35
Nutzvolumen ca. m³	19	25	22
Innenfläche ca. m²	70	83	66

Ofenvolumen HWO I Promeos / HWO III Bayer: 35/40 m³ 87,5 %

Innenfläche HWO I Promeos / HWO III Bayer: 66/70 m² 94,3 %

Tabelle 9: Abmessungen der Wärmebehandlungsöfen HW03, HW04, Promeos

Vom 9.06.2015 bis zum 8.10.2015 wurde der Promeos-Ofen mit Gussteilen (Gesamtmenge: 191.100 kg) beladen und Messungen vorgenommen.

Die Betriebsdauer während des Promeos Herdwagenofens betrug:

Aufheizzeit: 404 h
Haltezeit: 702 h

Aufsummiert ergbit sich eine Betriebdauer von 1.106 h / (18 Wochen). Hochgerechnet auf ein Jahr entspricht dies 3.195 h/a (52Wochen = Jahr).

Die nachfolgen Tabelle 10 gibt auszugsweise einen Überblick über die Ofenbeladungen während des Messzeitraums mit den erfassten Parametern.

Die Auswertung der einzelnen Ofenbeladungen im Messzeitraum führt zu dem nachfolgenden Ergebnisen:

Tabelle 10: Ofenbeladungen im Meszeitraum 9.06. - 8.10.2015 Promeosofen

Ofen Nr.	Datum	Glühung	Temp. In °C	Starttemp. In °C	Aufheizzeit in h	Haltezeit in h	Abkühlung Medium	guter Guss in kg	Mulden in kg	Beladung alles in kg	Passives Glühgut, Auflager... Kg	Gas Start in m³	Gas Ende in m³	Gasverbrauch in m³	Gas m³/To. Gesamt(Guss/Aufl/Mulden)	Gas m³/To. nur guter Guss	Verhältnis Guter Guss/komplettes Glühgut ohne Auflager
Promeos	09.06.2015	Normalgl.	950	300	8	6	Luft	5.700	3.200	8.900	3.800	107.249,6	107.893,6	644	72,36	112,98	0,64
Promeos	25.06.2015	Normalgl.	940	300	8	8	Luft	5.800	0	5.800	3.800	112.773,5	113.362,4	588,9	101,53	101,53	1,00
Promeos	29.06.2015	Normalgl.	950	300	7	8	Luft	6.000	0	6.000	3.800	114.042,6	114.591,3	548,7	91,45	91,45	1,00
Promeos	30.06.2015	Normalgl.	940	300	8	8	Luft	8.000	0	8.000	3.800	114.769,0	115.382,8	613,8	76,73	76,73	1,00
Promeos	19.07.2015	Normalgl.	950	300	14	10	Luft	5.000	0	5.000	3.800	115.382,8	116.162,7	779,9	155,98	155,98	1,00
Promeos	24.07.2015	Normalgl.	930	300	7	12	Luft	4.600	0	4.600	3.800	116.535,2	117.232,3	697,1	151,54	151,54	1,00
Promeos	28.07.2015	Normalgl.	950	300	10	9	Luft	3.800	1.700	5.500	3.800	117.593,7	118.253,0	659,3	119,87	173,50	0,69
Promeos	29.07.2015	Normalgl.	930	300	8	7	Luft	1.500	1.700	3.200	3.800	118.253,0	118.773,0	520	162,50	346,67	0,47
Promeos	29.07.2015	Normalgl.	930	300	7	11	Luft	4.800	1.700	6.500	3.800	118.773,0	119.457,3	684,3	105,28	142,56	0,74
Promeos	03.08.2015	Normalgl.	890	300	8	17	Luft	9.000	0	9.000	3.800	120.476,0	121.269,5	793,5	88,17	88,17	1,00
Promeos	10.08.2015	Normalgl.	930	300	8	8	Luft	5.400	1.700	7.100	3.800	121.620,1	122.266,6	646,5	91,06	119,72	0,76
Promeos	11.08.2015	Normalgl.	950	300	10	14	Luft	7.400	0	7.400	3.800	122.266,6	123.149,7	883,1	119,34	119,34	1,00
Promeos	20.08.2015	Normalgl.	930	300	8	12	Luft	7.800	1.700	9.500	3.800	124.544,6	125.285,0	740,4	77,94	94,92	0,82
Promeos	21.08.2015	Normalgl.	870	300	8	13	Luft	7.200	0	7.200	3.800	125.285,0	125.930,5	645,5	89,65	89,65	1,00
Promeos	22.08.2015	Normalgl.	950	300	8	13	Luft	2.800	1.700	4.500	3.800	125.930,5	126.773,8	843,3	187,40	301,18	0,62
Promeos	03.09.2015	Normalgl.	930	300	6	14	Luft	5.400	3.400	8.800	3.800	127.462,1	128.271,1	809	91,93	149,81	0,61
Promeos	07.09.2015	Normalgl.	950	300	7	8	Luft	2.800	1.700	4.500	3.800	129.112,0	129.753,1	641,1	142,47	228,96	0,62
Promeos	11.09.2015	Normalgl.	930	300	6	7	Luft	2.000	3.400	5.400	3.800	130.798,0	131.318,5	520,5	96,39	260,25	0,37
Promeos	15.09.2015	Normalgl.	930	300	6	8	Luft	7.700	0	7.700	3.800	132.158,1	132.768,0	609,9	79,21	79,21	1,00
Promeos	16.09.2015	Normalgl.	950	300	6	8	Luft	5.500	1.700	7.200	3.800	132.768,0	133.421,4	653,4	90,75	118,80	0,76
Promeos	18.09.2015	Normalgl.	930	300	6	7	Luft	6.300	3.400	9.700	3.800	133.846,2	134.458,1	611,9	63,08	97,13	0,65
Promeos	21.09.2015	Normalgl.	950	300	6	8	Luft	9.500	0	9.500	3.800	134.931,1	135.633,0	701,9	73,88	73,88	1,00
Promeos	23.09.2015	Normalgl.	930	300	6	7	Luft	4.500	3.400	7.900	3.800	135.924,8	136.511,1	586,3	74,22	130,29	0,57
Promeos	25.09.2015	Normalgl.	930	300	6	8	Luft	4.400	0	4.400	3.800	136.861,9	137.421,1	559,2	127,09	127,09	1,00
Promeos	05.10.2015	Normalgl.	930	300	6	8	Luft	9.300	0	9.300	3.800	138.649,5	139.248,5	599	64,41	64,41	1,00
Promeos	06.10.2015	Normalgl.	930	300	6	7	Luft	5.000	0	5.000	3.800	139.268,5	139.803,4	534,9	106,98	106,98	1,00
Promeos	07.10.2015	Normalgl.	930	300	6	7	Luft	5.500	1.700	7.200	3.800	139.803,4	140.365,2	561,8	78,03	102,15	0,76
Promeos	08.10.2015	Normalgl.	930	300	6	7	Luft	5.400	0	5.400	3.800	140.365,2	140.911,0	545,8	101,07	101,07	1,00

