

Abschlussbericht

zum Vorhaben:

„Innovative Verfahrenskombination zur Minderung von Umweltbelastungen in einem Hochleistungsstahlwerk mit nachgeschalteten Warmwalzwerk“

NKa3-001960

Fördernehmer/-in:

ESF Elbe Stahlwerke Feralpi GmbH

Umweltbereich

(Ressourcen Klimaschutz)

Laufzeit des Vorhabens

29.06.2012 – 31.07.2018

Autoren

Dariusz Sosin,

Dr. Claus Michael Rogall, Marcus Lodde

Gefördert aus Mitteln des Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit

Datum der Erstellung

14.09.2020

Berichts-Kennblatt

Aktenzeichen UBA	Vorhaben-Nr. 001960
Titel des Vorhabens / Report Title „Innovative Verfahrenskombination zur Minderung von Umweltbelastungen in einem Hochleistungsstahlwerk mit nachgeschalteten Warmwalzwerk“	
Autor(en), Name(n), Vorname(n) Dariusz Sosin, ESF Elbe Stahlwerke Feralpi GmbH Dr. Claus Michael Rogall, Metatech GmbH Marcus Lodde, prisma consult GmbH / Effizienz-Agentur NRW	Vorhabensbeginn 29.06.2012
	Vorhabensende (Abschlussdatum): 31.07.2018
Fördernehmer / -in (Name, Anschrift) ESF Elbe Stahlwerke Feralpi GmbH Gröbaer Straße 3 01591 Riesa	Veröffentlichungsdatum 14.09.2020
	Seitenzahl: 93
Gefördert im Rahmen des Umweltinnovationsprogramms des Bundesumweltministeriums	
Kurzfassung <p>Ziel dieses Vorhabens war das deutliche Übertreffen des Standes der Technik bei Herstellung von Langprodukten aus Stahl in einem kombinierten Stahl-/Walzwerk (Minimill) in Bezug auf Energieeinsatz und Emissionsbelastungen. Dies wird dadurch erreicht, indem etwa 75 % der aus dem Stahlwerk austretenden heißen Knüppel direkt in dem nachgeschalteten Walzwerk verarbeitet werden. Hierdurch kann bei dem weit überwiegenden Anteil der stahlwerksseitig erzeugten Knüppel auf das Aufwärmen von Raumtemperatur auf Walztemperatur (ca. 1.250 °C) verzichtet werden.</p> <p>Dieses Vorgehen wird durch eine neuartige Verfahrenskombination aus metallurgischen, anlagentechnischen und logistischen Maßnahmen ermöglicht. Insbesondere werden durch die Verknüpfung von Schrottwirtschaft, Schmelzbetrieb, Stranggussanlage und Walzwerk auf Prozessleitebene die bisher weitgehend getrennten Prozesse miteinander verbunden und gesamtheitlich optimiert.</p> <p>Mit einer erreichten Direkteinsatzquote von bis zu 75% an der gesamten Einsatzmenge wird an einer Bestandsanlage ein weltweit neuer Standard demonstriert.</p> <p>Mit der neuartigen Verfahrenskombination werden gegenüber dem vorherigen Fertigungsstand folgende wesentlichen umwelttechnischen Verbesserungen auf Basis der in 2017 verzeichneten Jahreserzeugung erreicht:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reduzierung des Gasverbrauches um 107,52 GWh/Jahr • Reduzierung des elektrischen Energieeinsatzes am Lichtbogenofen um 9,52 GWh/Jahr • Erhöhung des Stahlwerksausbringens um 3,44 %-Punkte, entsprechend einem Mindereinsatz von Schrotten in Höhe von 41.125 t/Jahr • Verringerung von Schlacken und Staubmengen um 32.951 t/Jahr • Reduzierung des CO₂-Ausstoßes um 26.442 t/Jahr bezogen auf die eingesparte Energie. <p>Dem budgetierten Investitionsvolumen für das Projekt in Höhe 9.030.032 Euro stehen Ausgaben in Höhe von von 9.010.794 Euro gegenüber.</p>	

Den Investitionskosten von ca. 9 Mio. Euro steht ein jährlicher Ergebniseffekt von ca. 13,9 Mio. Euro pro Jahr gegenüber. Die Amortisationsdauer beträgt somit knapp ein Jahr. Das Ergebnis untermauert daher auch die wirtschaftliche Sinnhaftigkeit dieser Zukunftsinvestition für unser Unternehmen.

Mit der erfolgreichen Inbetriebnahme der innovativen Fertigungslinie ist der erstmalige großtechnische Einsatz dieser Technik in der Bundesrepublik Deutschland realisiert worden. Das Anlagenkonzept ist auf die Mehrzahl von Elektrostahlwerken mit angeschlossenen Walzwerken weltweit übertragbar.

Schlagwörter / Keywords

Direkteinsatz, EAF, Elektrolichtbogenofen, Koppelung von Walz- und Stahlwerk, LBO, Magnettrommel, Minimill, Reihenfolgeplanung, Schrottreinigung

Anzahl der gelieferten Berichte

Papierform: 8

Elektronischer Datenträger: 1

Sonstige Medien

Newsletter, EFA-Loseblattsammlung und Veröffentlichung im Internet geplant auf der Homepage:

www.umweltinnovationsprogramm.de

www.ressourceneffizienz.de

Report-Coversheet

Reference-No. Federal Environment Agency: UBA	Project-No.: 001960
Report Title: Innovative process combination to reduce environmental pollution in a high-performance steel mill with a downstream hot rolling mill	
Authors: Dariusz Sosin, ESF Elbe Stahlwerke Feralpi GmbH Dr. Claus Michael Rogall, Metatech GmbH Marcus Lodde, prisma consult GmbH / Effizienz-Agentur NRW	Start of project: 29.06.2012
	End of project: 31.07.2018
ESF Elbe Stahlwerke Feralpi GmbH Gröbaer Straße 3 01591 Riesa	Publication Date: 14.09.2020
	N of Pages: 93
Funded in the Environmental Innovation Programme of the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety.	
Summary: <p>The aim of this project was to significantly exceed the state of the art in the manufacture of long steel products in a combined steel / rolling mill (minimill) in terms of energy consumption and emissions. This is achieved by processing about 75% of the hot billets coming from the steel mill directly in the downstream rolling mill. As a result, the majority of the billets produced on the steelworks side do not need to be heated up from room temperature to rolling temperature (approx. 1,250 ° C).</p> <p>This procedure is made possible by a new type of process combination of metallurgical, technical and logistical measures. In particular, by linking scrap management, melting shop, continuous casting facility and rolling mill at the process control level, the previously largely separate processes are linked and optimized as a whole.</p> <p>With a direct rolling proportion of up to 75%, a new standard is demonstrated on an existing minmill.</p> <p>With the new process combination, the following significant environmental improvements are achieved compared to the previous production status based on the annual production recorded in 2017:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reduction of gas consumption by 107.52 GWh/year • Reduction of the electrical energy use at the arc furnace by 9.52 GWh/year • Increase in steel mill output by 3.44 percentage points, corresponding to a reduced use of 41.125 t scrap/year • Slag and dust quantities reduced by 32,951 t/year • Reduction of CO₂ emissions by 26,442 t/year based on the energy saved. <p>The budgeted investment volume for the project in the amount of €9,030,032 is accompanied by expenses of €9,010,794.</p>	

The investment costs of approx. €9 million are accompanied by an annual earnings effect of approx. €13.9 million per year. The payback period is therefore almost one year. The result therefore also underpins the economic sense of this future investment for our company.

With the successful commissioning of the innovative production line, the first large-scale use of this technology in the Federal Republic of Germany has been realized. The system concept can be transferred to the majority of electrical steel plants with connected rolling mills worldwide.

Keywords:

direct rolling, hot charging, EAF, arc furnace, mini mill, magnetic drum, sequence planning, cleaning of scrap

Kurzfassung

Ausgangssituation

Die ESF Elbe Stahlwerke Feralpi GmbH produziert mit 456 Beschäftigten am Standort Riesa mit einem Elektrostahlwerk bis ca. 1 Mio. t/a Stahlknüppel und verarbeitet davon im nachgeschalteten Walzwerk aktuell ca. 860.000 t/a zu Betonstabstahl und Walzdraht. Im Jahr 2017 wurde ein Umsatz von 455 Mio. Euro erreicht. Die ESF Elbe Stahlwerke Feralpi GmbH ist eine 100-prozentige Tochter der Feralpi Siderurgica S.p.A., Brescia, Italien.

Der Stahl wird ausschließlich auf Schrottbasis hergestellt. Die Produktionslinien wurden ab 1992 an einem Altstandort der Stahlproduktion neu installiert und verfügen über einen 100 t Elektro-Schmelzofen, eine Pfannenbehandlungseinrichtung sowie eine 5-adrige Knüppel-Stranggießanlage. Nachgeschaltet ist ein Walzwerk bestehend aus 8-gerüstiger Vorstraße, 8-gerüstiger Mittelstraße sowie 4-gerüstigen Finisher und Drahtblock.

Ziel des Vorhabens

In den letzten Jahrzehnten wurde in Stahl- und Walzwerken eine Vielzahl von technischen Innovationen umgesetzt, durch die erhebliche Verbesserungen beim Ressourceneinsatz und in der Umweltschutzwirkung erreicht werden konnten. Trotz dieser signifikanten Verbesserungen gehören Stahlwerke zu den energie- und emissionsintensivsten Industriebetrieben. Die von stahlerzeugenden Betrieben bewirkten CO₂-Emissionen stehen absolut gesehen an zweiter Stelle der weltweiten Industrieproduktion.

Die Herstellung von Walzprodukten erfolgt bisher üblicherweise zweistufig:

- Stahlerzeugung und Abgießen der Stahl-Halbzeuge (Strangguss-Knüppel),
- Auswalzen zu Langprodukten (z.B. Drähte, Rohre, Stäbe) im Walzwerk

Weltweit sind weit überwiegend die Fertigungen von Stahlwerk und Walzwerk über ein Zwischenlager anlagentechnisch und materialflussmäßig entkoppelt. Die dem Zwischenlager zugeführten Halbzeuge kühlen dabei aus der Gießhitze kommend auf Umgebungstemperaturen ab. Der hierdurch verursachte spezifische Energieverlust beträgt etwa 220 - 250 kWh/t und muss vor Walzbeginn wieder in die Zwischenprodukte eingebracht werden. Verbunden mit den Wirkungsgraden der Erwärmungseinrichtungen wird hierfür - je nach Anlageneffizienz - ein spezifischer Energieeinsatz von ca. 300 - 400 kWh/t aufgewendet.

Bei einem direkten Einsatz der aus der Stranggussanlage heiß austretenden Knüppel in das Walzwerk sind daher erhebliche Energie- und Kosteneinsparungen zu erwarten. In bestehenden Stahl-/Walzwerken für Langprodukte wird seit vielen Jahren versucht, den Anteil heiß eingesetzter Gießerzeugnisse zu erhöhen. Diesen Bemühungen stehen allerdings erhebliche metallurgische, anlagen- und logistische Restriktionen entgegen. Infolgedessen werden heutzutage in Bestandsanlagen Heiß- bzw. Direkteinsätze in der Regel dann durchgeführt, wenn metallurgisch unkritische Qualitäten gewalzt werden, die Synchronisierung von Stahl- und Walzwerk einen nur geringen Produktivitätsverlust verursacht und große Losgrößen verarbeitet werden können.

Gegenstand dieses Vorhabens ist die bei der ESF am Standort Riesa geplante Umrüstung eines bisher überwiegend im Kalteinsatz operierenden Walzwerks zu einem weitgehend im Direkt-einsatzverfahren produzierendem Werk. Hierdurch kann auf die sonst übliche Zwischenerwärmung der Gießerzeugnisse zwischen Stahlwerk und Walzwerk weitgehend verzichtet werden.

Ziel dieses Vorhabens ist das deutliche Übertreffen des Standes der Technik bei Herstellung von Langprodukten aus Stahl in Bezug auf Energieeinsatz und Emissionsbelastungen für die Umwelt. Die Maßnahmen des Vorhabens zielen auf

- die Maximierung des Anteils der direkt gewalzten Knüppel am Gesamteinsatz,
- sowie die Maximierung der mittleren Walzwerks-Einsatztemperaturen beim Direkteinsatz.

Die durch das Vorhaben intendierten Umweltschutzwirkungen sollen durch eine neuartige Verfahrenskombination aus metallurgischen, anlagentechnischen und logistischen Innovationen erreicht werden. Durch eine Verknüpfung der Schnittstellen Schrottwirtschaft, Schmelzbetrieb, Stranggussanlage und Walzwerk auf Prozessleitebene werden die bisher weitgehend getrennten technologischen Prozesse im Stahl- und Walzwerk miteinander verbunden und gesamtheitlich optimiert.

Mit einer geplanten Direkteinsatzquote von 80% an der gesamten Einsatzmenge soll an einer Bestandsanlage ein weltweit neuer Standard demonstriert werden. Gegenüber der Altanlage waren nachfolgend dargelegte umwelttechnisch relevante Verbesserungen geplant:

Stoff / Energie	Erzeuger / Verbraucher	spezifische Änderung pro t	jährliche Veränderungen
Aussortierung Leichtfraktion	Kondirator	+10,30 kg/t	+8.240 t/a
Aussortierung Schwerfraktion	Kondirator	+7,90 kg/t	+6.320 t/a
Stromverbrauch	Lichtbogenofen	-17,34 kWh/t	-13,87 GWh/a
Erdgasverbrauch	Lichtbogenofen	-1,55 kWh/t	-1,24 GWh/a
Erdgasverbrauch	Walzwerksofen	-120,66 kWh/t	-96,53 GWh/a
Anfall Schlacke	Lichtbogenofen	-28,29 kg/t	-22.633 t/a
Anfall Filterstaub	Lichtbogenofen	-3,47 kg/t	-2.774 t/a
Schrotteinsatz	Stahlwerk	-34,09 kg/t	-27.270 t/a
Anfall Zunder	Walzwerksofen	-2,68 kg/t	-2.145 t/a

Tabelle 1: Zusammenstellung der wesentlichen erwarteten Umweltentlastungen bei einer Erzeugung von 800.000 t/a

Technische Lösung

Um die komplexen Anforderungen an einen wirtschaftlich durchführbaren Direkteinsatz erfüllen zu können wurde eine Kombination von metallurgischen, anlagentechnischen und logistischen Maßnahmen umgesetzt. Nachfolgend sind die in den jeweiligen Technologiebereichen umgesetzten Maßnahmen und die hiermit verbundenen Zielstellungen dargelegt.

• Anlagentechnik

Wesentliches anlagentechnisches Ziel ist es, die mit einer hohen Direkteinsatzquote in Zusammenhang stehenden Forderungen nach höchstmöglicher Flexibilität hinsichtlich Gieß- /Walzgeschwindigkeiten und Temperaturführungen umzusetzen. Hierzu gehören:

- A1: die Erhöhung der Spitzen-Kühlleistungen im Strangguss zur benötigten Synchronisierung der Gieß- und -Walzleistungen durch Zurüstung einer optimierten Kokillentechnik,

- A2: die Aufrechterhaltung der Gesamtkapazität des Wasserkühlkreislaufs von EAF und Stranggießanlage durch Absenkung der Elektroofen-Gefäßkühlung während der „Power-Off“-Zeiten,
- A3: die Anpassung des vorhandenen Walzwerksofens auf ein hybrides Temperaturausgleichssystem durch Änderungen der Herdzustellung, Feuerfestauskleidung, Brennerregelung sowie Zurüstung eines Ofenführungsrechners.

- **Metallurgie**

Die wichtigsten metallurgischen Ziele sind, den Schrotteinsatz hinsichtlich Reinheit, Stückigkeit, chemischer Zusammensetzung und gleichmäßiger Zuführung sicherzustellen und eine strangschonende Kühlung im Bereich der Sekundärkühlung zu erreichen.

Eine wesentliche Herausforderung hierbei ist es, trotz stark schwankender Versorgungslage und Marktpreise für unterschiedliche Schrottsorten die jeweils benötigte Schrottmixqualität wirtschaftlich zur Verfügung zu stellen.

Die Qualität des eingesetzten Schrottmixes hat bei konventioneller Fahrweise (Kalteinsatz) eine vergleichsweise geringe technologische Bedeutung, da die hiervon ausgehenden negativen Effekte auf die Produktqualität grundsätzlich geringer sind und diese sich z.B. durch verlängerte Prozesszeiten im Stahlwerk kompensieren lassen.

Eine Verknappung höherwertiger Stahlschrotte führt wegen der grundsätzlich höheren Voraussetzungen an die Schrottmixqualität beim Direkteinsatz auf der Einstandsseite zu hohen Schrottkosten, sodass die Gesamtwirtschaftlichkeit des Direkteinsatzes nicht mehr gegeben ist. Der Zukauf von (aus minderwertigen Schrotten) geschredderten Schrottmengen stellt in der Regel keine Alternative dar, da die zukaufbaren Konditormengen kapazitiv begrenzt sind und sich die Einstandspreise für geschredderte Schrottsorten bei erhöhter Nachfrage schnell an die Preise der höherwertigen Stahlschrotte angleichen.

Ziel des Vorhabens ist es, den aus Qualitätsgründen benötigten Schrottmix durch die Reinigung der zugekauften Schrotte sicherzustellen.

Auf der metallurgischen Seite sollten folgende wesentliche Maßnahmenpakete umgesetzt werden:

- M1: Erreichung einer höherwertigen und gleichmäßigeren Schrottmischung auf Basis einer Reinigung der dem Lichtbogenofen zugeführten Schrotte; diese Maßnahmen werden durch umfangreiche umwelttechnische Maßnahmen am Kondirator ergänzt,
- M2: Vergleichmäßigung der Schmelzergebnisse durch Zurüsten einer EAF-Schlackentüre an beiden vorhandenen Ofengefäßen,
- M3: Optimierung der Abkühlbedingungen innerhalb der Sekundärkühlung durch in Gießrichtung angepasste Abkühlintensitäten.

- **Logistik**

Wesentliche logistische Ziele waren, die mit einer hohen Direkteinsatzquote in Verbindung stehenden steigenden Anforderungen an die Schrotteinsatz- und die Reihenfolgeplanung zu unterstützen. Ferner ist die Rückführung und Bewertung von tatsächlichen Schrotteinsätzen und Produktdaten Voraussetzung, um eine permanente Adaption der Prozessführung an die sich verändernde Schrottversorgungssituationen zu gewährleisten.

- L1: Umstellung auf eine auftragsbezogene Versorgung des Lichtbogenofens mit technologisch geeigneten und wirtschaftlich verfügbaren Schrotten durch Aufbau eines Schrott-Planungssystems,
- L2: Zurüstung einer Überwachung der auftragsbezogenen Planungsvorgaben hinsichtlich Zielanalyse, Beimengungen und Stückigkeit durch Installierung einer betrieblichen Schrotterfassung und -steuerung,
- L3: Sicherstellung einer verlustlosen Aufteilung von Stranggussknüppeln im Walzwerk durch Zurüstung einer Schnittlängenoptimierung,
- L4: Sicherstellung des unterbrechungsfreien bereichsübergreifenden Informations- und Produktionsflusses durch Installierung eines Fertigungsleitsystems auf Basis einer Einzelknüppelverfolgung,
- L5: Ausschließen der Verwechslungsgefahr von Stranggussknüppeln durch Integration einer Knüppel-Hartstempelungsanlage.

Ergebnisse aus technischer und wirtschaftlicher Sicht und hinsichtlich Umweltentlastung

Die Ergebnisse des Vorhabens wurden im Rahmen eines begleitenden Messprogrammes während der Umsetzung des Vorhabens kontinuierlich ermittelt (siehe Tabelle 7). Nachfolgende Tabelle 2 zeigt zusammenfassend die erreichten spezifischen Verbesserungen bei den Ressourcenverbräuchen und den Umweltauswirkungen im Vergleich zum Planansatz auf.

Die im Monat Juni 2018 erreichten spezifischen Verbesserungen wurden ferner auf die im Jahr 2017 erreichten Erzeugnismengen hochgerechnet, um ein Abbild der zukünftigen absoluten Umweltentlastungen darzulegen.

Stoff / Energie	Erzeuger / Verbraucher	Angestrebte spezifische Änderung pro t	Erreichte spezifische Änderung pro t	absolute Veränderungen von Erzeugungen und Verbräuchen (hochgerechnet auf die Jahreserzeugung 2017)
Leichtfraktion	Schrottreinigung	+10,30 kg/t	-16,89 kg/t	-16.342 t/a
Schwerfraktion	Schrottreinigung	+7,90 kg/t	-14,67 kg/t	-14.194 t/a
Strom	LBO	-17,34 kWh/t	-9,84 kWh/t	-9,52 GWh/a
Erdgas	LBO	-1,55 kWh/t	-5,44 kWh/t	-5,26 GWh/a
Erdgas	Walzwerksofen	-120,66 kWh/t	-105,69 kWh/t	102,26 GWh/a
CO ₂ -Emissionen	gesamt	-31,47 kg _{CO2} /t	-27,33 kg _{CO2} /t	-26.442 t/a
Schlacke	LBO	-28,29 kg/t	-30,96 kg/t	-29.956 t/a
Filterstaub	LBO	-3,47 kg/t	-3,10 kg/t	-2.996 t/a
Schrotteinsatz	Stahlwerk	-34,11 kg/t	-42,50 kg/t	-41.125 t/a
Zunder	Walzwerksofen	-2,68 kg/t	-4,67 kg/t	-4.519 t/a

Tabelle 2: Veränderung der Ressourcenverbräuche und Erzeugungen

Im Gesamtergebnis konnten die ursprünglich insgesamt veranschlagten Ressourceneinsparungen und Umweltentlastungen erreicht werden. Jedoch ergeben sich einzelne Abweichungen zum Plan.