Auswertung Gasverbrauch 09.06. bis 14.10.2015

Komplette Übersicht - ungefiltert

komplett	Ø Temperatur	Tonnage guter Guss	Tonnage mit Mulden	Tonnage aktiv + passiv	Ø Aufheizzeit	Ø Haltezeit	Gasverbrauch	Gas	Gas	Gas
	°C	kg	kg	kg	h	h	m³	m³/t guter Guss	m³/t incl. Mulden	m³/t aktiv + passiv
HWO III	790	439650	678350	1048870	5,8	8,4	51739	118	76	49
HWO IV	872	512000	696500	1092140	6,9	8,7	65360	128	94	60
Promeos	783	320800	379700	626700	6,2	10,8	31425	98	83	50

Komplette Übersicht - gefiltert Temperaturklassen

			Tonnage mit Glühmulden	Tonnage aktiv + passiv	Ø Aufheizzeit	Ø Haltezeit	Gasverbrauch	Gas	Gas	Gas
	°C	kg	kg	kg	h	h	m³	m³/t guter Guss	m³/t incl. Mulden	m³/t aktiv + passiv
HWO III	659	275950	408350	628150	5,4	9,7	25107,9	91	61	40
HWO IV	644	191900	259200	406152	5,7	9,1	12865	67	50	32
Promeos	635	162700	188600	317800	5,3	12,6	11648	72	62	37

>750-1040°C	Ø Temperatur	Tonnage guter Guss	Tonnage mit Mulden	Tonnage aktiv + passiv	Ø Aufheizzeit	Ø Haltezeit	Gasverbrauch	Gas	Gas	Gas
	°C	kg	kg	kg	h	h	m³	m³/t guter Guss	m³/t incl. Mulden	m³/t aktiv + passiv
HWO III	943	137100	219300	332340	6,6	6,8	19080,8	139	87	57
HWO IV	947	215950	299350	453838	7,8	7,9	28933	134	97	64
Promeos	944	158100	191100	308900	7,2	8,8	19777	125	103	64

>1040-1130°C	Ø Temperatur	Tonnage guter Guss	Tonnage mit Mulden	Tonnage aktiv + passiv	Ø Aufheizzeit	Ø Haltezeit	Gasverbrauch	Gas	Gas	Gas
	°C	kg	kg	kg	h	h	m³	m³/t guter Guss	m³/t incl. Mulden	m³/t aktiv + passiv
HWO III	1088	26600	50700	88380	6,2	6,2	7551	284	149	85
HWO IV	1110	104150	137950	232150	7,3	7,3	23562	226	171	101
Promeos	keine Anwendung		-		-	-	-	-	-	-

15.10.2015 M. Hübner

Passives Glühgut

Promeos:

60x Einlegble	4,75kg	285		
75x Vorhang	1,3kg	97,5		
		3742,5	div. Bleche	**3800kg**

Tabelle 11: Auswertung der Messungen Komplette Übersicht und gefiltert nach Temperaturklassen

Umweltziel: Emissionsmessung

In der KW 06 2014 fand eine erste Emissionsmessung in der Haltphase bei 930°C statt, die in der nachstehenden Tabelle 12 dokumentiert ist.

λ	$No_{x\ /ppm}$	$CO_{/ppm}$
2,28	27	0
2,53	24	0
2,21	29	0
2,21	30	0
2,59	23	0

Tabelle 12: Emissionsmessung KW 06 2014

Die CO-Emissionen sind praktisch Null und die Stickoxidemissionen entsprechen bei einem Bezugswert von 5% O_2:

Mittelwert l=2,36, Mittelwert NO_xmeß=27ppm

NO_x5%=104mg/m³ nach TA-Luft beträgt der Grenzwert für Wärme- und Wärmebehandlungsöfen 500mg/m³, im Lastenheft wurde ein Wert von 350mg/m³ angestrebt.

Bein der ersten Abnahmemessung des Ofens in der 9. KW 2014 wurden während der Haltephase bei der höchsten Temperatur (1.040°C) auch Messungen der NO_x und CO-Emissionen durchgeführt. Dabei wurde an unterschiedlichen Stellen im Abgasweg gemessen, was sich in den untereinander abweichenden Luftzahlen ausdrückt.

Emissionsmessung Abnahme Schmees Ofen am 27.02.14					
Ofen: leer				bezogen auf 5%O_2	
λ/1	O_2/%	$NO_{xmeß}$/ppm	$CO_{meß}$/ppm	NO_x/(mg/m³)	CO/(mg/m³)
1,43	6,7	62	0	142	0
2,26	12,1	30	0	111	0
1,35	5,7	75	0	161	0
1,50	7,3	61	0	146	0
2,10	11,5	32	0	111	0
			Mittelwert:	134	
Ofen: beladen				bezogen auf 5%O_2	
λ/1	O_2/%	$NO_{xmeß}$/ppm	$CO_{meß}$/ppm	NO_x/(mg/m³)	CO/(mg/m³)
2,00	10,9	41	0	134	0
1,45	6,8	75	0	173	0
1,42	6,6	88	0	201	0
1,63	8,5	57	0	150	0
1,98	10,8	36	0	116	0
			Mittelwert:	155	
	Mittelwert beider Meßreihen:			**145**	

Tabelle 13: Emissionsmessung vom 27.02.2014

Die CO-Emissionen waren aufgrund der sauberen Verbrennung und der hohen Temperatur praktisch nicht nachzuweisen. Die NOx Emissionen, die bei steigender Ofenraumtemperatur ja

exponentiell zunehmen, lagen alle deutlich unterhalb der Anforderung der TA-Luft von 500 mg/m^3 und ebenso deutlich unter den im Lastenheft genannten Zielwert von 350 mg/m^3.

Der Mittelwert von 145 mg/m^3 unterschritt die Lastenheftanforderung um fast 59 % und lag um den Faktor 3,5 unterhalb der Anforderung nach der TA-Luft.