Hierbei muss beachtet werden, dass in den kommenden Monaten (Validierungsphase des Vorhabens) weitere Detailabstimmungen beim Betrieb der Anlage vorgenommen werden, sodass gewisse Veränderungen noch erwartet werden können.

- Hervorzuheben ist die gegenüber dem Plan zusätzlich erreichte Ausbringensverbesserung des Stahlwerkes. Gegenüber dem Planansatz wird ein verringerter spezifischer Schrotteinsatz von 8,39 kg/t (42,50 kg/t – 34,11 kg/t) erreicht, was einer verringerten jährlichen Schrotteinsatzmenge von ca. 8.100 t entspricht.
- Für das Erschmelzen im LBO (Erdgas und Strom) sowie für die Knüppelerwärmung im Walzwerksofen (Erdgas) waren Energieeinsparungen von in Summe 20 % geplant. Erreicht wurden tatsächliche Einsparungen in Höhe von 17,3 %.
 - Der wesentliche Anteil der Abweichung zum Plan wird durch einen verminderten Eintrag an Prozesskohlenstoff (Veränderung: -3,5 kg/t) hervorgerufen.
Anmerkung: Da der chemische Energieeintrag gegenüber dem Altzustand erheblich reduziert ist, wird eine Kompensation durch zusätzliche elektrische Energie erforderlich.
 - Die geplante Energieeinsparung beim Erdgas von 40,5 % wird mit 36,5 % in guter Näherung erreicht.
- Durch die verminderten Verbräuche an Primärenergien im LBO sowie im Walzwerksofen werden die jährlichen Emissionen um 26.442 t CO₂-Äquivalenten reduziert (Umrechnung mit Emissionsfaktoren des Umweltbundesamtes für das Jahr 2019).
- Die von uns auf Basis einer statischen Wirtschaftlichkeitsrechnung geplante Amortisationszeit von 5 Jahren konnte mit einer Rücklaufzeit von knapp 1 Jahr gegenüber der Planung erheblich unterschritten werden. Wesentlicher Grund hierfür ist das gegenüber der Vorhabensplanung signifikant veränderte Schrottreinigungskonzept. Das im Vorhaben umgesetzte neuartige Schrottreinigungskonzept hat dabei zur Folge, dass erheblich höhere Schrottmengen gereinigt, die ursprünglich veranschlagten Kosten für die Beschaffung von höherwertigen Schrottsorten vermieden werden und das Ausbringen gegenüber der Planung signifikant erhöht werden konnten.
Bei der Betrachtung der Wirtschaftlichkeit ist ferner zu berücksichtigen, dass zeitgleich zur Umsetzung des hier beschriebenen Vorhabens weitere, kleinere Verbesserungsmaßnahmen insbesondere auf dem Gebiet der Schrottbeschaffung stattgefunden haben, die einen gewissen Anteil an denen mit dem Vorhaben verknüpften Vorteilen ausüben.

Übertragbarkeit / Maßnahmen zur Verbreitung der Projektergebnisse

In Deutschland werden im Wesentlichen zwei Stahlproduktionsverfahren angewandt: das Oxygenstahl-Verfahren über die Hochofenroute und das Elektrolichtbogenofen-Verfahren. Im Jahr 2015 wurden alleine in Deutschland 30,0 Mio. t Rohstahl mit dem Oxygenstahl-Verfahren (Anteil 70,4%) und 12,6 Mio. t mit dem Elektrolichtbogenofen-Verfahren (Anteil 29,6%) produziert, wobei Elektrostaahlwerke nahezu ausschließlich Langprodukte herstellen. In Deutschland produzieren aktuell 17 Stahlwerke nach dem Elektrolichtbogenofen-Verfahren, womit allein in Deutschland eine hohe Multiplikatorwirkung gegeben ist (siehe Abbildung 1). Innerhalb der EU-27 wurden von Elektrostaahlwerken im Jahre 2015 ca. 63,8 Mio. t. Langerzeugnisse hergestellt.

Darüber hinaus existiert weltweit ein Vielfaches an Produktionsstandorten mit vergleichbarer Kombination von Stahlwerk und Walzwerk, auf welche das innovative Konzept ganz oder teilweise übertragen werden könnte. Die technische Machbarkeit und wirtschaftliche Umsetzbarkeit in den

Anlagen ist jeweils gesondert zu prüfen. Weitere Multiplikator-Effekte ergeben sich durch den Aufbau neuer Werke.

Die bedeutendsten Standorte der Stahlerzeugung in Deutschland



Abbildung 1: Standorte und Erzeugungsmengen deutscher Stahlwerke in 2016, Quelle: Wirtschaftsvereinigung Stahl

Summary

Background

At its site in Riesa with 456 employees, ESF Elbe Stahlwerke Feralpi GmbH produces up to 1 million tons per annum of steel billets, of which 860,000 tons per annum are subsequently processed into concrete reinforcement bars and wire rod at the downstream rolling mill. The company generated €455 million of revenue in 2017. ESF Elbe Stahlwerke Feralpi GmbH is a wholly owned subsidiary of Feralpi Siderurgica S.p.A., Brescia, Italy.

The steel is manufactured exclusively from scrap. The production lines were reinstalled at a former steel production site in 1992, and include a 100-t electric furnace, a ladle furnace and a 5-line continuous casting machine. Downstream is a rolling mill consisting of an 8-stand roughing mill, an 8-stand intermediate mill and a 4-stand finisher and wire block.

Project objective

In recent decades, a number of technical innovations have been implemented in steelworks and rolling mills, enabling significant improvements in the use of resources and environmental impact. Despite these improvements, steelworks are one of the most energy- and emission-intensive types of industrial facility. Overall, the CO₂ emissions of steelworks are not the primary concern of industrial production worldwide.

Rolled products to date have been usually manufactured in two steps:

- Steel production and casting of the semi-finished steel products (continuously cast billets),
- Rolling of billets into long products (such as bars and wire rod) in the rolling mill

Production processes in steelworks and rolling mills worldwide are typically separated in terms of technology and material flow by interim storage. The semi-finished products placed in interim storage cool down from casting temperature to ambient temperature. The specific energy loss caused by this process is approx. 220–250 kWh/t and must be reapplied to the semi-finished products before rolling. Depending on the efficiency of the heating facilities, this requires a specific energy consumption of approx. 300–400 kWh/t.

As a result, there are significant cost and energy savings to be made from the direct processing of billets after they emerge hot from the continuous-casting facility. In existing steelworks and rolling mills for long products, there have been attempts to increase the direct processing of cast products for many years. However, these efforts are hampered by considerable metallurgical, technological and logistic constraints. Consequently, the hot/direct processing of products only occurs in existing facilities when metallurgical quality is of low importance, when there is little loss of productivity caused by synchronising the steelworks and rolling mill, and when batch sizes are large.

The subject of this project is the planned conversion of a rolling mill at the ESF site in Riesa, at which semi-finished products were previously processed from cold, for the direct processing of products while hot. This will largely eliminate the need for reheating of cast products between the steelworks and rolling mill.

The objective of this project is to achieve a significant improvement over the state of the art in the production of steel long products in terms of energy consumption and emissions to the environment. The measures in this project aim to

- maximise the proportion of billets that are rolled directly after leaving the steelworks, and
- maximise the rolling mill's average operating temperatures in direct processing.

The environmental protection that the project aims to deliver will be achieved by a novel process combination consisting of metallurgical, technological and logistical innovations. Connecting the interfaces between scrap management, smelting operation, the continuous casting plant and rolling mill at the process control level will further link the previously distinctly separate technological processes in the steelworks and rolling mill and optimise these overall.

By directly processing 80% of all billets produced, the site will set a new global benchmark. In comparison to the old plant, the following environmental improvements are planned:

Material/energy	Producer/consumer	Specific values	Yearly changes
Light fraction	Kondirator	+10.30 kg/t	+8,240 t/a
Heavy fraction	Kondirator	+7.90 kg/t	+6,320 t/a
Electricity	Arc furnace	-17.34 kWh/t	-13.87 GWh/a
Natural gas	Arc furnace	-1.55 kWh/t	-1.24 GWh/a
Natural gas	Rolling-mill furnace	-120.66 kWh/t	-96.53 GWh/a
Slag	Arc furnace	-28.29 kg/t	-22,633 t/a
Filter dust	Arc furnace	-3.47 kg/t	-2,774 t/a
Scrap	Steelworks	-34.09 kg/t	-27,270 t/a
Scale	Rolling-mill furnace	-2.68 kg/t	-2,145 t/a

Table 1: Composition of the expected reductions in environmental impact at a production rate of 800,000 t/a

Technical Solution

In order to fulfil the complex requirements for economically viable direct processing, a combination of metallurgical, technological and logistical measures have been implemented. The measures implemented in each of the respective technological areas and the associated objectives are outlined below.

• Plant technology

The major objective in terms of plant technology is to meet the demands posed by a high rate of direct processing, while maintaining maximum flexibility in the casting/rolling speed and temperature control. This includes:

- A1: Increasing the peak cooling performance in continuous casting to achieve the necessary synchronisation of casting and rolling throughputs by installing optimised permanent-mould casting technology,
- A2: Maintaining the overall capacity of the water-cooling circuit of the EAF and continuous-casting facility by reducing the cooling of the furnace vessel during “power-off” times,
- A3: Modifying the existing rolling-mill furnace with a hybrid temperature-equalising system through changes to the hearth in-feed, refractory lining, burner-control system and installation of a furnace-control computer.

- **Metallurgy**

The most important metallurgical objectives are to ensure the purity, piece size, chemical composition and uniform feed of the scrap, and to achieve secondary cooling that preserves the continuity of casting.

A significant challenge here lies in the sourcing the necessary scrap mix quality cost-effectively despite the unstable supply situation and market prices for different types of scrap.

In conventional operation (using cold billets), the quality of the scrap mix is of relatively low technological importance, as the negative effects on product quality are generally lower and can be compensated for with extended processing times in the steelworks, for example.

The quality requirements for scrap mix are higher in direct processing. As a result, any shortage of higher-quality steel scrap leads to high scrap purchasing costs, meaning the overall profitability is compromised. The purchase of shredded scrap (made of lower-quality scrap) is not generally a viable alternative, as the quantities produced by Kondirators is limited by capacity, and the purchase prices for shredded varieties of scrap soon match those of higher-quality steel scrap if demand increases.

The aim of the project is to guarantee the scrap mix required for quality reasons by cleaning the purchased scrap.

On the metallurgical side, the following major measures are to be implemented:

- M1: Achievement of a higher-quality, more uniform scrap mix by cleaning the scrap fed into the arc furnace; these measures are supplemented by comprehensive environmental measures on the Kondirator,
- M2: Homogenisation of the melting results by installing a slag door in each of the two existing EAFs,
- M3: Optimisation of the cooling conditions during secondary cooling by adapting the cooling intensity in the casting direction.

- **Logistics**

The main logistical objectives were to support the increased requirements for scrap use and sequence planning associated with a high proportion of direct processing. Furthermore, the feedback and evaluation of actual scrap consumption and product data is essential to ensure continuous adaptation of the process management to the changing scrap supply situation.

- L1: Conversion to an order-based supply of the arc furnace with technologically suitable and economically available scrap by establishing a scrap-planning system.
- L2: Monitoring of order-based planning specifications regarding target analysis, admixtures and piece size by installing an operational scrap monitoring and management system,
- L3: Ensuring the waste-free portioning of continuous-cast billets by installing a cutting-length optimising system,
- L4: Ensuring uninterrupted, interdepartmental information and production flows by installing a production-control system based on tracking of individual billets,
- L5: Ruling out the risk of mixing up continuous-cast billets by integrating a system for die stamping the billets.

Results from a technical and economic perspective and the environmental benefit

The results of the project have been continuously evaluated within the scope of an accompanying measurement programme during its implementation (see Table 7). Table 2 below shows a summary of the specific improvements in resource consumption and reduced environmental impact that were achieved compared to the start of planning.

In addition, the specific improvements achieved in June 2018 were projected onto the production quantities of 2017 to illustrate the absolute reduction of environmental impact in the future.

Material/energy	Producer/consumer	Specific values planned	Specific values achieved in June 2018	Absolute changes in production and consumption (projected onto annual production for 2017)
Light fraction	Scrap cleaning	+10.30 kg/t	-16.89 kg/t	-16,342 t/a
Heavy fraction	Scrap cleaning	+7.90 kg/t	-14.67 kg/t	-14,194 t/a
Electricity	Arc furnace	-17.34 kWh/t	-9.84 kWh/t	-9.52 GWh/a
Natural gas	Arc furnace	-1.55 kWh/t	-5.44 kWh/t	-5.26 GWh/a
Natural gas	Rolling-mill furnace	-120.66 kWh/t	-105.69 kWh/t	-102.26 GWh/a
CO ₂ emissions	Overall	-31.47 kg _{CO2} /t	-27.33 kg _{CO2} /t	-26,442 t/a
Slag	Arc furnace	-28.29 kg/t	-30.96 kg/t	-29,956 t/a
Filter dust	Arc furnace	-3.47 kg/t	-3.10 kg/t	-2,996 t/a
Scrap input	Steelworks	-34.11 kg/t	-42.50 kg/t	41,125 t/a
Scale	Rolling-mill furnace	-2.69 kg/t	-4.67 kg/t	-4,519 t/a

Table 2: Changes in resource consumption and production

The originally estimated resource savings and reduction in environmental impact were achieved in the overall result. However, there were a few deviations from the plan. It is important to note that, in the coming months (the validation phase of the project), further details of the plant operation are yet to be determined, so some further changes are to be expected.

- It is worth emphasising the improved production output of the steelworks more than the predicted value. This resulted in an additional reduction in the melted scrap quantity of approx. 8,100 t compared to what was planned.
- For melting in the EAF (natural gas and electricity) and billet heating in the rolling-mill furnace (natural gas), energy savings of 20 % were planned.
The actual savings achieved were 17.3%.
 - The most significant reason for the deviation from the plan was the reduced input of process carbon (change: -3.5 kg/t). Note: Since the chemical energy input is less than previously, this must be compensated accordingly with electrical energy.
 - The planned energy savings of 40.5% for natural gas are almost achieved with 36.5%.
- Thanks to the reduced consumption of primary energy by the EAF, as well as the rolling-mill furnace, annual emissions will be reduced by the equivalent of 26,442 t CO₂ (converted with emission factors of the German Federal Environment Agency for 2019).

- It was possible to reduce the amortisation period that we planned based on a static economic efficiency calculation significantly reduced with a return time of approximately 1 year less than planned. A key reason for this was the heavily modified scrap-cleaning concept compared to the project plan. The new scrap-cleaning concept has allowed considerably higher quantities of scrap to be cleaned, meaning that the originally estimated cost for the purchase of higher-quality scrap types could be avoided, and output significantly increased, compared to what was planned.

In terms of profitability, it is also important to take into account that, at the same time as implementing this project, other small improvements were made, particularly with regard to scrap procurement, which offers certain unquantifiable benefits in relation to the project.

Transferability / Measures to distribute the project's results

In Germany, two main steel-production methods are used: the oxygen-steel process via the blast-furnace route and the electric-arc-furnace process. In 2015, in Germany alone, 30 million tons of crude steel were produced in the oxygen-steel process (70.4%) and 12.6 million tons were produced in the arc-furnace process (29.6%) of which the latter is almost all turned into long products. In Germany, 17 steelworks currently produce via the electric-arc-furnace process, facilitating a strong multiplying effect in Germany alone (see Figure 1). Within the EU27, 63.8 million tons of long products were produced by electric steelworks in 2015.

In addition, there is a large number of production sites worldwide with a similar combination of steelworks and rolling mills, to which the innovative concept could be fully or partially applied. The technical feasibility and economic viability of the systems should be reviewed on a case-by-case basis. Further multiplier effects are created by the construction of new steelworks.

Die bedeutendsten Standorte der Stahlerzeugung in Deutschland



Figure 1: Sites and production quantities of German steelworks in 2016, source: Wirtschaftsvereinigung Stahl

Inhaltsverzeichnis

Berichts-Kennblatt	2
Kurzfassung.....	6
Summary	12
Abbildungsverzeichnis.....	19
Tabellenverzeichnis.....	22
1. Einleitung	23
1.1 Kurzbeschreibung des Unternehmens.....	23
1.2 Ausgangssituation	24
2. Vorhabensumsetzung	25
2.1 Ziel des Vorhabens.....	25
2.2 Darstellung der technischen Lösung (Auslegung und Leistungsdaten)	27
2.3 Darstellung der Umsetzung des Vorhabens	30
2.4 Behördliche Anforderungen (Genehmigungen)	84
2.5 Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten	84
3. Ergebnisse.....	85
3.1 Bewertung der Vorhabensdurchführung.....	85
3.2 Durchführung und Ergebnisse des Messprogramms.....	86
3.3 Umweltbilanz	89
3.4 Wirtschaftlichkeitsanalyse.....	91
3.5 Technischer Vergleich zu konventionellem Verfahren	91
4. Empfehlungen.....	93
4.1 Erfahrungen aus der Praxiseinführung	93
4.2 Modellcharakter	94
4.3 Zusammenfassung	94

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Standorte und Erzeugungsmengen deutscher Stahlwerke in 2016, Quelle: Wirtschaftsvereinigung Stahl.....	11
Abbildung 2: Luftaufnahme des Standorts in Riesa (2013)	23
Abbildung 3: 3D-Model der vorhandenen Stranggießanlage mit Integration der neuen Kokillen sowie der Oszillationsantriebe (grün hervorgehoben)....	31
Abbildung 4: Fertiggestellte Bedienpulte für den Steuerstand der Stranggießanlage	31
Abbildung 5: Steuerstand der Stranggießanlage nach dem Umbau mit neuen Bedienpulten.	32
Abbildung 6: Visualisierung der unter Last hervorgerufenen vertikalen Auslenkungen am neuen Oszillationsmodul.....	32
Abbildung 7: Ausschnitt aus der Freigabezeichnung für die „DynaFlex“-Oszilliereinheit mit den wesentlichen Auslegungsmaßen.....	33
Abbildung 8: Anlieferung des Moduls für die Oszillationsantriebe, am 11.12.2014	34
Abbildung 9: Bereich der Stranggießanlage nach Demontage- und Abbrucharbeiten.....	34
Abbildung 10: Montage des Aufnahmemoduls für die neuen Oszillationsantriebe.....	35
Abbildung 11: Auslaufseite der Stranggießanlage nach der Inbetriebnahme im Januar 2015	35
Abbildung 12: Neuordnung der Brenner im EAF	38
Abbildung 13: Vorgesehene Einbauorte und –lagen der C-Injektoren.....	39
Abbildung 14: Ausschnitt aus der Übersichtzeichnung für das neue Obergefäß. Tragwerk mit selbsttragender Rohrkonstruktion, mit Vorlauftring unten Rücklauftring oben sowie 12 Stück senkrechte Speiche. Sie Kühlpanelle sind vereinfacht ohne Brenner dargestellt	40
Abbildung 15: In einem Kühlpaneel eingebauter LVF Brenner.....	41
Abbildung 16: Ofen-Obergefäß Nr. 1 während der Montage	42
Abbildung 17: Screenshot des Ofenführungsrechner-Programms. Dargestellt sind die Knüppeltemperaturen der im Ofen befindlichen Knüppel (oberes Teilbild), die Einsatztemperaturen (mittleres Teilbild) sowie die Knüppellängen (unteres Teilbild).....	44
Abbildung 18: Neu zugestellter Hubherd des Walzwerkofens	45
Abbildung 19: Draufsicht auf den Herd des Walzwerkofens mit Darstellung der erneuerten Bereiche der oberen Verschleißschicht.....	46
Abbildung 20: Zusammenhang zwischen Direkteinsatzquote und mittlerer Einsatztemperatur am Walzwerkofen, Stand: Oktober 2013.....	47
Abbildung 21: Zusammenhang zwischen spez. Gasverbrauch und mittl. Einsatztemperatur am Walzwerkofen, Stand: Oktober 2013.....	48
Abbildung 22: Schädigung des Austrageportals	49