Das Institut für Luft- und Kältetechnik Dresen gGmbH hat am 4. Juni 2014 eine von der Fa. Schmees beauftragte erstamlige Emissionmessung vorgenommen. Der ausführliche Bericht findet sich im Anhang zu diesem Abschlussbericht. Nachfolgend skizzieren wir an dieser Stelle die Ergebnisse der Messung.

Die verwendeten Messstellen für die Ermittlung von Schadstoffen und Abgasrandparameter sind in der nachfolgenden Tabelle 14 aufgeführt:

Emissions-quelle	Lage des Mess-querschnitts	Einlaufstrecke	Auslaufstrecke	Geschwindigkeits- und Strömungsverhältnisse
E 3.1	Messbühne ca. 3 m oberhalb der Dachfläche des Vordachs mit senkrecht Verlaufendem Abgasrohr	2,0 x $D_{hydr.}$ (3,6m) < 5 x d	5,2 x $D_{hydr.}$ (4,7 m) (Gegen freie Atmosphäre)	u. g. Kriterien nach DIN EN 15259 wurden erfüllt;
Die Messungen erfolgten im senkrecht verlaufenden Abgasschlot in der Messebene ca. 3 m über Dach. Das Dach wurde über einen Leiteraufstieg am Schlot erreicht. Die Messtechnik wurde ebenerdig unterhalb der Messebene aufgebaut.				

Tabelle 14: Verwendete Messtellen Emissionsmessung 4. Juni 2014

In der Tabelle 15 sid die Messergebnisse der untersuchten Emissionsquelle dargestellt. Am promeos Ofen (E 3.1) liegen nur geringe Belastungen des Abgases mit NOx vor (vgl. Tabelle 15, Spalte 1). Jedoch werden die Messerte durch die hohen Sauerstoffkonzentrationen im Abgas verdünnt und nach Umrechnung auf 5 Vol.-% Bezugssauerstoff deutlich erhöht.

Spalte	1	2	3
Messung Nr.	NO_X	NO_X	NO_X
	[mg/m^{3}i.N.tr.]	[mg/m^{3}i.N.tr. 5 Vol.-% O_2]	[g/h]
1 (Aufheizen)	18,5	177,9	1178
2 (stationärer Betrieb)	35,5	242,5	2757
3 (stationärer Betrieb)	391	251,4	2988
4 (stationärer Betrieb)	39,7	234,6	2802
4 (Halten)	48,1	254,5	3027
Mittelwerte	36,2	232,2	2550

Tabelle 15: Messergebnisse Emissionsmessung 4. Juni 2014

Der nach Umrechnung auf 5 Vol.-% Bezugssauerstoff ermittelte NO_x-Mittelwert beträgt 232,2 mg/m^{3}i.N.tr..

Wie zuvor berichtet, betrug der Erdgasverbrauch beim Promeosofen 97 m^3/t aktives Glühgut gegenüber 110 m^3/t beim HW03. Auf Basis von 3.500 bzw. 1.550 Jahrestonnen errechnen sich die Erdgasverbräuche de jeweiligen Herdwagenöfen wie folgt:

<u>3.500 Jahrestonnen</u>
Promeos Herdwagenofen: 339.500 m^3/a
Herdwagenofen 3: 385.000 m^3/a

<u>1.550 Jahrestonnen</u>
Promeos Herdwagenofen: 150.350 m^3/a
Herdwagenofen 3: 170.500 m^3/a

Rechnet man den Herdwagenofen 3 auf Basis des Grenzwertes für NO_x gemäß TA-Luft (500 mg/m^3) errechnet sich für 3.500 t/a eine Jahresmenge von 192,5 kg/a NO_x bzw. für 1.550 t/a eine Jahresmenge von 85,3 kg/a NO_x. Demgenüber steht für den Promeos Herdwagenofen auf Basis der durchgeführten Messung (NO_x-Mittelwert beträgt 232,2 mg/m^3i.N.tr..) bei einer Jahrestonnage von 3.500 Tonnen eine Jahresmenge von 78,83 kg/a NO_x bzw. für 1.550 t/a eine Jahresmenge von 34,9 kg/a NO_x. Die Einsparung beträgt unter diesen Annahmen 113,67 kg/a NO_x bzw. 50,4 kg/a NO_x.

Für die Interpretation der Ergebnisse müssen jedoch folgende Punkte beachtet werden:

- Der Promeos Ofen besitzt einen wesentlich kleineren Ofenraum,
- Der Promeos Ofen wurde überwiegend für längere Glühdauern genutzt (bei denen der hohe Gasverbrauch in der Aufheizphase relativiert wird),
- Beim Promeos Ofen wurde der Herdwagen zusätzlich thermisch entkoppelt,
- Der Promeos Ofen ist besser und neu isoliert.

Lässt man diese Fakten und auch den geringen Anteil an statistisch erfassten Glühdaten, aufgrund von vielen Problemen technischer Art am Promeos Ofen in die Effizienzanalyse einfließen, kann man nur zum Schluss kommen, dass die Ergebnisse statistisch nicht ausreichend gesichert dargestellt werden können.

Es sind zukünftig weitere Aufzeichnungen über noch längere Zeiträume notwendig.

3.3 Umweltbilanz

Die Umweltbilanz bei Antragstellung bezog sich auf eine Jahresproduktionsmenge von 3.500 t/a. In 2015 betrug die tatsächliche Produktionsmenge aufgrund der Marktgegebenheiten 1.550 t/a. Die nachfolgende Tabelle 16 stellt die bei Antragstellung prognostizierten Werte den tatsächlich gemessenen Werten bei den jeweilgen Produktionsmangen gegenüber.

Umweltmedien (Energie, Rohstoffe)	Einsparung bei Antragstellung	Einsparung nach Messung 3.500 t/a Guss	Einsparung nach Messung 1.550 t/a Guss
Erdgas in kWh/a	1.016.047	701.785	227.090
CO_2 in t/a	247	142	45,87
NO_x in kg/a	197	113,67	50,4

Tabelle 16: Erwartete und tatsächlich erreichte Umweltentlastungen, bezogen auf eine Produktionsleistung von 3.500 t/a bwz. 1.550 t/a

Die Gründe für die Abweichung lassen sich, gemäß Angaben der Fa. Promeos, wie folgt zusammenfassen:

Ein vollständiger energetischer Vergleich unterschiedlicher Brennersysteme erfordert die Erfassung und Verknüpfung dreier Datenarten:

d) Der einfach zu messende Energieverbrauch, welcher für den jeweiligen Ofen anfällt, um die SOLL Temperaturkurve als Funktion der Zeit abzufahren. Dies wurde vollständig durchgeführt.
e) Die Berücksichtigung der Art und des Ortes der erfassten IST Temperaturen, nach welchen die Ofenbefeuerung geregelt wird. Hier gibt es aus dem Alltag und der langen Projektdauer resultuierende Unterschiede der Temperaturerfassung, die einer Interpretation bedürfen.
f) Die besondere Würdigung der gestellten Aufgabe, nämlich erstmalig einen Hochtemperaturindustrieofen nach Elektronorm auszuführen und die mit E-Heizung einfach realisierbare sehr hohe Temperaturhomogenität mit Gasbrennern abzubilden. Vor allem diese Anforderung lässt sich nur mit der Verwendung von impulsarmen Flächenbrennern hoher Leistungsmodulation erfüllen. Der konventionelle Vergleichsofen kann und musste diese Anforderung nie erfüllen, daher hinkt jeder Vergleich, der Aussagen zur Energieeffizienz ohne Berücksichtigung der Temperaturhomogenität auf beliebig geformten Bauteilen in einem nahezu beliebig beladenen Ofen bei hohen Zieltemperaturen.

Es ist allerdings auch festzuhalten, dass die für die Berücksichtigung dieser Charakteristik notwendige Messtechnik (integrale Hochtemperaturmessung auf Freiflächen großer Ausdehnung) unseres Wissens nicht verfügbar ist. Jedoch kann aus den marktetablierten promeos Pfannenfeuern im Vergleich mit konventionellen Freiflammenfeuern auf die extrem hohe und unübertroffene Temperaturhomogenität des promeos Beheizungsansatzes rückgeschlossen werden. Im Jahr 2015 wurde für das promeos Pfannenfeuer für eine 50t Eisenpfanne gemäß a) eine Energieeinsparung von 20% ermittelt. Unter Verwendung einer flächenintegrierenden Hochtemperaturkamera konnte der Effekt unter Berücksichtigung von c) mit über 50% Energieeinsparung nachgewiesen werden, denn mittels dieser Messung wurde es legitim, auf niedrigere SOLL Temperaturen zu regeln, ohne die geforderten Mindesttemperaturen irgendwo zu unterschreiten. Dies war dort messtechnisch möglich, da die zu vermessenden Flächen einfache Zylinder bzw. Kegelstümpfe gleichbleibender Oberflächenbeschaffenheit waren.