Abbildung 23: Deckensteinbruch aufgrund zu hoher Ausdehnung der Stirnwand	49
Abbildung 24: Thermisch hervorgerufene Risse in der Stirnwand im Herdbereich.....	50
Abbildung 25: Rissbildungen in den gespritzten Bauteilen der Stirnwand	50
Abbildung 26: Innenraum des Walzwerksofens nach erfolgten Reparaturarbeiten im Bereich der Stirnwand	52
Abbildung 27: Blick auf die Shredderanlage mit neu errichteter Einhausung für die Separierung der Nichteisen-Fraktion aus dem zugeführten Schrott, Aufnahmedatum: 14.03.2013	53
Abbildung 28: Ausschnitt aus dem Layout der neuen Einhausung für die Siebanlage ..	54
Abbildung 29: Beginn der Bauarbeiten zur Errichtung der Fundamente für Siebanlage und Containerverwiegung an der Shredderanlage (19.08.2013).....	54
Abbildung 30: Einhausung des Schwenkbandes Nr. 21	55
Abbildung 31: Optimierte Siebanlage mit Containerverwiegung	55
Abbildung 32: Neue Bedien- und Visualisierungstechnik an der Shredderanlage.....	56
Abbildung 33: Installierte Nebelkanone im Bereich der Shredderanlage.....	56
Abbildung 34: geplanter Stoffstrom bei einer Jahreserzeugung von 800.000 t.....	59
Abbildung 35: Schematische Darstellung Magnettrommelaufbau	61
Abbildung 36: Magnettrommelanlage nach dem erfolgten Aufbau im April 2015	61
Abbildung 37: Blick auf das äußere Gefäßoberteil des Elektro-Lichtbogenofens (EAF); Linke Abb.: Schlackentüre vor dem Umbau; Rechte Abb.: Neue Schlackentüre mit komplexer Ansteuerung.....	62
Abbildung 38: Blick in das innere Gefäßoberteil des Elektro-Lichtbogenofens (EAF) mit Kühlsystem und Schlackenausgang Linke Abb.: vor dem Umbau Rechte Abb.: nach dem Umbau	63
Abbildung 39: Simulationsergebnis zur Kühlwirkung bei Aufteilung in drei Kühlzonen, 160-mm Quadrat-Strang (grün = Temperatur im Stranginneren, blau = Temperatur auf der Außenoberfläche, rot = Strangschalendicke).....	64
Abbildung 40: Simulationsergebnis zur Kühlwirkung bei Aufteilung in vier Kühlzonen, 160-mm Quadrat-Strang (grün = Temperatur im Stranginneren, blau = Temperatur auf der Außenoberfläche, rot = Strangschalendicke).....	64
Abbildung 41: Übersichtszeichnung der Sekundärkühlung mit der neu entwickelten Zonenaufteilung.....	65
Abbildung 42: Regelstrecke der Sekundärkühlung (Stränge 1 – 5, jeweils mit 4 Zonen).....	66
Abbildung 43: Makroätzung einer Knüppelprobe 160-Quadrat der Stahlmarke B10, „Beizscheibe“	66
Abbildung 44: Makroätzung einer Kuppelprobe, Format: 130 mm-Quadrat	67
Abbildung 45: links: mobiles Erfassungssystem; rechts: Screenshot für die Erfassung der anteiligen Schrottsorten	68

Abbildung 46: Screenshot des Programms zur mengen- und sortenmäßigen Erfassung der Schrottkorbbeladung	69
Abbildung 47: Touch-Panel in der Krankabine mit Visualisierung der Soll- / Ist-Schrotteinsätze.....	70
Abbildung 48: Screenshot aus der erstellten Inbetriebnahme-Software. Dargestellt sind die gemessenen Knüppellängen und die zugehörigen Standardabweichungen zum Planwert.	71
Abbildung 49: Zu berücksichtigende Stoff- und Informationsflüsse innerhalb des Simulationsystems, Skizze des Institut für Technische Logistik und Arbeitssysteme der TU Dresden	73
Abbildung 50: Systemressourcenmodell	74
Abbildung 51: Zweistufiges Vorgehen bei der Erstellung des Produktionsplans	75
Abbildung 52: Screenshot aus FLS-Modul für Planung/Bearbeitung von Fertigungsaufträgen; dargestellt ist die Planung der erwarteten Durchlaufdauer je Herstellstufe (hier Walzwerk) und je Fertigungsauftrag.	78
Abbildung 53: Screenshot aus FLS-Modul „Produktionsstandsanzeige“; dargestellt sind die Ist-Belegungen und Plan-Werte wesentlicher Fertigungsstufen in aufsteigender Reihenfolge. (EAF = Electric Arc Furnace, LF= Ladle Furnace, SGA = Stranggießanlage, HHO = Hubherdofen, WS = Warmschere, BW = Bundwaage)	78
Abbildung 54: Bildschirmmaske des FLS-Moduls „Optimierung der Fertigungsaufträge	79
Abbildung 55: Bildschirmmaske des FLS-Moduls „Optimierung der Fertigungsaufträge	80
Abbildung 56: Integration der Knüppel-Hartstempelanlage in den bestehenden Queraufzug.....	81
Abbildung 57: Layout der Knüppel-Hartstempelungsanlage mit der Unterkonstruktion	82
Abbildung 58: Knüppel-Hartstempelungsanlage, Januar 2015.....	82
Abbildung 59: Mit der Hartstempelungsanlage signierte Knüppel	83
Abbildung 60: Temperaturverlauf im Knüppelquerschnitt, minimale und maximale Temperaturen in Kelvin	86

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zusammenstellung der wesentlichen erwarteten Umweltentlastungen bei einer Erzeugung von 800.000 t/a.....	7
Tabelle 2: Veränderung der Ressourcenverbräuche und Erzeugungen.....	9
Tabelle 3: Zusammenstellung der wesentlichen erwarteten Umweltentlastungen bei einer Erzeugung von 800.000 t/a.....	26
Tabelle 4: Zeitplan Maßnahmepakete im Verbund, geplante versus tatsächliche Inbetriebnahme Farbdarstellungen: blau: Stufe 1 rot: Stufe 2 grün: Stufe 3	30
Tabelle 5: Teilvorhaben „Optimierung des Kondirators“ mit Darlegung der geplanten und umgesetzten Maßnahmen	58
Tabelle 6: Umsetzungsstufen und geplante zentrale Kennwerte gemäß Projektskizze.....	85
Tabelle 7: Entwicklung erfolgskritischer Kennzahlen während der Vorhabensdauer.....	87
Tabelle 8: Übersicht über die Umweltbilanz des Vorhabens	90
Tabelle 9: Kostenveränderungen bezogen auf eine Jahrerzeugung von 2017	91

1. Einleitung

1.1 Kurzbeschreibung des Unternehmens

Die ESF Elbe Stahlwerke Feralpi GmbH produziert mit 456 Beschäftigten am Standort Riesa mit einem Elektrostahlwerk bis ca. 1 Mio. t/a Stahlknüppel und verarbeitet davon im nachgeschalteten Walzwerk aktuell ca. 860.000 t/a zu Betonstabstahl und Walzdraht. Im Jahr 2017 wurde ein Umsatz von 455 Mio. € erreicht. Die ESF Elbe Stahlwerke Feralpi GmbH ist eine 100-prozentige Tochter der Feralpi Siderurgica S.p.A., Brescia, Italien.

Der Stahl wird ausschließlich auf Schrottbasis hergestellt. Die Produktionslinien wurden ab 1992 an einem Altstandort der Stahlproduktion neu installiert und verfügen über einen 100 t Elektro-Schmelzofen, eine Pfannenbehandlungseinrichtung sowie eine 5-adrige Knüppel-Stranggießanlage. Nach geschaltet ist ein Walzwerk bestehend aus 8-gerüstiger Vorstraße, 8-gerüstiger Mittelstraße sowie 4-gerüstigen Finisher und Drahtblock.



Abbildung 2: Luftaufnahme des Standorts in Riesa (2013)

Qualitäts- und Kostenführerschaft bei gleichzeitigem Setzen von Maßstäben im Bereich Umwelttechnik – die ESF-Entstaubungsanlage wird im „Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Iron and Steel Production“ für die Eisen- und Stahlherstellung 2013 genannt - sind Stärken des Unternehmens. Laufende Maßnahmen in diesem Kontext beinhalten schall- und lufttechnische Optimierungen. Das Unternehmen führte 2008 ein Umweltmanagementsystem nach DIN ISO 14001 ein, in dem die Umweltpolitik des Unternehmens verbindlich festgelegt wurde. Die selbstdefinierten Umweltziele werden im Rahmen eines Umweltprogramms unter Einbeziehung von externen Gutachtern seitdem kontinuierlich verfolgt und kontrolliert. Zur weiteren Verbesserung der Material- und Energieeffizienz wurde im Jahr 2014 ein Energiemanagementsystem nach DIN ISO 50001 eingeführt.

1.2 Ausgangssituation

Die Herstellung von Walzprodukten erfolgt bisher üblicherweise zweistufig:

- Stahlerzeugung und Abgießen der Stahl-Halbzeuge (Strangguss-Knüppel),
- Auswalzen zu Langprodukten (z.B. Drähte, Rohre, Stäbe) im Walzwerk

Weltweit sind weit überwiegend die Fertigungen von Stahlwerk und Walzwerk über ein Zwischenlager anlagentechnisch und materialflussmäßig entkoppelt. Die dem Zwischenlager zugeführten Halbzeuge kühlen dabei aus der Gießhitze kommend auf Umgebungstemperaturen ab. Der hierdurch verursachte spezifische Energieverlust beträgt etwa 220 - 250 kWh/t und muss vor Walzbeginn wieder in die Zwischenprodukte eingebracht werden. Verbunden mit den Wirkungsgraden der Erwärmungseinrichtungen wird hierfür - je nach Anlageneffizienz - ein spezifischer Energieeinsatz von ca. 300 - 400 kWh/t aufgewendet.

In den Jahren vor der Antragstellung wurden erhebliche Vorarbeiten zu einer direkten Verkettung von Stahl- und Walzwerk sowohl technologisch als auch organisatorisch geleistet.

Die räumliche Ausrichtung beider Anlagen ermöglichte es in einem ersten Schritt, den direkten Transport der warmen Knüppel von der Stranggussanlage auf die Knüppelaufgabe der Ofeneinsatzmaschine mit Hilfe eines Kranes vorzunehmen. Durch eine organisatorische Abstimmung der Schmelz- und Walzprogramme konnte eine erste provisorische Fahrweise in Teilbereichen des Programms erfolgreich umgesetzt werden. Neben den damit erreichten Energieeinsparungen konnten erhebliche Betriebserfahrungen beim Direkteinsatz gewonnen werden.

Die gewonnenen Erfahrungen und erreichten Vorteile führten zu der Entscheidung, im Jahr 2008 ein neues Transportsystem zwischen dem Ausgang der Stranggussanlage und dem Einsatzrollgang am Walzwerksofen aufzubauen. Mit dieser Anlage konnte erstmalig der Direkteinsatz¹ von Stranggussknüppeln in den Walzwerksofen anlagentechnisch realisiert werden.

Die Transportdauern der aus der Gießanlage austretenden Knüppel konnte um durchschnittlich 25 Minuten verkürzt werden, sodass weitere erhebliche Energie-Effizienzsteigerungen und damit verbundene Umweltschutzwirkungen erreicht werden konnten. Mit der das Zwischenlager umgehenden Transportvorrichtung war es möglich, den aus der Gießanlage ausgetretenen Knüppel innerhalb von ca. 10 Minuten dem Walzwerk zuzuführen. Spitzen-Einsatztemperaturen in den Walzwerksofen von ca. 950°C - an der Knüppeloberfläche gemessen - waren so erreichbar.

Durch planerische und organisatorische Maßnahmen konnte im Jahr 2010 ein anteiliger Direkteinsatz von bereits ca. 35 % erreicht werden. Durch weitere Optimierungsarbeiten wurden Verbesserungen bei der Schrottzusammensetzung, der Reihenfolgeplanung und der Prozessführung erreicht. Insgesamt wurde im Jahr 2011 die Direkteinsatzquote auf 44 % gesteigert.

Berücksichtigt werden muss hierbei, dass zu diesem Zeitpunkt noch Werte deutlich unterhalb der nach Umsetzung des geplanten Vorhabens geplanten mittleren Knüppel einlauf-Temperaturen oberhalb von 850 °C beim Direkteinsatz erreicht werden. Neben der Direkteinsatzquote ist die mittlere Knüppel einlauf-Temperatur in den Walzwerksofen ein wichtiger Kennwert für die Beurteilung der Effizienz des Direkteinsatzes.

¹ Direkteinsatz = Ohne eine erneute Erwärmung vorgenommener Einsatz eines aus der Gießhitze austretenden Erzeugnis in ein nachgeschaltetes Walzwerk. Die Einsatztemperaturen liegen oberhalb der γ -> α -Umwandlung.

Im Jahresmittel 2010 wurden mittlere Knüppleinlauf-Temperaturen von ca. 400 °C bzw. von ca. 440 °C im Jahr 2011 erreicht. Hierdurch konnten gegenüber einem klassischen Kalteinsatz spezifische Energiemengen von ca. 95 kWh/t (2010) bzw. ca. 110 kWh/t (2011) eingespart werden.

Mit dem in 2011 erreichten betrieblichen Stand waren die mit aktueller Fertigungstechnologie umsetzbaren Potenziale weitestgehend ausgeschöpft.

In bestehenden Stahl-/Walzwerken für Langprodukte wird seit vielen Jahren versucht, den Anteil heiß eingesetzter Gießerzeugnisse zu erhöhen. Diesen Bemühungen stehen allerdings erhebliche metallurgische, anlagen- und logistische Restriktionen entgegen. Infolgedessen werden heutzutage in Bestandsanlagen Heiß- bzw. Direkteinsätze¹ in der Regel dann durchgeführt, wenn metallurgisch unkritische Qualitäten gewalzt werden, die Synchronisierung von Stahl- und Walzwerk einen nur geringen Produktivitätsverlust verursacht und große Losgrößen verarbeitet werden können.

Eine signifikante Steigerung des Direkteinsatzes über den erreichten Stand hinaus kann nur durch die Auflösung der anlagentechnischen, metallurgischen und logistischen Begrenzungen erfolgen.

2. Vorhabensumsetzung

2.1 Ziel des Vorhabens

Gegenstand dieses Vorhabens war die bei der ESF Elbe Stahlwerke Feralpi GmbH am Standort (im Weiteren ESF genannt) Riesa geplante Umrüstung eines bisher überwiegend im Kalteinsatz operierenden Walzwerks zu einem weitgehend im Direkteinsatzverfahren produzierendem Werk.

Hierdurch sollte auf die sonst übliche Zwischenerwärmung der Gießerzeugnisse zwischen Stahlwerk und Walzwerk weitgehend verzichtet werden. Bei einem direkten Einsatz der aus der Stranggussanlage heiß austretenden Knüppel in das Walzwerk wurden daher erhebliche Energie- und Kosteneinsparungen erwartet.

Ziel dieses Vorhabens war das deutliche Übertreffen des Standes der Technik bei Herstellung des Stahl-Halbzeugs „Langprodukt“ in Bezug auf Energieeinsatz und Emissionsbelastungen für die Umwelt. Die Maßnahmen des Vorhabens zielten insbesondere auf

- die Maximierung des Anteils der direkt gewalzten Knüppel am Gesamteinsatz,
- sowie die Maximierung der mittleren Walzwerks-Einsatztemperaturen beim Direkteinsatz.

Das Ziel sollte durch eine neuartige Verfahrenskombination aus metallurgischen, anlagentechnischen und logistischen Innovationen erreicht werden. Durch eine Verknüpfung der Schnittstellen Schrottwirtschaft, Schmelzbetrieb, Stranggussanlage und Walzwerk auf Prozesselebene sollten die bisher weitgehend getrennten technologischen Prozesse im Stahl- und Walzwerk miteinander verbunden und gesamtheitlich optimiert werden.

Mit einer geplanten Direkteinsatzquote von 80% bezogen auf die gesamte Einsatzmenge des Walzwerkes sollte an einer Bestandsanlage ein weltweit neuer Standard demonstriert werden. Mit der neuartigen Verfahrenskombination sollte gegenüber dem vorherigen Fertigungsstand in Riesa der energetische Verluststrom bei der Stahlherstellung einschließlich Anwärmen auf Walztemperatur im Vergleich zu dem erreichten Jahresmittelwerten 2011 um ca. 20 % - entsprechend 10 Mio. Nm³/a Erdgas - gesenkt werden. Damit verbunden wurde eine deutliche Reduzierung des klimaschädlichen Ausstoßes von CO₂ um ca. 21.150 t/a erwartet.

Einhergehend mit diesen signifikanten Energieeinsparungen sollte ein erheblich verringerter Abbrand im Elektro-Lichtbogenofen (LBO) erreicht und das Stahlwerksausbringen um ca. 3% verbessert werden. Die mit einem Kondirator (Shredderanlage) erreichte Schrottvorbereitung sollte zu einer zusätzlichen Aussortierung von Schrottverunreinigungen (Leicht- und Schwerfraktionen) führen, sodass erheblich weniger Schlacken, Stäube und Abgase beim Stahlerschmelzen verursacht werden sollten. Nachfolgende Tabelle 3 gibt einen Überblick über die zum Zeitpunkt der Antragsstellung erwarteten umweltrelevanten Veränderungen.

Stoff / Energie	Erzeuger / Verbraucher	spezifische Änderung pro t	jährliche Veränderungen
Aussortierung Leichtfraktion	Kondirator	+10,30 kg/t	+8.240 t/a
Aussortierung Schwerfraktion	Kondirator	+7,90 kg/t	+6.320 t/a
Stromverbrauch	Lichtbogenofen	-17,34 kWh/t	-13,87 GWh/a
Erdgasverbrauch	Lichtbogenofen	-1,55 kWh/t	-1,24 GWh/a
Erdgasverbrauch	Walzwerksofen	-120,66 kWh/t	-96,53 GWh/a
Anfall Schlacke	Lichtbogenofen	-28,29 kg/t	-22.633 t/a
Anfall Filterstaub	Lichtbogenofen	-3,47 kg/t	-2.774 t/a
Schrotteinsatz	Stahlwerk	-34,0 kg/t	-27.270 t/a
Anfall Zunder	Walzwerksofen	-2,68 kg/t	-2.145 t/a

Tabelle 3: Zusammenstellung der wesentlichen erwarteten Umweltentlastungen bei einer Erzeugung von 800.000 t/a

Im Vergleich zum Jahr 2011 wurde eine spezifische Energieeinsparung von ca. 140 kWh/t Stahl erwartet. Der energetische Verluststrom in der Bilanzhülle Eingang Stahlwerk - Eingang Walzwerk sollte gegenüber dem Jahr 2011 um ca. 20 % reduziert werden.

Spezifischer Primärenergieverbrauch

Eine Hauptzielsetzung war es, deutliche Einsparungen beim spezifischen Primärenergieverbrauch zu erreichen. Dies sollte durch folgende Maßnahmen erreicht werden:

- verminderter Stromverbrauch im EAF infolge höherwertigem und gleichmäßigerem Schrotteinsatz sowie infolge anlagentechnischer Modifikationen,
- verminderter Erdgasverbrauch im Walzwerksofen infolge Verringerung des Anteils der zu erwärmenden Knüppel.

Insbesondere infolge der Umstellung des vorhandenen Erwärmungsofens auf die Funktion des Temperatenausgleichs wurde bei Annahme einer mittleren Einlauftemperatur von 850°C beim Direkteinsatz bereits eine Energieeinsparung von jährlich 96,5 GWh erwartet.

Dies entspricht einer Reduzierung des jährlichen Gasverbrauches um ca. 8,8 Mio. Nm³ bzw. einer Verminderung des CO₂-Ausstoßes um ca. 18.600 t/a. Mit einem geplanten, durchschnittlichen spezifischen Erwärmungsbedarf von ca. 135 kWh/t sollte das Walzwerk einen neuen Bestwert bei Bestandsanlagen aufstellen.

Ausstoß spezifischer Schlacken- und Staubmengen

Geplant war die Verringerung von spezifischen Schlacken- und Staubmengen durch:

- höherwertige und gleichmäßigte Schrotteinsätze,

- mechanisches Aussortieren von Leicht- und Schwerfraktionen aus Scherenschrotten.

Insbesondere durch die erhöhten Kondirator Mengen am Schrottmix sollten gegenüber dem bisherigen Stand zusätzliche Leicht- und Schwerfraktionen in Höhe von ca. 14.560 t/a vor dem Einsatz in den Elektro-Lichtbogenofen mechanisch aussortiert werden; entsprechend wurde eine Verringerung der Ausstöße an Stäuben und Schlacken im Stahlwerk erwartet.

Weiterhin sollten aufgrund steigender Kondirator Mengen erhebliche Mengen an umweltkritischen bleihaltigen Stoffen und chlorierten Kunststoffen aussortiert werden. Infolge der möglichen Einkürzung der mittleren Power-On-Dauer des Lichtbogenofens wurde eine Verringerung des Abbrandes um ca. 25.300 t/a erwartet, was eine erhebliche Verringerung an Schlacken, Stäuben und Abgasen darstellt.

Steigerung der Materialeffizienz

Erhöhung der Materialeffizienz bzw. des Gesamtausbringens in Stahl- und Walzwerken durch:

- verringerte Abbrandverluste im Elektroofen infolge höherwertigem und gleichmäßigerem Schrotteinsatz,
- verringerte Knüppel-Zunderverluste durch verringerte Liegezeiten oberhalb von 750 °C.

Insbesondere durch den höherwertigen Schrottmix, die optimierte Schrotteinsatzplanung sowie den verringerten Zunderanfall sollte insgesamt der Schrotteinsatz um ca. -27.270 t/a verringert werden.

Verringerung des spezifischen Wasserverbrauchs EAF

Durch die geplante Abschaltung der Gefäßkühlung während des „Power-Off-Betriebs“ des Lichtbogenofens wurde eine Absenkung des spezifischen Wasserverbrauchs des Elektro-Lichtbogenofens erwartet.