Dies beantwortet auch die Frage, warum wir bisher die anvisierten 30% Energieeinsparung nicht nachweisen konnten.

3.4 Wirtschaftlichkeitsanlayse

Zum Zeitpunkt der Antragstellung

Bei einem um 1.016.047 kWh/a reduzierten Gasverbrauch, bezogen auf einer jährlichen Produktionsmenge von 3.500 Tonnen, ergibt sich bei einem Arbeitspreis von 3 Cent/kWh eine jährliche Einsparung an Gasverbrauchskosten in Höhe von 30.481,-€.

Die Einsparungen aufgrund der nicht mehr beschädigten Auflager im Herdwagenofen lassen sich per anno mit ca. 28.800 € festhalten. Aufgrund der geringeren Belastung der Isolierung und der Auflager sind weniger Zeiten für Umbau und Reparaturen zu erwarten, der daraus resultierende Produktivitätsgewinn wird mit ca. 12.500 € abgeschätzt.

Es sind Kosteneinsparungen durch geringere Verzunderungen auf Grund des Porenbrennereinsatzes denkbar. Dies kann zu einer Reduzierung der Nachbearbeitungs-aufwendungen führen. Eine Reduktion der Nachbearbeitung um nur 150 h/a (das entspricht einer

Reduktion von 2,6 min pro t Guss im Jahr) bei einem Verrechnungssatz von 30 € würde eine Reduktion von 4.500 € ergeben. Außerdem ist durch die homogenere Temperatur im Ofenraum eine Zeiteinsparung im Glühprozeß bei verschiedenen Glühverfahren möglich. Beispielsweise kann alleine durch eine Reduktion der Brennerlaufzeit aufgrund von verkürzten Glühprozessen um 10 % eine jährliche Einsparung von fast 9.000 € erzielt werden.

Eine detailliertere Bezifferung der Einsparungen ist nur sehr schwer möglich. Die Bandbreite der Einsparungen könnte sich aus den zuvor genannten Gründen zwischen 10 – 45 T € bewegen.

Bei der nachfolgenden Berechnung der Amortisationszeit auf Basis der erwarteten Einsparungen zum Zeitpunkt der Antragstellung handelte es sich um eine statische Betrachtung. Änderungen der Energiepreise im Zeitablauf sind nicht eingeflossen. Vor dem Hintergrund der Neuartigkeit des Ofens konnten Produktivitätsgewinne nicht detailliert bestimmt werden können.

Amortisationsrechnung (Kapitalrückfluss-, Pay back Methode)

Anschaffungskosten [€]:	652.000
Restwert [€]:	0
Nutzungsdauer [a]:	10
Kalkulatorischer Zins [%]:	4
Kalkulatorische Abschreibung [€]:	65.200
Jährliche Einsparung [€]:	116.781
Kapitalkosten [€]:	**78.240**
Jährliche Kosteneinsparung:	38.541
Amortisationszeit [a]:	**6,3**

Tabelle 17: Statische Amortisationszeit bei Antragstellung unter der Berücksichtigung einer Produktionsmenge von 3.500 t/a

Nach Durchführung des Vorhabens

Bei einem um 701.785 kWh/a kWh/a reduzierten Gasverbrauch, bezogen auf einer jährlichen Produktionsmenge von 3.500 Tonnen, ergibt sich bei einem Arbeitspreis von 3,33 Cent/kWh eine jährliche Einsparung an Gasverbrauchskosten in Höhe von 23.369,44 €.

Die Auflager verschleißen mindestens im gleichen Maße wie bei konventionellen Öfen, sie sind aber durch die zusätzlich notwendigen Bleche (Blechbodensatz) wesentlich teuerer. Wir gehen hier von Mehrkosten i.H.v. 16.000 €/a gegenüber den konventionellen Herdwagenöfen aus.

Eine reduzierte Verzunderung von Bauteilen konnte nicht festgestellt werden. Die angesetzten 4.500 € entfallen. Die Glühprozesse müssen aufgrund der längeren Durchwärmzeit (Soaking Time) des Glühgutes um 2-3 h verlängert werden. Auch hier entstehen statt geschätzten Einsparungen von 9.000 € eher Mehrkosten.