Lärminderung

Zusätzlich zu den in Tabelle 3 dargelegten wesentliche Veränderungen von spezifischen Stoff- und Energiemengen sollten durch die geplanten Maßnahmen am Kondirator signifikante Luftschadstoff- und Lärminderungen erreicht werden, die weit über den Stand der Technik vergleichbarer Anlagen hinausgehen. Im Lärmgutachten zum BImSchG-Änderungsantrag war zu den Minderungsmaßnahmen aufgeführt:

*„Mit den hier abgeleiteten und geplanten Lärminderungsmaßnahmen am Kondirator und der nun vollständigen Einhausung des Schrottlagers 3 ist der Stand der allgemeinen Lärminderungstechnik voll erreicht und stellt bezogen auf Stahl- und Walzwerke sogar einen darüber hinausgehenden Stand der Lärminderungstechnik dar (einschließlich der Nebenanlagen),“
Quelle: Gutachten vom 10.02.2012 der TBL Schallschutz GmbH*

2.2 Darstellung der technischen Lösung (Auslegung und Leistungsdaten)

Das anspruchsvolle Ziel eines 80%-igen Direkteinsatzes von Knüppeln mit durchschnittlichen Einsatztemperaturen im Bereich von 850 - 950 °C ging weit über den Stand der Technik in einer Bestandsanlage hinaus. In Kombination mit den hierfür erforderlichen Verfahrensumstellungen sollte eine erheblich verbesserte Ressourceneffizienz in Verbindung mit der Minderung von Umweltauswirkungen erreicht werden.

Die vielfältigen, noch bestehenden Restriktionen, die eine substantielle Ausweitung des Direkteinsatzes in Bestandsanlagen verhindern, sind keinesfalls rein anlagentechnischer Natur. Vielmehr ist die Umsetzung einer Kombination von metallurgischen, anlagentechnischen und logistischen Maßnahmen erforderlich, um die komplexen Anforderungen an einen wirtschaftlich durchführbaren Direkteinsatz zu erfüllen.

• **Anlagentechnik | Ziele und Maßnahmen**

Wesentliches anlagentechnisches Ziel war es, die mit einer hohen Direkteinsatzquote in Zusammenhang stehenden Forderungen nach höchstmöglicher Flexibilität hinsichtlich Gieß-/Walzgeschwindigkeiten und Temperaturführungen umzusetzen. Hierzu gehörten:

- A1: die Erhöhung der Spitzen-Kühlleistungen im Strangguss zur benötigten Synchronisierung der Gieß- und -Walzleistungen durch Zurüstung einer optimierten Kokillentechnik,
- A2: die Aufrechterhaltung der Gesamtkapazität des Wasserkühlkreislaufrs von EAF und Stranggießanlage durch Absenkung der Elektroofen-Gefäßkühlung während der „Power-Off“-Zeiten,
- A3: die Anpassung des vorhandenen Walzwerksofens auf ein hybrides Temperaturnausgleichssystem durch Änderungen der Herdzustellung, Feuerfestauskleidung, Brennerregelung sowie Zurüstung eines Ofenführungsrechners.

• **Metallurgie | Ziele und Maßnahmen**

Die wichtigsten metallurgischen Ziele waren, den Schrotteinsatz hinsichtlich Reinheit, Stückigkeit, chemischer Zusammensetzung und gleichmäßiger Zuführung sicherzustellen und eine strangschonende Kühlung im Bereich der Sekundärkühlung zu erreichen.

Eine wesentliche Herausforderung hierbei war es, trotz stark schwankender Versorgungslage und Marktpreise für unterschiedliche Schrottsorten die jeweils benötigte Schrottmixqualität wirtschaftlich zur Verfügung zu stellen.

Die Qualität des eingesetzten Schrottmixes hatte bei konventioneller Fahrweise (Kalteinsatz) eine vergleichsweise geringe technologische Bedeutung, da die hiervon ausgehenden negativen Effekte auf die Produktqualität grundsätzlich geringer waren und diese sich z.B. durch verlängerte Prozesszeiten im Stahlwerk kompensieren ließen.

Eine Verknappung höherwertiger Stahlschrotte führte wegen der grundsätzlich höheren Voraussetzungen an die Schrottmixqualität beim Direkteinsatz auf der Einstandsseite zu hohen Schrottkosten, sodass die Gesamtwirtschaftlichkeit des Direkteinsatzes nicht mehr gegeben war. Der Zukauf von (aus minderwertigen Schrotten) geschredderten Schrottmengen stellte in der Regel keine Alternative dar, da die zukaufbaren Kondirator mengen kapazitiv begrenzt waren und sich die Einstandspreise für geschredderte Schrottsorten bei erhöhter Nachfrage schnell an die Preise der höherwertigen Stahlschrotte angleichen.

Ziel des Vorhabens war es, den aus Qualitätsgründen benötigten Schrottmix durch flexible Einsatzmengen eigener Kondirator mengen sicherzustellen. Die in der vorliegenden Betriebsgenehmigung festgelegte Kondirator-Kapazitätsobergrenze für die Einsatzmenge von 249.600 t/a sollte beibehalten werden.

Auf der metallurgischen Seite sollten folgende wesentliche Maßnahmenpakete umgesetzt werden:

- M1: Erreichung eines höherwertigen und gleichmäßigeren Schrottmixes auf Basis der eigenen Kondiratorerzeugung durch Optimierung des Kondirators; diese Maßnahmen wurden durch umfangreiche umwelttechnische Maßnahmen ergänzt,
- M2: Vergleichmäßigung der Schmelzergebnisse durch Zurüsten einer EAF-Schlackentüre an beiden vorhandenen Ofengefäßen,
- M3: Optimierung der Abkühlbedingungen innerhalb der Sekundärkühlung durch in Gießrichtung angepasste Abkühlintensitäten.

• Logistik | Ziele und Maßnahmen

Wesentliche logistische Ziele waren, die mit einer hohen Direkteinsatzquote in Verbindung stehenden steigenden Anforderungen an die Schrotteinsatz- und die Reihenfolgeplanung zu unterstützen. Ferner war die Rückführung und Bewertung von tatsächlichen Schrotteinsätzen und Produktdaten Voraussetzung, um eine permanente Adaption der Prozessführung an die sich verändernde Schrottversorgungssituationen zu gewährleisten.

- L1: Umstellung auf eine auftragsbezogene Versorgung des Lichtbogenofens mit technologisch geeigneten und wirtschaftlich verfügbaren Schrotten durch Aufbau eines Schrott-Planungssystems,
- L2: Zurüstung einer Überwachung der auftragsbezogenen Planungsvorgaben hinsichtlich Zielanalyse, Beimengungen und Stückigkeit durch Installierung einer betrieblichen Schrotterfassung und -steuerung,
- L3: Sicherstellung einer verlustlosen Aufteilung von Stranggussknüppeln im Walzwerk durch Zurüstung einer Schnittlängenoptimierung,
- L4: Sicherstellung des unterbrechungsfreien bereichsübergreifenden Informations- und Produktionsflusses durch Installierung eines Fertigungsleitsystems auf Basis einer Einzelknüppelverfolgung,
- L5: Ausschließen der Verwechslungsgefahr von Stranggussknüppeln durch Integration einer Knüppel-Hartstempelungsanlage.

2.3 Darstellung der Umsetzung des Vorhabens

Die Tabelle 4 zeigt zusammenfassend die wesentlichen im Verbund wirkenden Maßnahmenpakete aufgeteilt nach Umsetzungsstufen. Die Tabelle zeigt farblich unterschieden die zu der jeweiligen Umsetzungsstufe zugehörigen Maßnahmenpakete. Ferner sind die geplanten Fertigstellungstermine den tatsächlichen Terminen gegenübergestellt. Weiterhin erfolgt eine Zuordnung der Maßnahmen zu den Teilvorhaben gemäß Zuwendungsbescheid.

Pos.	Maßnahmen / Teilvorhaben	Stufe	Abschluss Inbetriebnahme lt. Planung vom 30.09.2013	Tatsächliche Inbetriebnahme	Teil-Vorhaben
A1	Umrüstung der Kokillenkühlung an der Stranggießanlage	2	12-2015	04-2015	1
A2	Absenkung der EAF-Kühlkreisläufe bei Betriebszustand "Power Off"	2	12-2014	7-2018	2
A3	Umrüstung des Hubherdofens im Walzwerk	1/2	12-2014	12-2014	3
M1	Umrüstung des Kondirators (alt) Zurüstung einer Magnettrommel (neu)	2	12-2016	11-2015	4
M2	Zurüstung von Schlackentüren am Elektrolichtbogenofen	1	04-2013	06-2013	4
M3	Umrüstung der Sekundärkühlung an der Stranggießanlage	2	12-2015	01-2015	4
L1	Zurüstung einer Schrotteinsatzplanung	1	12-2014	11-2013	5
L2	Zurüstung einer betrieblichen Schrotterfassung	1	12-2014	09-2014	5
L3	Zurüstung einer Knüppel-Schnittlängenoptimierung	2	01-2014	12-2013	5
L4	Zurüstung eines Fertigungsleitsystems auf Basis Knüppel-einzelverfolgung	3	12-2016	07-2018	5
L5	Zurüstung einer Knüppel-Hartstempelungsanlage	2	12-2014	01-2016	5

Tabelle 4: Zeitplan Maßnahmenpakete im Verbund, geplante versus tatsächliche Inbetriebnahme
Farbdarstellungen: blau: Stufe 1 | rot: Stufe 2 | grün: Stufe 3

Nachfolgend erfolgt die chronologische Berichterstattung der Umsetzung des Vorhabens über die jeweiligen Teilvorhaben.

Teilvorhaben 1: A 1 Zurüstung längerer Kokillen, Optimierung Oszillationsantriebe

Im Dezember 2012 wurde das grundsätzliche Umbaukonzept der Stranggießanlage mit dem vorgesehenen Anlagenbauer Siemens VAI abgestimmt und verabschiedet. Daraufhin wurden die

für eine im Direkteinsatz benötigte kinematische Kopplung von Stahlwerk und Walzwerk wichtigen technischen Parameter wie Hubfrequenz, Kokillenlänge und erreichbare Gießgeschwindigkeiten im Detail ausgelegt. Ein erstes Pflichtenheft konnte am 14.03.2013 vom Anlagenbauer vorgelegt werden. Aufbauend darauf wurden im Berichtszeitraum weitere Detaillierungen bezüglich der Anlagentechnik ausgearbeitet. Insbesondere konnte die Integration der Kokillen und deren Antriebe in die bestehende Gießanlage konstruktiv realisiert werden (Abbildung 3).

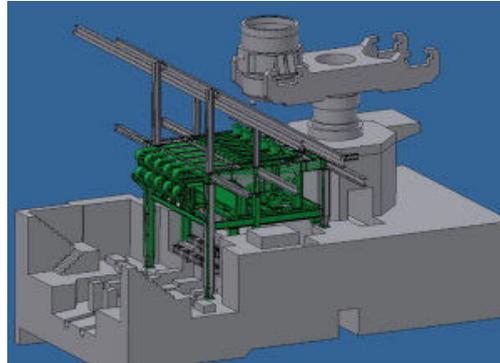


Abbildung 3: 3D-Model der vorhandenen Stranggießanlage mit Integration der neuen Kokillen sowie der Oszillationsantriebe (grün hervorgehoben)

Nachfolgende weitere wesentliche Arbeiten wurden durchgeführt:

- Überarbeitung von technischen Spezifikationsmerkmalen inkl. mehrerer technischer Begehungen der Anlage. Auslösung der Bestellung für das Basic Engineering beim Anlagenbauer im Juli 2013.
- Abschluss der Planungsarbeiten für die Umgestaltung der Bedienelektronik und der Steuerstände.
- Klärung der Aufstellungsflächen für die Steuerschränke der Oszillationsantriebe.
- Fertigstellung der Bedienpulte für den Steuerstand der Gießanlage (Abbildung 4).



Abbildung 4: Fertiggestellte Bedienpulte für den Steuerstand der Stranggießanlage

Die fortgeführten Arbeiten zur Detaillierung der erforderlichen Anlagentechnik machten eine Überarbeitung des Pflichtenheftes seitens des Anlagenbauers erforderlich. Das Pflichtenheft zum Umbau der Gießanlage wurde seitens des Anlagenbauers Siemens VAI im Oktober 2013 vorgelegt; eine finale Klärung konnte im Februar 2014 erreicht werden.

Im Winterstillstand 2013 (28.10.2013 bis 02.12.2013) wurden der Rückbau der alten Steuerstände sowie der Aufbau und die Inbetriebnahme der neuen Steuerstände umgesetzt. Durch die erfolgte Vorrüstung der Steuerpulte für aktuell noch nicht implementierte Funktionalitäten und die

weitgehende Vorverlegung von Kabeln konnte eine zeitliche Entzerrung für den zum Jahreswechsel 2014/15 geplanten Umbau der Gießanlage erreicht werden.



Abbildung 5: Steuerstand der Stranggießanlage nach dem Umbau mit neuen Bedienpulten.

Ferner konnte ein Abschluss des Basis-Engineerings für die Mechanik sowie für die Elektroausrüstung der Gießanlage erreicht werden. Die Lastberechnungen für die neuen Module wurden ebenfalls abgeschlossen und mit dem Anlagebauer final diskutiert.

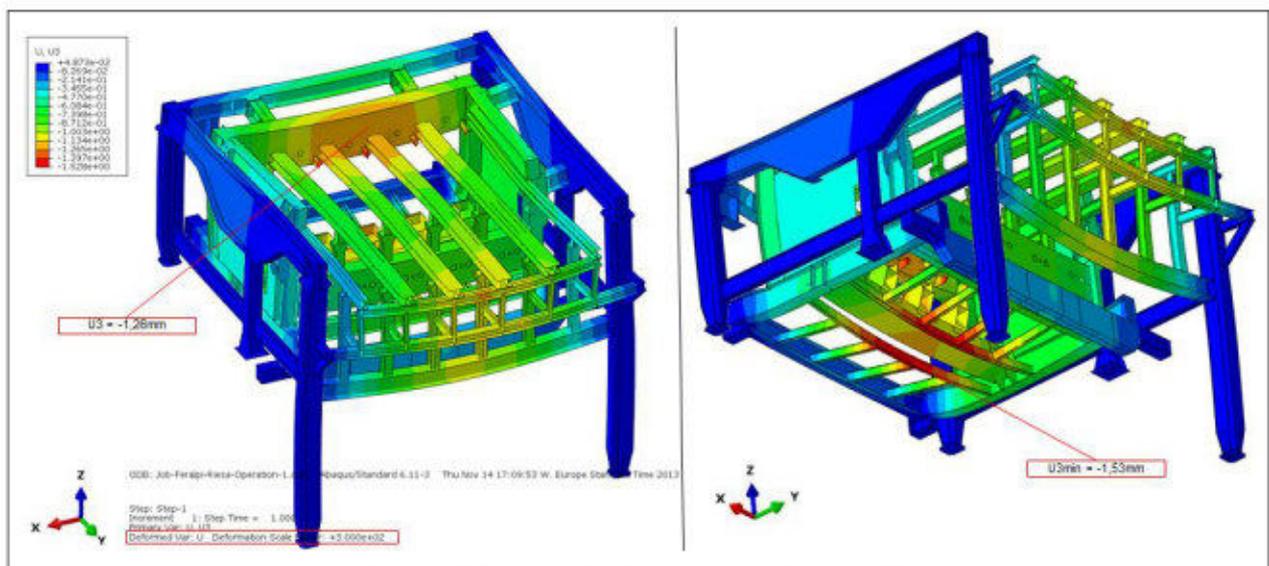


Abbildung 6: Visualisierung der unter Last hervorgerufenen vertikalen Auslenkungen am neuen Oszillationsmodul

Aufgrund der außerordentlich hohen Anforderungen an die Varianz der Gießgeschwindigkeiten konnte mit den vorliegenden Berechnungsmodellen des Anlagebauers keine fertigungstechnisch sichere Auslegung der Kokillenkonizität erreicht werden. Es wurde daher mit dem Anlagenbauer abgestimmt, in 11/2013 Betriebsversuche mit Testkokillen unterschiedlicher Konizitäten durchzuführen. Auf Basis der in den Betriebsversuchen ermittelten „Best Fit“ sollte dann die Auslegung der Kokillen erfolgen. Die Betriebsversuche konnten auf Basis eines neuen technischen Konzepts erst im 01/2014 aufgenommen werden. Wesentlicher Bestandteil des neuen Kokillenkonzpts war einer Erhöhung der Kokillenlänge (alt: 800 mm / neu: 900 mm). Hierdurch wurde ein Gewinn an Fertigungssicherheit erwartet, allerdings wurden durch diese Änderung die spezifischen

Werkzeugkosten negativ beeinflusst. Die Auslegung der Kokillenkonizität konnte im Rahmen der Versuche mit Testkokillen sowie weiteren Simulationsrechnungen gelöst werden.

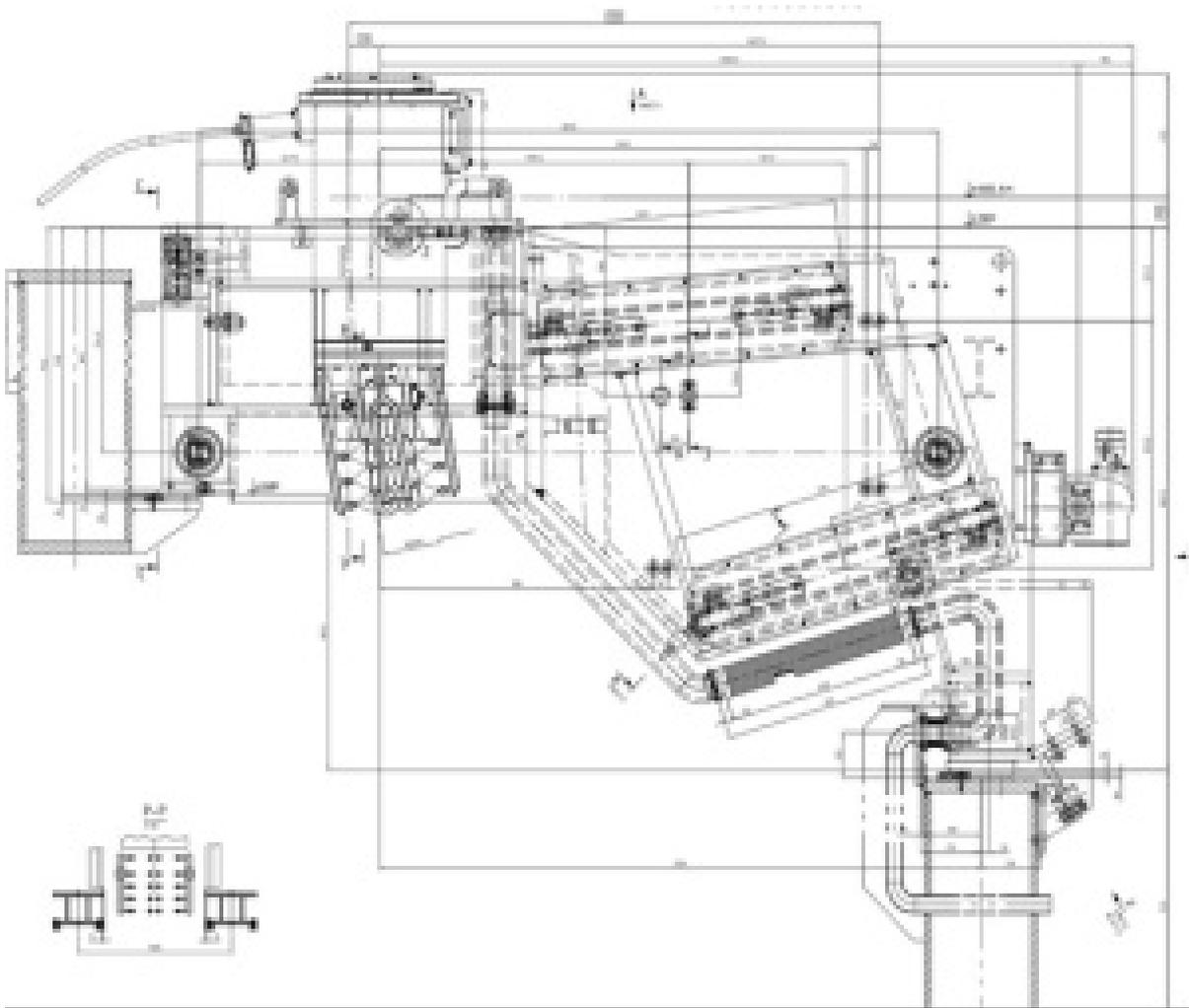


Abbildung 7: Ausschnitt aus der Freigabezeichnung für die „DynaFlex“- Oszilliereinheit mit den wesentlichen Auslegungsmaßen

Daraufhin konnte die Vertragsunterzeichnung für die Detailengineering, Fertigung, Montage und Inbetriebnahme am 14.05.2014 ausgelöst werden. Folgende wesentliche Arbeiten schlossen sich im Berichtszeitraum hieran an:

- 06 – 07 / 2014 | Erarbeitung der Anlagenzeichnungen zur Freigabe seitens Anlagebauer
- KW30 / 2014 | Erteilung der Zeichnungsfreigabe
- 08 / 2014 | Übermittlung der ersten Version der Funktionsbeschreibungen für die einzelnen Anlagekomponenten
- KW36 / 2014 | Lieferung des ersten Teiles des Detailengineerings

Gemeinsam wurden mit dem Anlagenbauer die Schnittstellen zwischen der Altanlage und dem neuen Lieferumfang technisch geklärt und hinsichtlich der Anforderungen und Ausführungen beschrieben.

Im Zeitraum vom 01.10.2014 bis 15.12.2014 wurden die internen Vorbereitungsarbeiten (Ingenieur- und Planungsarbeiten, Durchführung von Elektroinstallationen sowie das Aufstellen der Schaltschränke, Anpassungen an der DV-Landschaft, Umbau des Hydraulikraumes) für die Zurüstung längerer Kokillen sowie für die Optimierung der Oszillationsantriebe an der Stranggießanlage durchgeführt. Im Zeitraum vom 15.11.2014 bis 15.12.2014 wurden die Anlagenkomponenten vom Anlagenbauer Siemens VAI angeliefert.



Abbildung 8: Anlieferung des Moduls für die Oszillationsantriebe, am 11.12.2014

Zum 15.12.2014 wurde das Stahlwerk für den Umbau stillgesetzt.

Vom 15.12.2014 bis 24.12.2014 erfolgten die Demontagearbeiten an der Altanlage. Rückgebaut wurden die Ein- und Ausgänge der Anlage sowie die Zieh- und Richtmaschinen und die Hydraulikleitungen. Weiterhin erfolgten folgende Demontagen: Hubtische, Rohrleitungen der alten Primärkühlung nebst Pumpen, Verteilerwagen, verfahrbare Gießpulte. In einem abschließenden Schritt wurde der Stahlbau demontiert sowie der Abbruch von Wänden und Fundamenten durchgeführt.

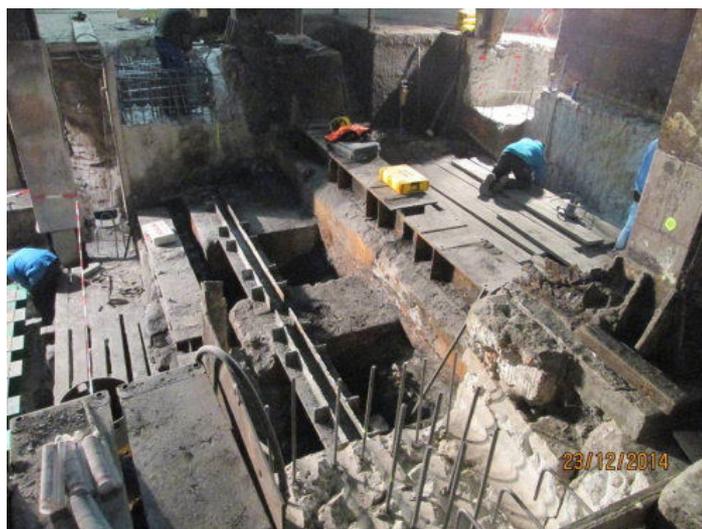


Abbildung 9: Bereich der Stranggießanlage nach Demontage- und Abbrucharbeiten

Im Zeitraum vom 27.12.2014 – 03.01.2015 wurden die neuen Fundamente vorbereitet, sodass am 04.01.2015 das Aufsetzen und Ausrichten der vormontierten Stahlkonstruktion erfolgen konnte.



Abbildung 10: Montage des Aufnahmemoduls für die neuen Oszillationsantriebe

Nach dem Ausrichten der Anlagenteile wurden die Fundamente vergossen. Vom 05.01.2015 bis 16.01.2015 erfolgten die Montagearbeiten für Stahlbau, Medienwege und Hydraulik, Oszillationsantriebe sowie Zurüstungen an der Infrastruktur wie Treppen, Zustiege, etc.. Die Kaltfunktionsproben der Anlage wurden zwischen dem 16.01.2015 und 18.01.2015 erfolgreich durchgeführt, sodass die Anlage am 19.01.2015 in Betrieb genommen werden konnte. Zum Anfahren der Anlage wurde zunächst eine einzelne Charge Flüssigstahl vergossen. Nach der Behebung kleinerer Funktionsstörungen konnte die Betriebsweise auf Sequenzguss umgestellt werden. Seit dem 20.01.2015 operierte die Anlage im Produktionsbetrieb.



Abbildung 11: Auslaufseite der Stranggießanlage nach der Inbetriebnahme im Januar 2015

Anschließend wurden die Leistungstests für die unterschiedlichen Stahlsorten durchgeführt. Die Leistungstests umfassten sämtliche bei ESF gefertigten Stahlgütern im Knüppelformat 160 * 160 mm. Ferner wurden beginnend im März 2015 bis zum April 2015 die notwendigen Sicherheits-einrichtungen (z.B. Zugangskontrollen zu den Anlagenbereichen, Verriegelungen), sowie noch ausstehende Restarbeiten abgeschlossen. Im Zeitraum vom 16. bis 17.06.15 konnten dann die Leistungstests mit dem kleineren Knüppelformat 130 * 130 mm erfolgreich abgeschlossen werden. Am 01.07.2015 wurde die Unterzeichnung des Abnahmeprotokolls erreicht; damit wurde die Maßnahme erfolgreich abgeschlossen.

Teilvorhaben 2: A 2 Absenkung der EAF-Kühlung

Ursprünglich war es vorgesehen, innerhalb des EAF-Primärkühlsystems einen Bypass zwischen Gesamtvorlauf und -rücklauf zu installieren. Hierdurch sollte die Temperatur des Kühlwassers im Gefäß während der „Power-Off-„Zeiten auf einem möglichst hohen Niveau gehalten werden, um die Auskühlung der Schmelze im Gefäß zu begrenzen.

Da der betriebene Primärkühlkreislauf als offener Kühlkreislauf ausgeführt war, musste zur Vermeidung von Kalkablagerungen an hoch belasteten Wärmeübergangsflächen die Rücklauf-temperatur jedoch unterhalb von 45°C gehalten werden. Die Installation eines Bypasses ermöglichte somit lediglich das Speichern der Energie im Kühlwasser bis zu dieser Temperatur.

Dieses Konzept wurde auf mögliche erreichbare Energieeinsparung durch Fa. Kühlmann-System-Kühltechnik bewertet. Das Ergebnis zeigte, dass die geplante Änderung nicht zur erwarteten Reduzierung der Wärmeverluste führen wird. Der durch den niedrigen Temperaturhub verfügbare Energiegewinn war vielmehr vergleichsweise gering. Es wurden daher alternative technische Lösungen erarbeitet.

Untersuchte Alternative:

Es wurde die alternative Ausführung des Primärkreiskaufes als geschlossener Kreislauf im Heißwasserbetrieb untersucht und bewertet. Durch die Verwendung von Kesselspeisewasser waren grundsätzlich Kühlwassertemperaturen bis ca. 85° C realisierbar. Die Berechnungsergebnisse zeigten, dass auch mit diesem Konzept die Wärmeverluste nicht entscheidend verringert werden konnten.

Die angestellten Berechnungen wiesen aus, dass der Energieabzug aus der Schmelze selbst bei Anhebung der Kühlwassertemperatur auf 85 °C nicht signifikant verringert werden konnte, da in diesem System in erster Linie die Strömungsgeschwindigkeit des Kühlmediums für den Wärmeübergang verantwortlich war.

Da die Fließgeschwindigkeit des Mediums durch den Bypass nicht erhöht wurde, reichte die Veränderung der Differenz der Grenzflächentemperaturen mit ca. 2,1 % nicht aus, um die gewünschte Energieeinsparung zu erreichen.

Neue Vorgehensweise:

Nachfolgende weitere alternative Anlagenauslegungen wurden betrachtet, die grundsätzlich geeignet waren, die Energieverluste zu minimieren:

- a) Vergrößerung des Ofengefäßes (hierdurch wird der Abstand zur Strahlungsfläche des Heißkörpers vergrößert),
- b) Änderung der Panelkonstruktion mit besserer Wasserverteilung und Verschlackung als Isolationsschicht,

- c) Ausführung des Kühlwassersystems als geschlossenes System mit nachgeschalteter Wärmerückgewinnung (Warmwasser bzw. Dampf).

Die Bewertung der untersuchten Alternativen zeigte, dass durch eine Änderung der Panelkonstruktion (Anlagenauslegung b) ein bestmögliches Kosten-/Nutzenverhältnis zu erreichen sein würde.

Gegenüber der ursprünglich angedachten Lösung sollte nun eine speziell auf den Ofen angepasste energieeffiziente Panellausführung mit nachfolgenden Merkmalen zur Anwendung kommen:

- Ausführung der Paneele als „Rohr-Steg-Rohr“-Konstruktion
- Anbringung von speziellen Schlackehaltern
- Senkrechte Anordnung der Rohre

Mit dieser Lösung konnte die Verteilung und Auslegung der Kühlelemente im Ofengefäß so erfolgen, dass die rechnerisch erwarteten thermischen Flächenbelastungen weitgehend exakt durch angepasste Rohr-Steg-Rohr-Kombinationen eingestellt werden konnten. Das System beinhaltet ferner Regelarmaturen, mit denen um den rechnerisch ermittelten Betriebspunkt herum die Kühlwirkung integral geschwenkt werden kann.

Die durchgeführten Berechnungen zeigten ferner, dass durch dieses System der zur Kühlung notwendige Wasserdurchsatz gegenüber dem Ist-Zustand erheblich reduziert werden konnte. Dies führte in Folge zur Verwendung von kleineren Pumpen mit entsprechend niedrigeren Leistungsaufnahmen.

Die besprochenen Änderungen an den Kühlpanelen führten in Folge dazu, dass auch das Layout der Brenner- und Injektoren und deren Anordnung neu entwickelt werden musste. Die Arbeiten am Layout und den Anordnungen von Brenner- und Injektoren konnten im April 2014 abgeschlossen werden. Ziel war es, eine optimale Verteilung und Auslegung der Kühlelemente im Ofengefäß baulich darstellen zu können. Gegenüber der ursprünglichen Konzeption lag nun eine völlig neue Anordnung der Brenner und Injektoren für die Schlackenbildner (MgO-, CaO-Träger) vor. Nachstehende Abbildung 12 verdeutlicht das neue Brennerkonzept. Installiert waren hier drei Brenner entlang des Umfangs des Panelgefäßes, ein EBT-Brenner (EBT=Exzentrischer Bodenabstich-Schieber) und ein Türbrenner.

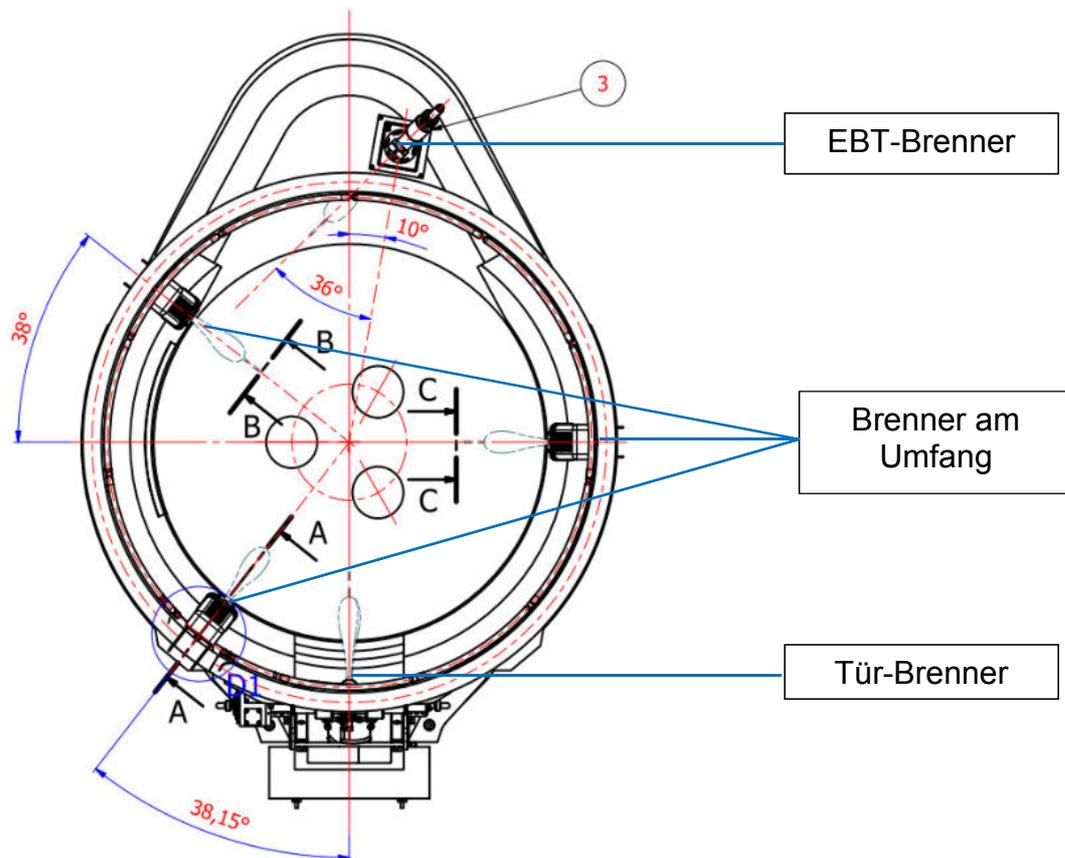


Abbildung 12: Neuordnung der Brenner im EAF

Auf Basis der konzeptionellen Arbeiten zur optimalen Anordnung der C-Injektoren (für die Bildung einer Schaumslagge) wurde entschieden, die neuartige Anordnung zunächst grundsätzlich zu testen. Die neue Vorgehensweise bestand darin, die C-Injektoren nicht wie aktuell praktiziert entlang des äußeren Randes des wassergekühlten Panelgefäßes anzuordnen, sondern in das Untergefäß einzubauen. Hierdurch konnte der C-Injektor unmittelbar oberhalb des Stahlbades – also direkt in der Schlackenzone – operieren. Gegenüber einer konventionellen Positionierung oberhalb der Schlackenzone konnte eine schnellere Bildung der Schaumslagge erreicht werden. Hiermit verbunden ist ein niedriger C-Verbrauch.

Die grundsätzlichen Tests, die auch zu einer optimalen Anordnung der C-Injektoren beitragen sollten, wurden wie nachfolgend beschrieben durchgeführt:

- 06 /2014 | Bestellauslösung für die Test-Injektoren
- 24.07.2014 | Erster Testeinsatz: der Einsatz wurde nach ca. 24 h aufgrund eines Schadens an der C-Transportleitung abgebrochen.
- Der zweite Testinjektor war im Zeitraum 25.08.2014 – 03.09.2014 im Einsatz. Hinsichtlich einer optimierten Schlackenbildung konnte der Test als erfolgreich bewertet werden. Als problematisch hatte sich jedoch die Haltbarkeit der Feuerfestzustellung am Injektionspunkt erwiesen (die geforderte Haltbarkeit beträgt 14 Tage, erreicht wurden lediglich 10 Tage).
- Ein weiterer Test mit einem höherwertigen FF-Stein wurde am 30.09.2014 durchgeführt.

Aufgrund der noch laufenden Tests der neuen C-Injektoren konnte die Auftragsvergabe für Basic- und Detailengineering der Kühlpanelen zu diesem Zeitpunkt nicht erteilt werden. Der ursprünglich vorgesehene Umbau zum Jahreswechsel 2014/15 konnte somit auch nicht erreicht werden. Neue

Planung war es, den Umbau zum Jahreswechsel 2015/16 durchführen zu können, wobei der Fertigstellungstermin für die Umsetzung des Gesamtvorhabens hiervon nicht berührt wurde.

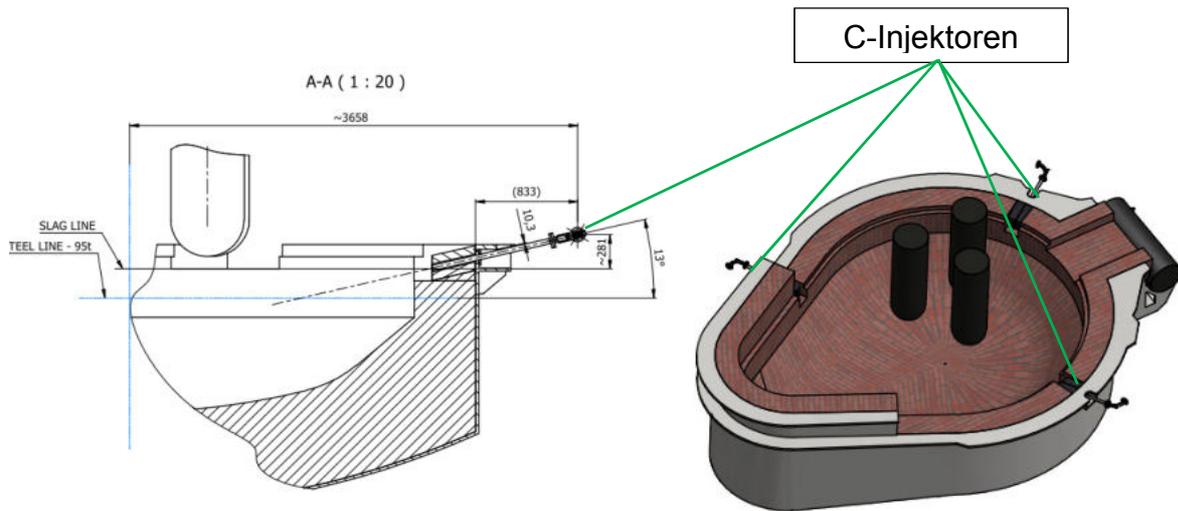


Abbildung 13: Vorgesehene Einbauorte und -lagen der C-Injektoren

Es wurde dargelegt, dass aufgrund der Schwierigkeiten bei der Haltbarkeit der Feuerfest (FF)-Zustellung im Bereich der Injektoren ein neues, widerstandsfähigeres FF-Material getestet werden sollte.

- Der Test mit einem temperaturbeständigeren FF-Material im Bereich der C-Injektoren wurde im Zeitraum vom 13.10. bis 22.10.2014 durchgeführt. Aus betriebswirtschaftlichen Gründen sollte eine FF-Standzeit von 14 Tagen erreicht werden. Aufgrund wiederum nicht ausreichender Standzeit des FF-Materials wurde der Betriebsversuch nach 9 Tagen Produktionszeit abgebrochen.
- Um die Standzeit des FF-Materials zu erhöhen, erfolgte in einem erneuten Betriebsversuch die Kühlung der C-Injektoren statt mit Pressluft mit Stickstoff. Hierdurch sollte ein besserer Schutz der FF-Zustellung an der Injektionsstelle gegenüber Oxidation erreicht werden. Aufgrund der zu geringen betrieblich vorhandenen Stickstoffkapazität musste der Betriebsversuch allerdings bereits nach 3 Tagen am 12.11.2014 abgebrochen werden.
- Im Dezember 2014 wurde seitens der Fa. HTT Engineering ein C-Injektor mit Gaskühlung konzipiert und spezifiziert. Im Januar 2015 wurden zwei Injektoren mit Gaskühlung gemäß der neuen Spezifikation bestellt. Basierend auf dem vom Hersteller genannten Liefertermin war der Beginn eines erneuten Betriebsversuches für den 27.04.2015 vorgesehen.

Konsequenz war es, dass im Falle des Nichterreichens der geforderten Standzeit des FF-Materials mittels der neuen, gasgekühlten C-Injektoren das Konzept, die C-Injektoren im Untergefäß anzuordnen, hätte aufgegeben werden müssen. Für diesen Fall hätten die C-Injektionspunkte nach dem bisherigen Prinzip in den Brennerboxen angeordnet werden müssen.

- Es wurde entschieden, dass die Aufträge für das Basic- und das Detailengineering für die Kühlpanele unabhängig vom Ergebnis der noch ausstehenden Betriebsversuche mit den im Untergefäß angeordneten C-Injektoren im April/Mai 2015 ausgelöst werden sollten. Hiermit wurde sichergestellt, dass der geplante Umbau zum Jahreswechsel 2015/2016 stattfinden konnte.

Auf Basis der zwischenzeitlich vorliegenden weiterentwickelten gasgekühlten Injektoren konnten folgende Arbeiten umgesetzt werden:

- Der ursprünglich für Ende April 2015 vorgesehene Betriebsversuch mit dem Ofen-Untergefäß Nr.1 wurde vom 26.05. bis 10.06.2015 durchgeführt. Es zeigte sich, dass mit den neu entwickelten gasgekühlten C-Injektoren der Fa. HTT Engineering die geforderte FF-Standzeit von 14 Tagen erreicht wurde.
- Hieraufhin erfolgten am 12.06.2015 die Auftragsvergaben für das Basic- und Detail-Engineering der auf diesem Konzept basierenden Kühlpaneele sowie für die Fertigung des ersten Tragwerks in selbsttragender Rohrkonstruktion für das Obergefäß Nr.1.
- Zwischen dem 01.07. und 13.07.2015 wurde ein weiterer Standzeittest auf Basis der neuen gasgekühlten C-Injektoren wiederum mit zufriedenstellendem Ergebnis absolviert.

Im Ergebnis konnte gezeigt werden, dass bei effektiver Kühlung der C-Injektoren die thermische Belastung des FF-Materials soweit gesenkt werden kann, dass ein wirtschaftlicher Betrieb dieser ressourceneffizienten Ausführung erreicht wird. Aufgrund der gemachten Erfahrung wurde entschieden, diese Technologie in das Gesamtkonzept mit aufzunehmen. Es wurde entschieden, analog zum Untergefäß Nr. 1 zum Jahreswechsel 2015/2016 auch das Untergefäß Nr. 2 auf diese neuartige Technologie umzurüsten.

Am 27.08.2015 wurde vom Lieferanten das Basic-Engineering für die Kühlpaneele vorgestellt.