Durch den technisch wesentlich komplizierteren Aufbau des Promeos Ofens mit z.B. 12 anstatt 3 Regelthermoelementen gehen wir bezüglich eines Mehraufwandes für die Kalibrierung der Thermoelemte am Promeos Ofen i.H.v. 5.000 €/a aus. Durch die nahe Lage der Thermoelemente am Glühgut kam es bereits während des Messprogramms zur mechanischen Beschädigung (Bruch) von 4 Thermoelementen, die ersetzt werden mussten. Die Kosten dafür betrugen ca. 1.500 €.

Seitens der Fa. Promeos sind die nachfolgenden Aussagen zum Thema Instandhaltungskosten gemacht worden:

Wir können Ihnen nur Schätzwerte liefern, da der Verschleiß unter anderem abhängig ist von Dauer und Zieltemperatur der Glühungen und der Achtsamkeit im Umgang mit dem Ofen. Des Weiteren wurden bisher noch keine Teile wegen Verschleiß getauscht.

Zur Kalibrierung der Messstrecke hat oder hatte nach Ihrer Auskunft die Firma Schmees selbst ein Gerät um den Fehler festzustellen, die Kosten dafür könnten Sie besser überschlagen. Thermoelemente sind nicht kalibrierbar, es kann nur eine Abweichung von realen Wert in einem genormten Ofen dokumentiert werden. Dieser ist laut Hersteller vor allem abhängig von Ofenatmosphare, Absoluttemperaturen und Temperaturgradienten beim Aufheizen und Abkühlen. Daher sollten Sie sich hier nach den Erfahrungswerten richten die Sie von den Bayer-Öfen kennen. Wenn Sie aber jährlich die Normkonformität nachweisen müssen, können im Zuge dessen die Thermoelemente auf die korrekte Ofentemperatur eingestellt werden.

Wird eine jähliche Wartung von promeos (ca. 16h Techniker, zzgl. Reisezeit, Fahrtkosten Pirna und zwei Übernachtungen) durchgeführt, können sie aber vorraussichtlich mit Austauschzyklen von etwa 3-5 Jahren und den folgenden Preisen rechnen:

- Zündbrenner: ca. 450 €/Stück
- Vorhänge (verwendet seit KW09-2014) modular wechselbar: Gesamtkosten ca. 6.000 €
- Blechbodensatz (verwendet seit KW05-2015) modular wechselbar: Gesamtkosten ca. 14.000€

Wie man diesen Ausführungen entnehmen kann, sind zum jetzigen Zeitpunkt noch keine seriösen Aussagen zur statischen Amortisationsdauer möglich. Die bei Antrasgstellung erwarteten sonstigen Einsparungen sind nicht eingetreten und die tatsächliche Energieeinsparung bleibt hinter der erwarteten Energieeinsparung zurück. Im Ergebnis bedeutet dieses, das die bei Antragstellung in Aussicht gestellte Amortisationszeit deutlich verfehlt wird.

Der ursprünglich budgetierte Investitionsansatz in Höhe von 652.000 € wurde für das Projekt durch die tatsächlichen Kosten in Höhe von 644.672,60 € unterschritten.

3.5 Technischer Vergleich zu konventionellem Verfahren

Nachfolgende Aspekte zeichnen die innovative Technik gegenüber dem Stand der Technik aus:

Bei heutigen modernen Öfen kommen entweder Brenner, die zur Senkung der Emissionen mit sehr hohem Impuls Richtung Ofenraum arbeiten oder sogenannte Flachflammenbrenner zum Einsatz, die nun die Nachteile der obigen Impulsbrenner vermeiden sollen und mittels der im Bereich der Brenner an den Ofenwandungen anliegenden Flammen eine bessere Homogenisierung, d. h. eine gleichmäßigerer Erwärmung des Gutes bewirken sollen. Dazu wird der Austrittsimpuls des Brenners tangential umgeleitet und es bildet sich eine trichterförmige Flamme aus, die zumeist in speziell gestalteten Brennersteinen sich ausbildet. Letztendlich wird damit versucht eine Flamme bzw. im Ofen viele Flammen zu generieren, die eine möglichst große Fläche parallel zu dem Gut, d. h. zu den Ofenwänden bilden. Kombiniert wird diese Brennertechnik mit einer modernen Steuer- und Regeltechnik und verbesserten Dichtungssystemen an den Ofen betreffend. Mit dieser Technik lassen sich beim Glühen oder Härten an einfachen Geometrien, d. h. symmetrischen Werkstücke mit einer glatten Oberfläche, wie z. B. einer Walze, schon die Temperaturunterschiede im Gut auf +/- 2,5°C reduzieren.