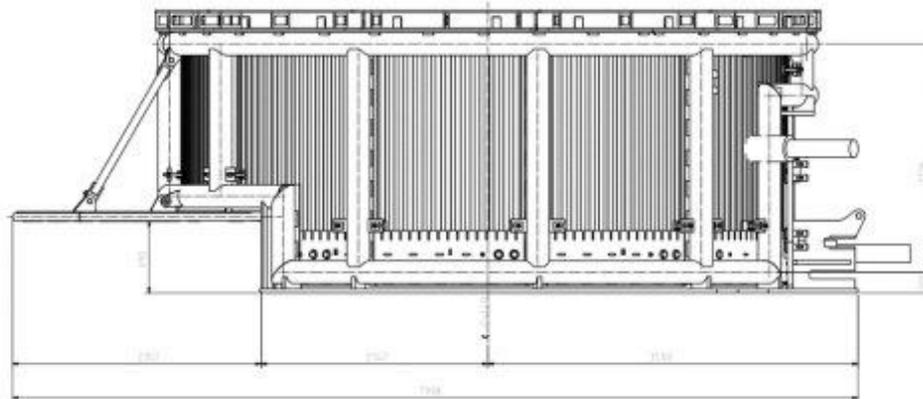


Abbildung 14: Ausschnitt aus der Übersichtzeichnung für das neue Obergefäß. Tragwerk mit selbsttragender Rohrkonstruktion, mit Vorlauftring unten Rücklauftring oben sowie 12 Stück senkrechte Speiche. Die Kühlpaneele sind vereinfacht ohne Brenner dargestellt

Wesentliche Merkmale der neu entwickelten Kühlpaneele waren die Rohr-Steg-Konstruktion der einzelnen Kühlpaneele gegenüber der früher verwendeten Rohr-Rohr-Konstruktion. Hierdurch wurden eine verbesserte Wärmeführung sowie verringerte Druckverluste in jedem einzelnen Kühlpaneel erreicht. Um das mit dem Neudesign der Kühlpaneele einhergehende Risiko zu begrenzen, war die weitere zeitliche Umsetzung der Maßnahme in mehreren Schritten geplant:

Beginnend im November 2015 wurde ein neuartiger LVF-Brenner (Large Volume Flame) der Firma HTT Energy getestet, um weitere Energieeinsparungen im EAF realisieren zu können. Einhergehend mit dem größeren Flammvolumen war die Erwartungshaltung, den Gasverbrauch signifikant senken und den Instandhaltungsaufwand verringern zu können. Durch die Art der

Flammausbildung sollten ferner lokale Überhitzungen und hohe Flammen-Überdeckungsbereiche erreicht werden.

Aufgrund der positiven Erfahrungen mit dem Brenner in der ersten frühen Testphase im November 2015 wurde von der Stahlwerksleitung beschlossen, die für eine begründete Anschaffung der Brenner noch zusätzlich benötigten Betriebsversuche unmittelbar an die ersten Tests im November 2015 anzuschließen. Da im Fall eines positiven Entscheides für die Zurüstung der neuartigen Brenner wiederum Anpassungen an den Kühlpaneelen der EAF-Kühlung hätten vorgenommen werden müssen, wurde das Detailengineering für die Kühlpaneel solange unterbrochen bis eine abschließende Aussage zur Beschaffung der Brenner vorgenommen werden konnte. Die abschließenden Brennertests wurden im Februar 2016 erfolgreich durchgeführt. Ein wesentliches Ergebnis war, dass eine durchschnittliche Gas-Einsparung von 0,5 Nm³ je Tonne Flüssigstahl erreicht wird, was eine weitere Energieeinsparung von ca. 5 kWh/t bedeutete.

Im März 2016 wurde beschlossen, den neuen Brennertyp in das Konzept des neuen Obergefäßes aufzunehmen. Mit der Entscheidung für den Einsatz der neuartigen Brenner wurde das Detailengineering für die Kühlpaneel weiter fortgeführt. Abbildung 15 zeigt die Integration der LFV-Brenner in ein Kühlpaneel sowie die Medien-Anschlüsse.

Die Zurüstung dieser Brenner ergänzt die im Rahmen des Vorhabens bereits vorgesehenen Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz und zur Ausbringungsverbesserung. Die Beschaffung der Brenner erfolgt außerhalb des Vorhabens und ist ein Beitrag des Unternehmens zur weiteren Verringerung der Umweltauswirkungen bei der Stahlherstellung.

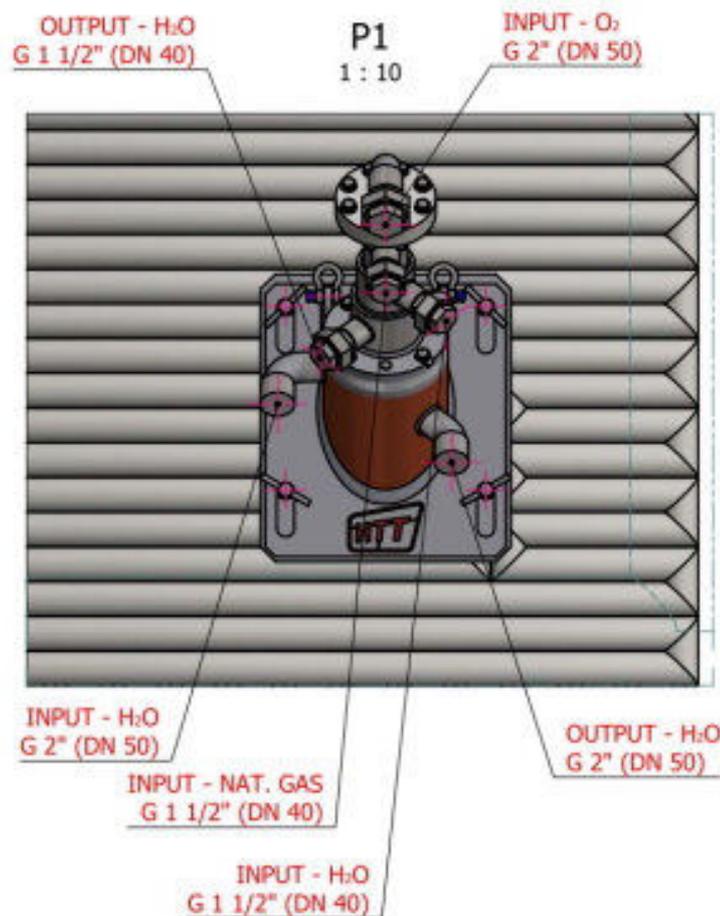


Abbildung 15: In einem Kühlpaneel eingebauter LVF Brenner

Es wurden daraufhin erste Fertigungs-Zeichnungen für die Kühlpaneele angefertigt und durch ESF genehmigt, sodass der Lieferant mit der Herstellung der ersten Anlagenteile beginnen konnte. Das komplette Detailengineering wurde Anfang September 2016 seitens des Lieferanten an uns überreicht.

Da für die Montage des Tragwerkes ein Stillstand der Stahlwerksproduktion erforderlich ist, sollte die Montage während des zum Jahreswechsel 2016/17 geplanten Großreparaturstillstandes erfolgen. Entgegen unseren Planungen erfolgte die für KW47/2016 erwartete Lieferung des Tragwerkes für das erste Ofen-Obergefäß allerdings erst in der KW5/2017. Die Kühlpaneele wurden am 22.03.2017 geliefert.



Abbildung 16: Ofen-Obergefäß Nr. 1 während der Montage

Nach der Lieferung der Kühlpaneele zeigten sich bei der Montage der Kühlpaneele Konstruktionsmängel, die nachgebessert werden mussten. Entgegen unserer Annahme verzögerte sich daher die für Mai 2017 vorgesehene Inbetriebnahme dadurch erneut.

Nach Abschluss der Nachbesserungen konnte im Rahmen eines ersten Testeinsatzes eine optimale Einstellung des energetischen EAF-Profiles und ein stabiler Ofenbetrieb über ca. eine Woche erreicht werden. Die Ergebnisse des Testbetriebs machten deutlich, dass eine signifikante Reduzierung der Wärmeverluste erreicht werden konnte. In direkter Konsequenz konnte das Panelgefäß mit deutlich weniger Wasserdurchsatz betrieben werden, was zusätzlich eine Reduzierung der Pumpenleistung bewirkte. Der erste Test-Einsatz konnte am 27.08.2017 aus technologischer Sicht erfolgreich abgeschlossen werden.

Während des Testeinsatzes wurde jedoch ein arbeitssicherheitsrelevantes Problem festgestellt, das in der Planung nicht vorhergesehen wurde:

Auf der Oberseite des Armaturenschutzblechs (siehe Abbildung 16) kam es während des Testbetriebes zu Ablagerungen von Schrottteilen. Aufgrund der Gefahr von herabfallenden

Schrottablagerungen waren die regelmäßig erforderlich werdenden Wartungsarbeiten am Ofen unter Gesichtspunkten des Arbeitsschutzes nicht ausführbar.

Es wurde daher entschieden, dass Obergefäß 1 umzubauen, wobei das Armaturenschutzblech höher angesetzt wurde, um einen bündigen Abschluss mit dem Paneelrand zu erreichen. Dieser Umbau wurde durch ESF-Personal bis Dezember 2017 durchgeführt. Der zweite Einsatz des Obergefäß 1 konnte dann im Januar 2018 stattfinden.

Aufgrund dieser Zusammenhänge verschoben sich die hieran anschließenden Maßnahmen am Obergefäß 2 wie nachfolgend beschrieben:

12.02.18 - 05.03.18 Zweiter betrieblicher Einsatz des Ofengefäß 1

26.03.18 - 16.04.18 Dritter betrieblicher Einsatz des Ofengefäß 1

In beiden Einsätzen konnten die bereits während des ersten Einsatzes im August 2017 festgestellten Reduzierungen beim Wasserdurchsatz und bei der Pumpenleistung (- 60 kW) bestätigt werden.

10/17 – 01/18 Änderungsarbeiten an den Ausführungszeichnungen des Ofengefäßes 2

02/18 Bestellauslösung für das Ofengefäß 2

Das Ofengefäß Nr. 2 wurde am 19. Juli 2018 geliefert, und entspricht exakt der Ausführung des Ofengefäßes Nr. 1. Für den erstmaligen Einsatz des Gefäßes Nr. 2 stehen aktuell noch folgende Arbeiten aus:

- Anbau der Schlacketür,
- Ausstattung des Panelgefäßes mit den Brennern,
- Anbau der Anschlüsse für die Gasversorgungsleitungen.

Es ist vorgesehen, das Ofengefäß Nr. 2 im September 2018 in Betrieb zu nehmen. Aufgrund der identischen Ausführungen beider Gefäße ist mit identische Einsparungen zu rechnen.

Teilvorhaben 3: A3.1 – A3.4 Umrüstung Walzwerkofen

Die Planungen und Spezifikationen für die Neuzustellung des Herdes (A3.1), die Erneuerung der MSR-Anlage (A3.2) sowie die Erneuerung der Decke für die Konvektionszone des Ofens (A3.4) konnten im Jahr 2012 abgeschlossen werden. Die Ofenführungsstrategien für die Betriebsarten „Direkteinsatz“, „Warmeinsatz“ und „Kalteinsatz“ wurden gemeinsam mit dem Lieferanten des Ofenführungsrechner (Maßnahme A3.3) erarbeitet. Der Auftrag für den Ofenführungsrechner wurde am 17.09.2012 ausgelöst. Die Erstellung des Pflichtenhefts wurde am 19.11.2012 abgeschlossen. Die Hardware wurde zum Jahreswechsel 2012/13 installiert. Eine Überprüfung des Telegrammverkehrs zum übergelagerten Steuerungssystem konnte allerdings erst nach Inbetriebnahme der übergeordneten Informationssysteme erfolgen.

Parallel zu diesem Vorhaben wurde bei ESF ein Projekt zur Abwärmenutzung mittels Dampferzeugung umgesetzt. Es war geplant, im Zeitraum 12/2012 bis 01/2013 das Werk für ca. 4 Wochen still zu setzen, um sowohl wesentliche Maßnahmen dieses separaten Projekts als auch die Realisierung der Teilmaßnahmen A3.1 (Neuzustellung Herd für den Walzwerksofen) und A3.2 (Erneuerung der MSR-Anlage für den Walzwerksofen) umzusetzen. Technische und logistische Schwierigkeiten eines Anlagenauers innerhalb des separaten Projekts „Abwärmenutzung durch Dampferzeugung“ führten dazu, dass die Inbetriebnahme nicht wie vorgesehen zum Jahreswechsel 2012/13 durchgeführt werden konnte.

Da ein Stillstand für die alleinige Realisierung der Maßnahmen A3.1 und A3.2 wirtschaftlich nicht sinnvoll war, wurden die Inbetriebnahmen für Teilmaßnahmen A3.1 und A3.2 ebenfalls von 01/2013 auf 12/2013 verschoben. In 06/07-2013 erfolgten Schulungen der Bediener und der Abteilung Instandhaltung hinsichtlich der angestrebten neuen Ofenfahrweise. Die Bestellung des Lieferumfangs für die Neuzustellung des Herdes (A3.1) wurde in 08/2013 ausgelöst. Auftragnehmer war die Firma ITR S.r.l. aus Odolo in Italien. Der Beginn der Inbetriebnahme des Ofenrechners (A3.3) erfolgte in 08/2013. Die nachfolgende Abbildung 17 zeigt ein Screenshot des Ofenführungsrechner-Programms.

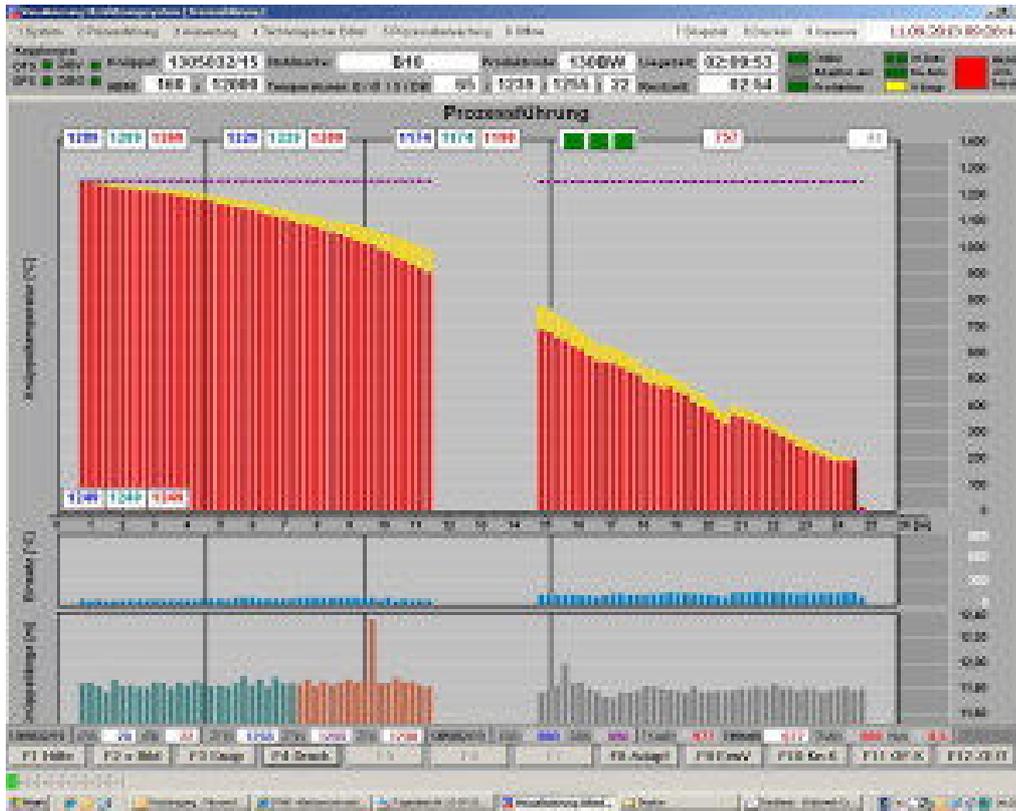


Abbildung 17: Screenshot des Ofenführungsrechner-Programms. Dargestellt sind die Knüppeltemperaturen der im Ofen befindlichen Knüppel (oberes Teilbild), die Einsatztemperaturen (mittleres Teilbild) sowie die Knüppellängen (unteres Teilbild).

Es war vorgesehen, in 09-2013 die Leistungstests für den Ofenrechner sowohl für den Direkteinsatz als auch für den Kalt-/Warmeinsatz zu beginnen. Wesentlicher Inhalt der Leistungstests war der Nachweis der geplanten Energieeinsparungen.

Die Erneuerung der Konvektionszone des Walzwerkofens (A3.4) wurde dann – wie ursprünglich auch vorgesehen – mit einem gewissen, betrieblich bedingten Nachlauf zu den Maßnahmen A3.1 - A3.3 umgesetzt. Hiermit wurde für den Walzwerksofen die komplette Fertigstellung für 12/2014 erwartet.

Im Oktober 2013 erfolgte die Anlieferung der Materialien und Werkzeuge für die Maßnahme, sodass im November die Zustellung des Herdes erfolgen konnte. Hauptauftragnehmer für die Montage und die Lieferung des Feuerfestmaterials war die Firma ITR (Firmensitz in Odolo, Brescia, Italien). Um den hohen Temperaturwechsel-Anforderungen an das Feuerfest-Material bei abwechselnden Kalt- und Direkteinsätzen begegnen zu können, wurde der Herd mit einer

speziellen Betonmasse (Al_2O_3 -Anteil: ca. 65 %) ausgestattet. Abbildung 18 zeigt den Herd nach der Neuzustellung.

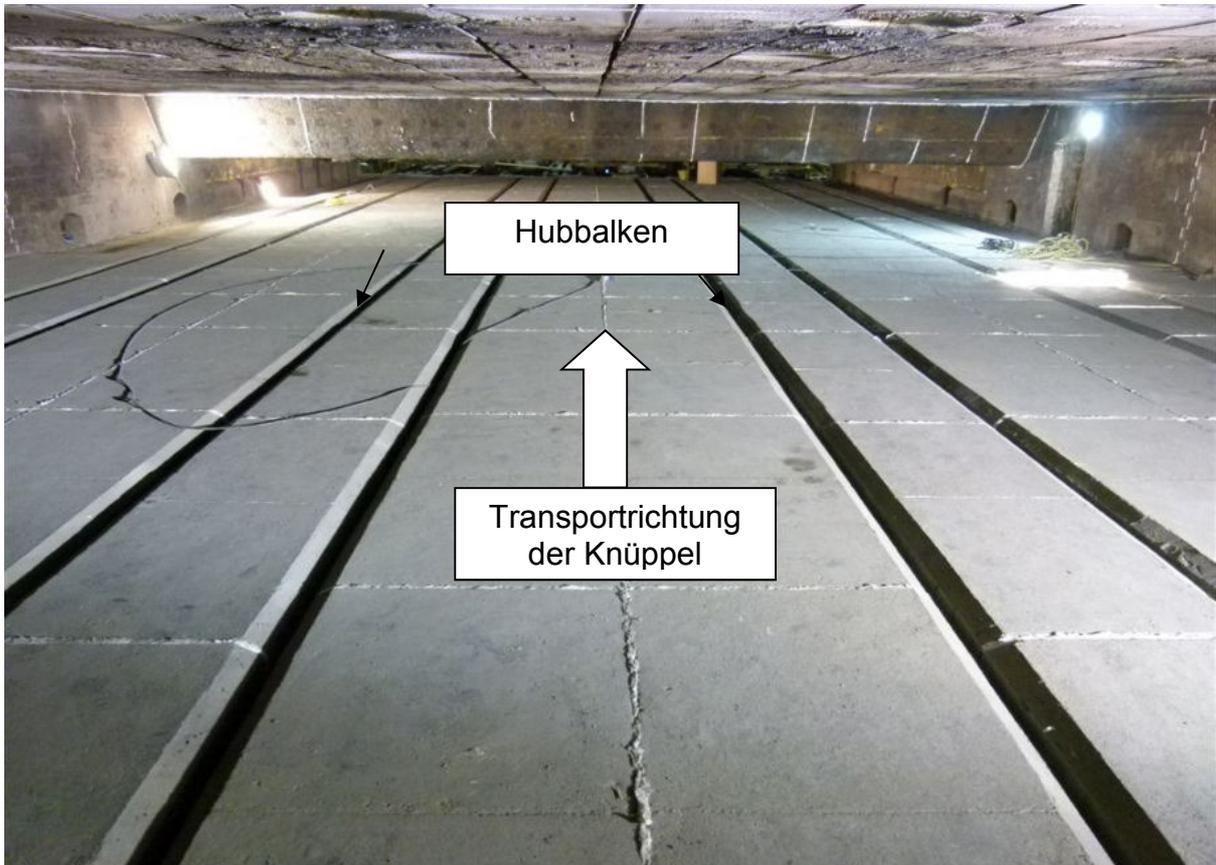


Abbildung 18: Neu zugestellter Hubherd des Walzwerkofens

Nach Abschluss der Arbeiten am Ofen wurde dieser am 18.11.2013 für ein gewünschtes Trocknungsergebnis des Feuerfest-Materials mit einem speziellen Temperatur-Zeitprofil angeheizt. In der Stillstandphase zum Jahresende 2013 wurde der Ofen für eine Herdkontrolle abgeheizt. Bei der durchgeführten Herdkontrolle bei leerem Ofen konnten keine Auffälligkeiten festgestellt werden.