Der Porenbrenner zeichnet sich dadurch aus, dass die gesamte Umsetzung des Brennstoffes in einer nur 15 mm dicken porösen Keramik stattfindet. Dies bedeutet zunächst einmal, dass es keinerlei offene Flammen gibt, die in den Ofenraum hinein brennen. Deshalb sind auch keinerlei

Maßnahmen zum Schutz des Gutes vor den Flammen notwendig. Im Gegensatz zu den üblichen Einzelbrennern, die mit hohem Impuls in den Ofenraum hinein brennen, lässt sich der Porenbrenner z. B. als Linie gestalten, aus der über fast die gesamte Ofenlänge ein gleichmäßig verteilter heißer Gasstrom mit relativ niedriger Geschwindigkeit austritt. Darüber hinaus koppelt die glühende Keramik auch noch einen Teil der Energie mittels Festkörperstrahlung direkt in das zu beheizende Gut ein. In Verbindung mit der möglichen hohen Leistungsmodulation der Porenbrenner kann die Energie gezielt und genau dosiert in die Werkstücke eingebracht werden.

4. Empfehlungen

4.1 Erfahrungen aus der Praxiseinführung

Die Erfahrungen zur Praxiseinführung wurden aureichend im Kapitel 3.1 beschrieben. Von Seiten der Fa. Schmees und der Fa. Promeos wurde ein extrem hoher Personalaufwand, Gasverbrauch für Probeglühungen und Materialaufeinsatz für Auflager und Bleche erbracht, um diese neue Technologie in die Anwendung zu überführen. Dieses wurde vor dem Start des Projektes extrem unterschätzt.

4.2 Modellcharakter

Das hier vorgestellte Anlagenkonzept ist auf die Mehrzahl aller metallverarbeitenden Betriebe mit Glühprozessen weltweit übertragbar. Gemäß den Angaben der Fa. Promeos beträgt in Deutschland die Zahl der potenziellen Anwender 175 Härtereibetriebe.

Zum Zeitpunkt der Antragstellung hat eine Marktrecherche von promeos ein Potenzial von wenigstens 90 Anlagen in Deutschland ergeben.

4.3 Zusammenfassung

Mit dem Erwerb eines Herwagenofens der Fa. Promeos wurde der erste großtechnische Einsatz eines energieeffizienten Herdwagenofens für den Temperaturbereich von 600 °C bis zu 1.100 °C für ein Füllgewicht bis 16.000 kg realisiert. Dieser Ofen zeichnet sich dadruch aus, dass er mit Porenbrennern optimal bestückt ist, um so die besten Bedingungen für die Wärmebehandlung des Gutes, welches in unterschiedlichster Form und Ausführung vorliegt, zu erzielen.

Die Ergebnisse des Vorhabens wurden über eine Referenzmessung des Gasverbrauchs des neuen Ofens und eines bestehenden Ofens sowie mit einem viermonatigen Messprogramm ermittelt. Zudem wurde eine Emissionsmessung durchgeführt, um die NOx-Belastung zu ermitteln. In 2015 betrug die Produktionsmenge 1.550 Tonnen Guß.

Die wesentlichen Umwelteffekte ergeben sich aus der Einsparung

- von Primärenergie in Höhe von 227.090 kWh/a Erdgas (11,82 %) im Glühprozess,
- aus der jährlichen Einsparung von 45,87 Tonnen CO_2 –Äquivalenten.
- Reduzierung des NO_x Ausstoßes um bis zu 50,4 kg/a.

Der ursprünglich budgetierte Investitionsansatz in Höhe von 652.000 € wurde für das Projekt durch die tatsächlichen Kosten in Höhe von 644.672,60 € unterschritten.

Das hier vorgestellte Anlagenkonzept ist auf die Mehrzahl aller metallverarbeitenden Betriebe mit Glühprozessen weltweit übertragbar. Alleine in Deutschland beträgt die Zahl der potenziellen Anwender 175 Härtereibetriebe. Zum Zeitpunkt der Antragstellung hat eine Marktrecherche von promeos ein Potenzial von wenigstens 90 Anlagen in Deutschland ergeben.

Die neue Anlagentechnik kann, selbstverständlich nach vorheriger Terminvereinbarung, bei uns in Pirna besichtigt werden. Die Anspechpartner sind Herr Unglaub und Herr Hübner.