Am 22.03.2014 kam es zum Beginn der Nachtschicht zu einer Störung, infolge derer sich der Herd nicht mehr in die Endpositionen fahren ließ. Bei einer Kontrolle des Ofenraums wurde festgestellt, dass mehrere Herdplatten am ersten Losbalken links (in Transportrichtung gesehen) ausgebrochen waren und auch am benachbarten Festherd sich deutliche Schäden abzeichneten. Nach der Beräumung sämtlicher Bruchstücke aus dem Ofen und Abschluss der Kontrollen und Funktionsproben konnte der Walzbetrieb nach 4 Stunden Stördauer wieder aufgenommen werden. Allerdings wurde der Direkteinsatz zwecks Vorbeugung weiterer Schäden abgebrochen.

Bis zur erneuten Reparatur während der Osterfeiertage 2014 ergaben sich weitere Ausbruchschäden im gegenüberliegenden Herdbereich auf der rechten Seite (in Transportrichtung gesehen). Weiterhin stellten wir fest, dass die Herdfläche im gesamten Konvektivteil des Ofens durch Risse geschädigt war.

Die erneute Reparatur des Ofens erfolgte dann vom 19.04.2014 (Abschaltung) bis zum 02.05.2014 (Walzbeginn). Auftragnehmer war die Firma Caldeyrs. In der nachfolgenden Abbildung 19 sind die

Flächenanteile skizziert, bei denen die obere Verschleißschicht erneuert werden musste. Zur Ermittlung der Schadensursache wurde vor, während und nach der Reparatur ein unabhängiger Gutachter (Büro O. Thelen, Sachverständiger, D - 56581 Melsbach) und das Institut für Keramik, Glas- und Baustofftechnik der TU Bergakademie Freiberg hinzugezogen.

Bei den Untersuchungen konnten klare Belege gefunden werden, dass die Schäden sowohl durch werkstofftechnische Mängel als auch durch Verarbeitungsfehler verursacht wurden. Hierdurch wurde insbesondere der Konvektivteil des Herdes infolge der hohen Temperaturwechselbeanspruchung beim abwechselnden Kalt- und Direkteinsatz geschädigt.

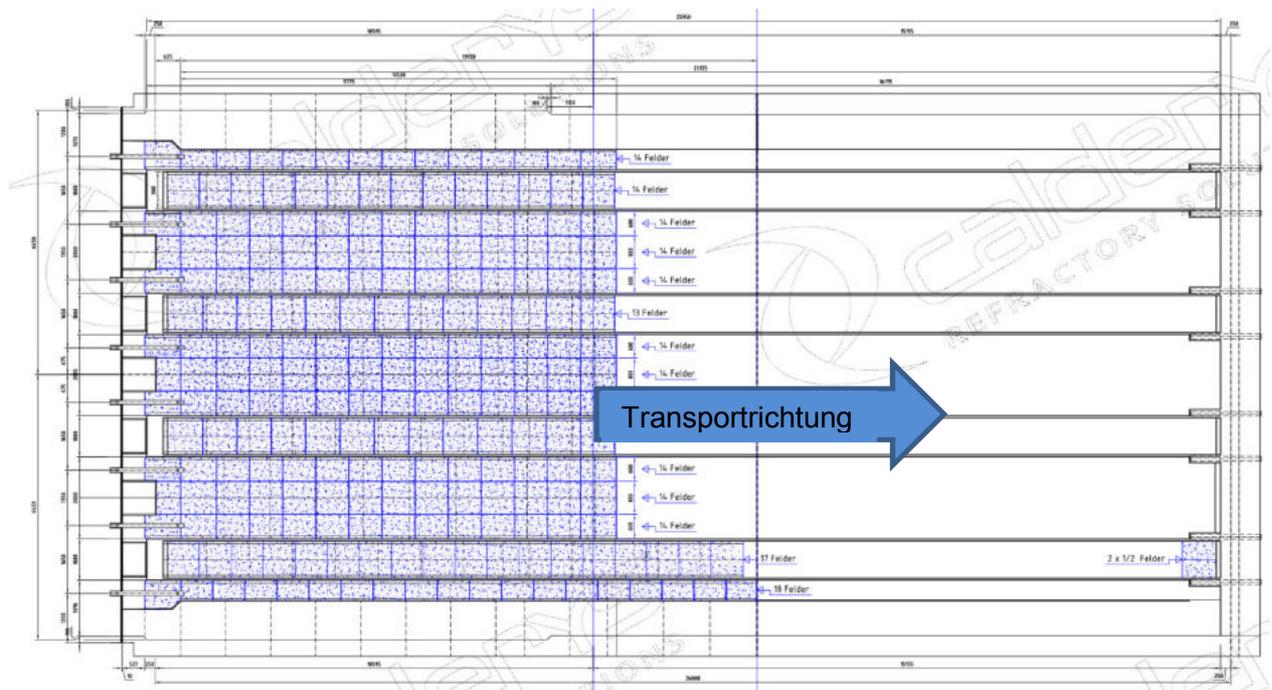


Abbildung 19: Draufsicht auf den Herd des Walzwerkofens mit Darstellung der erneuerten Bereiche der oberen Verschleißschicht

A3.2 | Zurüstung einer Mess- und Regelungstechnik für die selektive Brennerabschaltung

Der Einbau der selektiven Brennerabschaltung erfolgte planungsgemäß im November 2013. Die Inbetriebnahme erfolgte zeitgleich mit der Trocknungs- und Aufheizphase der Herdplatte. Während der ersten Betriebsphase konnte die grundsätzliche Funktionalität der Brennerschaltung bei unterschiedlichen Belegungen (Kalt-, Warm- und Direkteinsätze) nachgewiesen werden.

A3.3 | Zurüstung eines Ofenführungsrechners

Im Rahmen von Leistungstests wurden im September 2013 die spezifischen Energieverbräuche des Ofens für unterschiedliche Betriebsbedingungen und Direkteinsatzquoten ermittelt. Vorgehensweise war es, schichtweise die erreichten Direkteinsatzquoten, die mittleren Einsatztemperaturen der Knüppel sowie die verbrauchten Gasmengen gegenüberzustellen.

Abbildung 20 zeigt den im Oktober 2013 erreichten Zusammenhang zwischen Direkteinsatzquoten und den hiermit verbundenen mittleren Einsatztemperaturen der Knüppel. Die Auswertung zeigt, dass die im Antrag dargelegten Zusammenhänge in guter Näherung im Betrieb reproduziert werden konnten. So wurde im Antrag bei einer Direkteinsatzquote von 80 % im Mittel eine Einsatztemperatur von 708 °C angenommen; demgegenüber steht in der Praxis eine mittlere Einsatztemperatur von ca. 690 °C.

Auf Basis dieser Ergebnisse war anzunehmen, dass mit zusätzlicher Unterstützung durch die noch zuzurüstenden Planungs- und Steuerungssysteme Durchlaufzeitgewinne zwischen der Gießanlage und dem Ofen zu realisieren sein würden, sodass ein Erreichen der geplanten Einsatztemperaturen angenommen werden konnte.

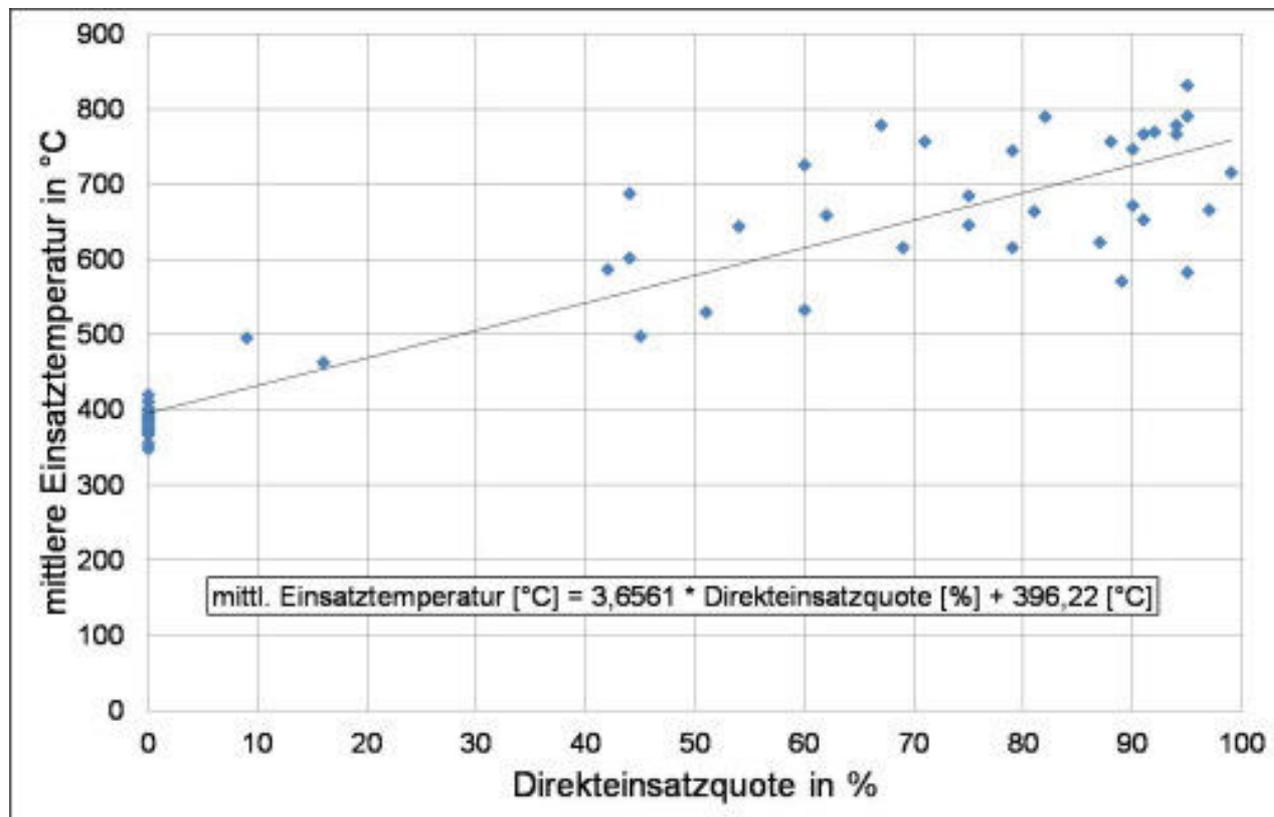


Abbildung 20: Zusammenhang zwischen Direkteinsatzquote und mittlerer Einsatztemperatur am Walzwerkofen, Stand: Oktober 2013.

Abbildung 21 zeigt mit Stand Oktober 2013 die für unterschiedliche Direkteinsatzquoten erzielten spezifischen Gasverbräuche: Die abgelesenen, absoluten Gasverbräuche wurden auf die Einsatzmengen bezogen und mit dem Heizwert ($1 \text{ Nm}^3 = 11,5 \text{ kWh}$) umgerechnet.

Es wird deutlich, dass infolge der verbesserten Anlagentechnik (Vergleich mit dem Jahresmittelwert 2011 bei den hierfür geltenden Bedingungen: mittlere Direkteinsatzquote von 44 %; mittlere Einsatztemperatur von $440 \text{ }^\circ\text{C}$) ein signifikant verringerter spezifischer Verbrauchwert erreicht wird (ca. 210 kWh/t statt $255,66 \text{ kWh/t}$).

Hierfür verantwortlich war im Wesentlichen der neu installierte Ofen-Führungsrechner, der die Temperaturführung so optimiert, dass eine spätest-mögliche Ziehreihe der Knüppel erreicht wird. Es war davon auszugehen, dass nach Zurüstung der selektiven Brennersteuerung weitere anlagentechnisch begründete Energie-Effizienzsteigerungen erreicht würden.

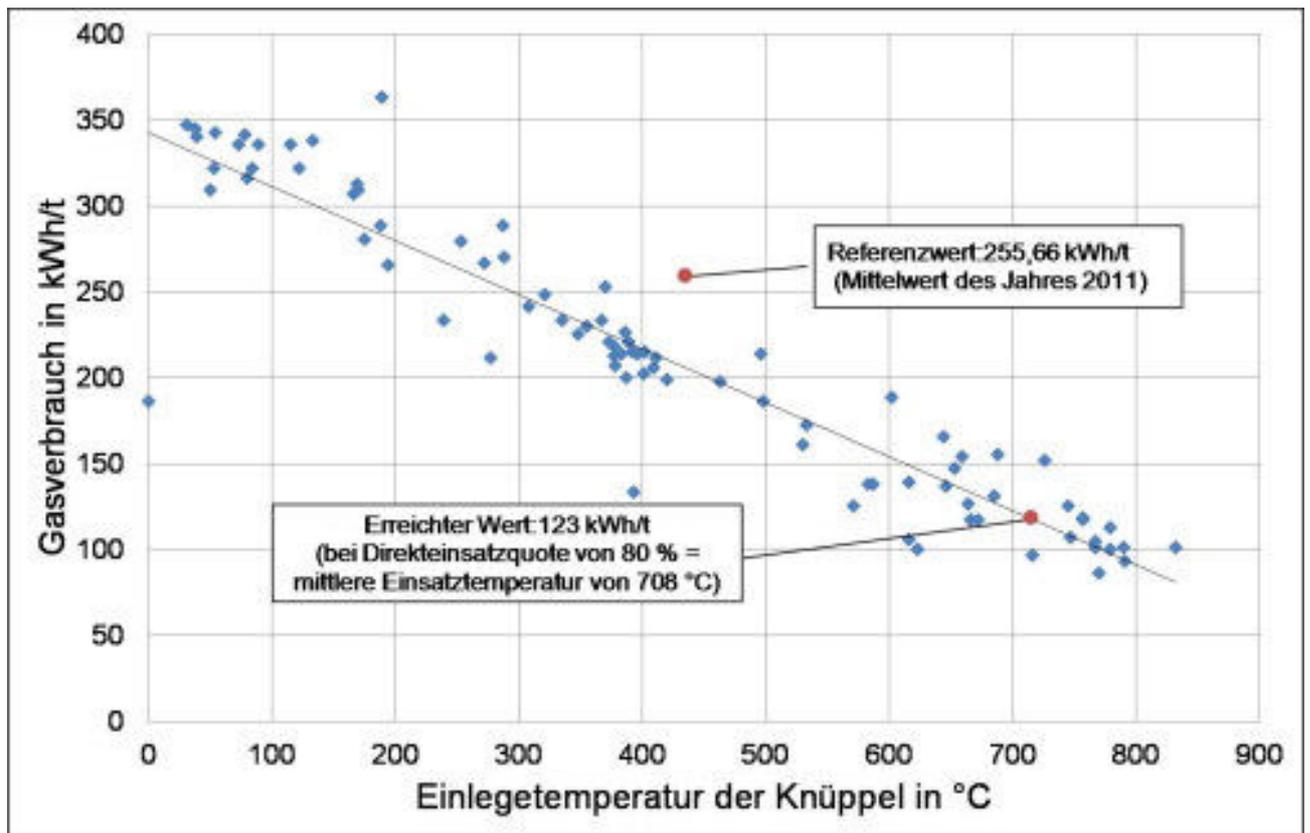


Abbildung 21: Zusammenhang zwischen spez. Gasverbrauch und mittl. Einsatztemperatur am Walzwerkofen, Stand: Oktober 2013

Den Erfolgsfall des Vorhabens unterstellt (80 % Direkteinsatzquote), konnte bereits auf Basis der zu diesem Zeitpunkt installierten Anlagentechnik eine spezifische Energieeinsparung von ca. 132 kWh/t realisiert werden. Die festgestellte Energieeinsparung überstieg damit die anlagentechnisch prognostizierte Energieeinsparung von 120,66 kWh/t um ca. 10 %.

A3.4 | Bauliche Anpassung des Ofengefäßes und der Ofenzustellung

Aufgrund der bei Steigerung der Direkteinsatzquote im Mittel signifikant höheren Einsatztemperaturen der Knüppel in den Walzwerkofen (vor Beginn des Vorhabens: 440 °C / Vorhabensziel: 708 °C) wurde eine deutlich erhöhte Temperaturbelastung der Ofendecke bewirkt. Hiervon ausgehend wurden folgende Maßnahmen als notwendig angesehen und geplant:

- Austausch der alten Faserdeckenzustellung in der Konvektionszone und Erneuerung der Deckenzustellung im Feuerungsbereich zur Erreichung der geforderten Temperaturbeständigkeit.
- Ausbau der Feuerbrücke zur Teilung des Ofengefäßes in Längsrichtung als Voraussetzung, um einen energieeffizienten Mischbetrieb von kalt und direkt eingesetzten Knüppeln durchführen zu können.

Die bis dato gewonnen Betriebserfahrungen zeigten jedoch, dass trotz der erheblichen Zunahme der erreichten Direkteinsatzquoten keine Schädigungen im Deckenbereich festgestellt wurden. Auswertungen zur erreichten Energieeffizienz des Ofens zeigten ferner, dass bereits ohne einen Ausbau der Feuerbrücke eine hocheffiziente Beheizung erreicht wurde.

Die ursprünglich als kritisch erachteten Temperaturwechsel wurden von dem eingebauten Fasermaterial gut aufgenommen. Die vorgenommenen Kontrollen zeigten keine über ein normales

Maß hinausgehenden Schädigungen; es bestand somit keine Notwendigkeit eines Austausches der Ofendecke. Im Gegensatz dazu wurden an der Stirnwand am Ofenausstrag verstärkte Rissbildungen festgestellt, wobei mit steigender Betriebszeit zusätzlich deutliche Verschiebungen an den Trennschichten beobachtet wurden.

Während eines Ofenstillstandes Ende April 2014 wurden die Schädigungen im Detail besichtigt und dokumentiert (siehe Abbildungen 22 - 25). Weitere, während des laufenden Ofenbetriebs durchgeführte Kontrollen zeigten, dass die Schädigungen zunahmen und ein kritischer Anlagenzustand drohte.



Abbildung 22: Schädigung des Austrageportals



Abbildung 23: Deckensteinbruch aufgrund zu hoher Ausdehnung der Stirnwand

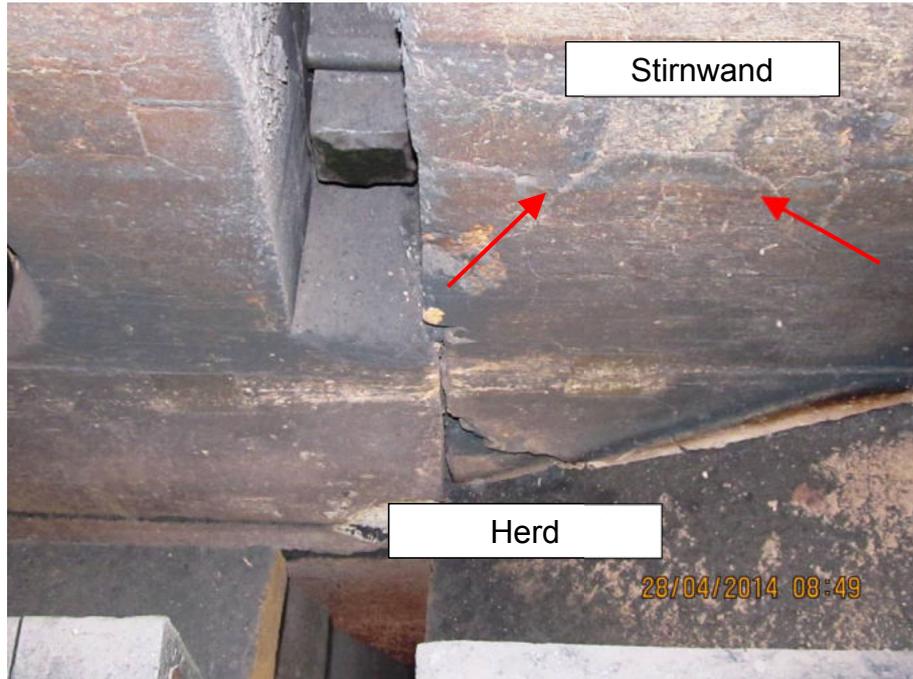


Abbildung 24: Thermisch hervorgerufene Risse in der Stirnwand im Herdbereich



Abbildung 25: Rissbildungen in den gespritzten Bauteilen der Stirnwand

Aus den Beobachtungen musste geschlossen werden, dass die Ausführung der Stirnwandzustellung für die Beherrschung der hervorgerufenen Temperaturwechsel bei abwechselnden Direkt- und Kalteinsatz nicht geeignet war. Durch die betrieblich und logistisch notwendigen Wechsel zwischen Kalt- und Direkteinsätzen änderten sich die Ofenraumtemperaturen in den Zonen 3 und 4 um ca. 120 °C. Die hierdurch resultierenden Wärmedehnungen konnten mit dem aktuell vorhandenen Zustellungskonzept nicht kompensiert werden, sodass die beobachteten Schädigungen mit der Betriebszeit fortlaufend zunahmen.

Mit Hilfe des neuen Ofenführungsrechners (Inbetriebnahme im August 2013) wurden zudem die Temperaturwechsel zwischen Kalt- und Direkteinsatzfahrweise genauer (und damit abrupter) und häufiger durchlaufen. Es war davon auszugehen, dass sich hierdurch die Schädigungswirkung noch verstärkte.

Mit Blick auf das Ausfallrisiko des Ofens planten wir, die speziell geschädigte Stirnwand des Ofens im Bereich Austragung bis zu den seitlichen Revisionstüren während des nächsten geplanten Werkstillstands an die herrschenden thermischen Bedingungen anzupassen.

Ein Zustellungskonzept für die Stirnwand einschließlich der zu verwendenden Materialien wurde mit den in Frage kommenden Anbietern erarbeitet, so dass davon auszugehen war, dass hiermit den ständig wechselnden Temperaturen begegnet werden konnte. Die Ausbesserungsarbeiten wurden im Zeitraum vom 27.12.2014 bis 09.01.2015 durchgeführt.

Nachfolgend aufgelistete Teilflächen wurden einschließlich der vorhandenen Verankerungen und Hinter-Isolierungen ausgebrochen und im Nachgang neu zugestellt. Die zur Verwendung gelangten FF-Materialien wurden mit dem Hersteller diskutiert und nach Schädigungs- und Belastungsfall individuell ausgewählt.

Auflistung der neuzugestellten Teilflächen:

- Stirnwandfläche oberhalb der Austragszone | Fläche: ca. 13m x 1,4m | Neuzustellung in Spritzausführung, Material: Calde Gun Superral X70
- Stirnwandfläche im Bereich der Austragszone bis zum Anschluss an den Sinterschacht | Fläche ca. 13m x 1,3m | Neuzustellung mit Gießbeton, Material Calde Cast LF48
- Erneuerung von 4 Brennersteinen | Material: Calde Cast LM70
- Erneuerung zweier Teilstücke der sich anschließenden Seitenwände F Fläche je ca. 2,7m x 1,7m | Zustellung im Türbereich: Material: Caldecast LF 48, Zustellung bis Deckenanschluss: Material: Calde Gun Superral X70



Abbildung 26: Innenraum des Walzwerksofens nach erfolgten Reparaturarbeiten im Bereich der Stirnwand

Die Abnahme wurde nach der Inbetriebnahme auf Basis ausführlicher Kontrollen und Inspektionen erteilt. Von 04-10/2015 wurden auf Basis der im normalen Betrieb durchgeführten Inspektionen keine Schädigungen festgestellt. Während des Stillstandes zum Jahreswechsel wurde eine ausführliche Inspektion der reparierten Bereiche durchgeführt. Hierbei wurden die reparierten Bereiche der Ofenstirnwand eingehend untersucht. Im Ergebnis wurden keine, über den normalen Verschleiß hinausgehende Schädigungen festgestellt.

Teilvorhaben 4: Metallurgie

M1 Optimierung des Kondirators (Anmerkung: nicht vollständig durchgeführt, stattdessen erfolgte die Zurüstung einer Magnettrommel)

Zielstellung war es, die durch den Direkteinsatz bedingten höheren Anforderungen an die Reinheit des Schrotteinsatzes durch gesteigerte Anteile an geschreddertem Material zu erfüllen.

Im Verlauf des Vorhabens stellte sich jedoch heraus, dass eine Steigerung des Anteils bis zur genehmigten Kapazitätsgrenze des Shredders von 249.600 t/Jahr (Einsatzmenge) nicht ausreichend sein würde, die erforderliche Schrottqualität zu erreichen.

Nach Vorliegen dieser Erkenntnis zu Beginn des Jahres 2014 wurden daher Ersatzkonzepte zur Sicherstellung der erforderlichen Schrottqualität untersucht. Die ursprünglich geplanten, noch nicht umgesetzten Arbeiten am Shredder wurden nach dem Beschluss einer ersatzweise zuzurüstenden Magnettrommel eingestellt.

Im Folgenden werden zunächst die am Shredder umgesetzten Arbeiten und Ergebnisse berichtet. Im weiteren Verlauf des Berichtspunktes M1 werden die Arbeiten und Ergebnisse zur ersatzweise installierten Magnettrommel dargelegt.

Kondirator:

Zunächst wurde eine Einhausung für die Nichteisen-Sortierung und die Errichtung der Containerbox für die Nichteisen-Restfraktion umgesetzt.



Abbildung 27: Blick auf die Shredderanlage mit neu errichteter Einhausung für die Separierung der Nichteisen-Fraktion aus dem zugeführten Schrott, Aufnahme datum: 14.03.2013

Die Abbildung 28 zeigt das Layout der neuen Einhausung für die Siebanlage.

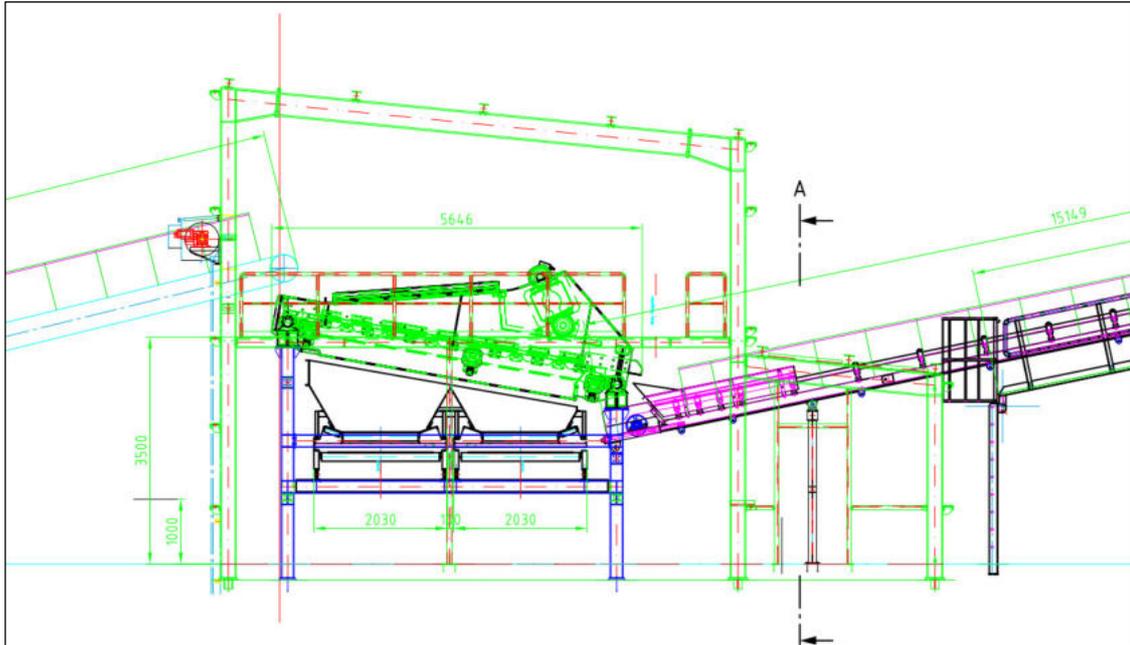


Abbildung 28: Ausschnitt aus dem Layout der neuen Einhausung für die Siebanlage

Die Bestellungen für die Fundamente, den Stahlbau und die Einhausung wurden in 07/2013 ausgelöst. Mit der Errichtung der Fundamente wurde am 19.08.2013 begonnen (Abbildung 29).



Abbildung 29: Beginn der Bauarbeiten zur Errichtung der Fundamente für Siebanlage und Containerverwiegung an der Shredderanlage (19.08.2013)

Das Schwenkband Nr. 21 wurde in der Zeit vom 23.10.-15.11.2013 vollständig eingehaust (Abbildung 30).



Abbildung 30: Einhausung des Schwenkbandes Nr. 21

Am 21.11.2013 wurde der Kondirator mit der optimierten Absiebung sowie den Einhausungen erfolgreich in Betrieb genommen.



Abbildung 31: Optimierte Siebanlage mit Containerverwiegung

Im Zeitraum 10 bis 11/2013 wurde die Software für die Shredderanlage speziell im Bereich der Siebung angepasst. Hierzu gehörte insbesondere die Zurüstung der erforderlichen Bedien- und Überwachungssysteme. Mit der nun vorhandenen Möglichkeit, eine verbesserte Sortierqualität der geshredderten Erzeugnisse darzustellen, können die höherwertigen Anforderungen an die Schrottqualität beim Direkteinsatz auf Basis von eigenem Shredder-Schrott unterstützt werden.



Abbildung 32: Neue Bedien- und Visualisierungstechnik an der Shredderanlage

Die Minderung der Staubfreisetzung an der Shredderanlage wurde durch Zurüstung von Sprinkleranlage und Nebelkanone realisiert, wie die nachfolgende Abbildung 33 visualisiert.



Abbildung 33: Installierte Nebelkanone im Bereich der Shredderanlage

Aufgetretenes Problem

Die bisher erreichten Ergebnisse bei der Erhöhung der Direkteinsatzquote zeigten, dass der ursprünglich geplante Schrotteinsatz hinsichtlich der erzielten Qualität weit überwiegend ausreichend war, um Langprodukte fehlerfrei auswalzen zu können. So konnten im Juni 2014 bereits bei stabiler Produktion sehr gute Direkteinsatzquoten von bis zu 70 % (auf Tagesbasis) erreicht werden, die aber im Monatsmittel aufgrund von Analysenproblemen und hierdurch bedingte Laufzeitverluste von Stahl- und Walzwerk stark reduziert wurden.

Die Probleme traten dadurch auf, dass bei unerkannt eingetragenen hohen Verunreinigungen der Zukaufschrotte der vom Kondirator eingesteuerte hochreine Schrottanteil die erforderliche „Verdünnung“ der Fremdelemente nicht in allen verarbeiteten Chargen sicherstellen konnte. Durch die hierdurch verursachten betrieblichen Störungen (z.B. Abreißer im Walzwerk) sowie das Ausschleusen der fehlerbehafteten Produkte mussten insgesamt erhebliche Laufzeitverluste in Stahl- und Walzwerken in Kauf genommen werden. Problematisch hierbei war, dass eingetretene

Produktionsunterbrechungen im Walzwerk in Folge erhebliche Zeitspannen erforderten, um die für den Direkteinsatz benötigten Rand- und Synchronisationsbedingungen für den Gesamtprozess wieder einzustellen.

Lösungsweg Zurüstung einer Magnettrommel

Um die unerkannt hohen Eintragungen an störenden Fremdelementen weiter zu begrenzen und somit die benötigte chargenweise Konstanz der Schrotteinsatzqualität zu erreichen, wurden verschiedene technische und organisatorische Möglichkeiten untersucht.

Im Ergebnis wurde festgestellt, dass aufgrund der hohen Anteile an zugekauften Leicht- und Schwerschrotten (> 75 %), die nicht durch den Shredder gereinigt wurden, eine gewisse Unsicherheit in der Qualität des Einsatzes verbleiben würde. Infolge der nicht immer erreichbaren vollständigen Transparenz über den Verunreinigungsgrad der zu einem hohen Anteil „just-in-time“ angelieferten Schrotte war die Zurüstung einer weiteren Schrottreinigungsstufe daher eine zwingende Forderung.

Das Konzept sah vor, die Verdünnung der Fremdelemente nicht mehr ausschließlich durch das Zuführen von höchst reinem Shredderschrott zu erzielen; vielmehr sollte durch die Zurüstung einer Magnettrommel zusätzlich die Reinigung sämtlicher Leichtschrotte durchgeführt werden. Es war geplant, mit dieser erstmalig eingesetzten Verfahrenskombination zur Schrottvorbereitung ca. 50 % (vorher ca. 23 %) des eingesetzten Vormaterials zu reinigen.

Zwar war der mit einer Magnettrommel-Anlage erreichbare Reinigungsgrad (7 - 9 % anfallender „Kehricht“) etwas geringer als bei einer Reinigung durch einen Kondirator, jedoch konnten gegenüber einem Kondirator erheblich höhere Durchsatzleistungen erreicht werden, wobei die Umwandlungskosten wirtschaftlich noch vertretbar waren.

Diese Verfahrensweise ist umwelttechnisch vorteilhaft, da

- a) der Durchsatz am Shredder signifikant verringert werden kann und
- b) insgesamt weniger Mengen an Begleitelementen in den Elektrolichtbogenofen eingebracht werden.

Technisches Neukonzept

Im bisherigen Vorhabensverlauf konnte gezeigt werden, dass die ursprünglich vorgesehene Schrottaufbereitung mittels Kondirator hinsichtlich der erzielten Schrotteinsatzqualität weit überwiegend ausreichend war, um fehlerfreie Langprodukte auswalzen zu können. Allerdings konnte nicht ausgeschlossen werden, dass bei einzelnen Chargen unbemerkt hohe Konzentrationen an schädlichen Begleitelementen in den Elektrolichtbogenofen eingeschleppt wurden, was zu betrieblichen Störungen und Unterbrechungen führte. Hierdurch war es schwierig bis unmöglich, über längere Zeiträume einen Produktionsgleichtakt zwischen Stahlwerk und Walzwerk einzustellen, was die Voraussetzung für Direkteinsätze darstellt.

Es wurde daher ein verändertes Schrottversorgungskonzept erarbeitet, um mittels einer zusätzlich zu installierenden Magnettrommel die erforderliche Verdünnung schädlicher Begleitelemente im Schrottmix einer Charge zu erreichen. Das Konzept sah vor, aufgrund des hohen erreichbaren Schrottmassendurchsatzes einer Magnettrommel im Gegenzug die Menge des mit dem Kondirator zu säubernden Schrottes gegenüber der ursprünglichen Planung von 249.600 to/Jahr auf 164.736 to/Jahr zu reduzieren.

Auf Basis von behördlichen Anordnungen wurden am Kondirator abschließend folgende Maßnahmen umgesetzt, wobei Maßnahmen a) und c) Inhalt des ursprünglichen Maßnahmenpaketes „Kondirator“ darstellten.

- a) Weitgehende Schließung der Dachöffnungsfläche der Konditoreinhausung um 90 %
- b) Einhausung von Transportbändern und nachgeschaltete Anlagen,
- c) Abschlussarbeiten zum Sicherheitspaket (Anpassung beim Brand- und Explosionsschutz, Installation von Kameras, etc.),
- d) Abbau und Neuerrichtung des Kamin E20 mit einer Höhe von 47 m.

Die ursprünglich geplanten aber zu diesem Zeitpunkt noch nicht umgesetzten Maßnahmen am Kondirator wurden dagegen nicht weiter verfolgt. Die Kostenplanungen für die Installation einer Magnettrommelanlage zeigten, dass die frei werdenden Mittel aus diesem Maßnahmenpaket die Kosten für die Installation einer Magnettrommelanlage weitgehend decken würden, sodass eine kostenneutrale Umwidmung der noch verfügbaren Mittel erreicht werden konnte. Nachfolgende Tabelle 5 gibt einen Überblick zu den am Kondirator umgesetzten Maßnahmen im Vergleich zum ursprünglichen Plan.

Nr.	Maßnahme	Status
1	Installation von automatischen Sprinkleranlagen und Nebelkanonen zur wirksamen Minderung der Staubfreisetzung in den Zwischenlager- und Umschlagbereichen	teilweise umgesetzt, Rest (Kreisregner/Sprinkleranlagen) entfällt, (Teilwiderrufsbescheid vom 25.08.2015)
2	Maßnahmen zur weiteren Einhausung der Rotormühle mit verbessertem Schallschutz	entfällt (Teilwiderrufsbescheid vom 25.08.2015)
3	Maßnahmen zur weiteren Einhausung an allen Transportbändern und nachgeschalteten Anlagenteilen	umgesetzt
4	Installation einer elektronischen Wassereindüsung und Wasserlöschvorrichtung in den Kondirator (Staubbindung und für Brand- bzw. Havariefall), Montage und Einbindung in die Anlagensteuerung	entfällt (Teilwiderrufsbescheid vom 25.08.2015)
5	Optimierung der vorhandenen Entstaubungsanlage durch a) Abtrennung der Absaugung von Magnet- und Siebtrommel des Kondirators von der vorhandenen Trockenentstaubung und Einbindung dieses Abluftstromes in die Sammelleitung zur neuen Entstaubung (E3) des Stahlwerkes	entfällt (Teilwiderrufsbescheid vom 25.08.2015)
	b) Optimierung Absaugleitung Rotorkammer (Lindemann)	
6	Installation einer automatischen Siebanlage in das Band der Schredderleichtfraktion (Abfüllung der abgeschiedenen Mineralik in geschlossene Container, Verwiegung und unmittelbarer Abtransport), + Bandanlagen, +Einhausung der Bandanlagen und Siebanlage	umgesetzt
	zugehörige Containerverwiegung	umgesetzt
7	Abfüllung der Shredderleichtfraktion in geschlossene Container, Verwiegung und unmittelbarer Abtransport	umgesetzt
	zugehörige Containerverwiegung	umgesetzt
8	schalltechnische Kapselung aller Abwurf- und Übergabestellen	umgesetzt
9	Einhausung NE-Sortierung und Errichtung Containerbox NE-Restfraktion	umgesetzt
10	Optimierung Prozessleitsystem	umgesetzt
11	Sicherheitspaket (Anpassung Brand- und Explosionsschutz, Kameras etc...)	umgesetzt
12	Ingenieurleistungen (Planung, Gutachten)	umgesetzt

Tabelle 5: Teilvorhaben „Optimierung des Kondirators“ mit Darlegung der geplanten und umgesetzten Maßnahmen

Stoffmengenanalyse und umwelttechnische Überlegungen

Planung war es, mit der neuartigen Verfahrenskombination ca. 300.000 t/Jahr Fertigschrott (ca. 1/3 des Gesamteinsatzes) mittels Rütteltisch & Magnettrommel zu säubern und dem Stahlwerk zeitnah zuzuführen. Hierbei sollte der magnetische Schrottteil signifikant erhöht werden. Der entstehende „Kehricht“ von ca. 7 – 9 % sollte von einem Entsorgungsunternehmen verarbeitet und den Rohstoffkanälen wieder zugeführt werden. Bei einer unterstellten Jahreserzeugung des Stahlwerkes von 800.000 t/a wurde folgender Schrott-Mix angestrebt (siehe Abbildung 34):

- erforderliche Einsatzmenge bei 91,5 % Ausbringen: 874.317 t/a
- Schrotteinsatz aus Magnettrommel: 300.000 t/a
- Schrotteinsatz aus Shredder: 132.000 t/a
- Summe anderer Schrotteinsatz: 442.317 t/a

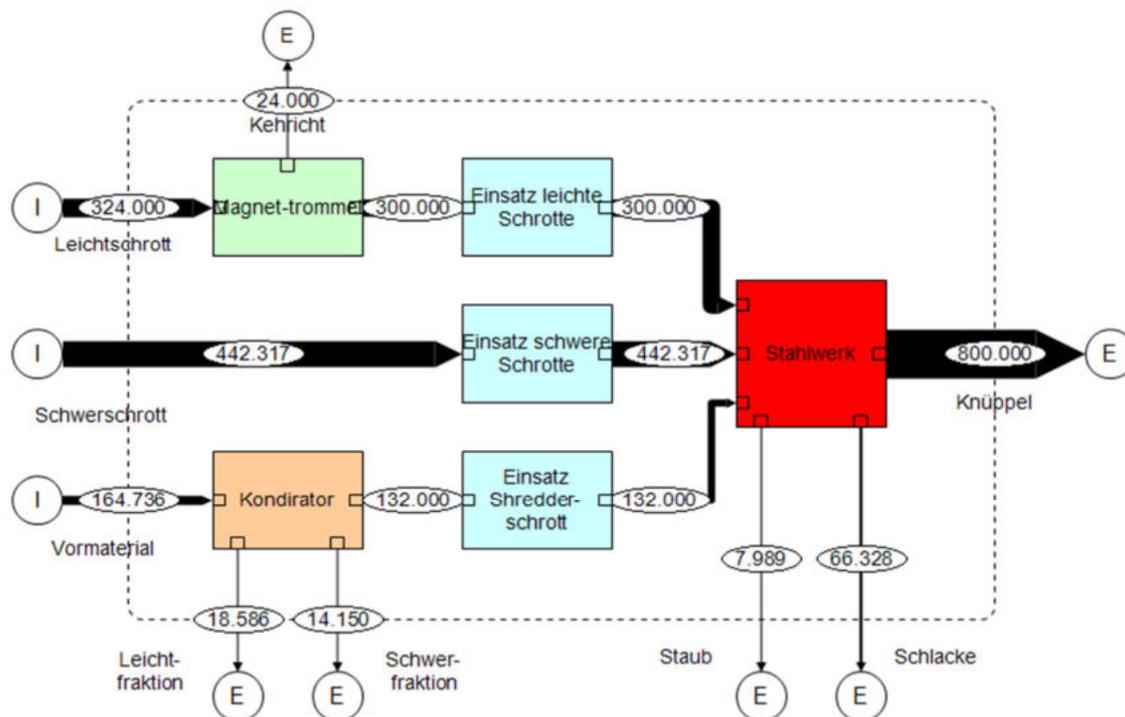


Abbildung 34: geplanter Stoffstrom bei einer Jahreserzeugung von 800.000 t

Die Vorteile der Verfahrenskombination gegenüber den ursprünglich beantragten Maßnahmen am Kondirator waren:

- Die genehmigte Obergrenze für den Schrotteinsatz von 249.600 t/a am Shredder musste im Hinblick auf die Erreichung eines bestmöglichen Schrottmixes nicht mehr angefahren werden; vielmehr wurde eine maximale Einsatzmenge von 164.736 t/a als ausreichend erachtet.
- Aufgrund der signifikant verringerten Shreddermengen konnten Emissionen an PCB's und Furanen vermieden werden (in der Magnettrommel wird keine Schlagenergie zur Erhöhung der Stückigkeit eingebracht); ferner reduziert sich die Freisetzung von Stäuben und Lärm. Bei den Schallimmissionen erwartete ESF hierdurch eine weitere Absenkung von 1 dB(A) an den Immissionsorten.
- Das bisher für den Shredder genehmigte Förderprojekt erreichte bei PCDD/F+PCB im Staubniederschlag einen Wert von 8,9 pg/m²*d (Orientierungsgrenze = 9,0 pg/m²*d). Demgegenüber wurde für die neue Verfahrenskombination mit einer angestrebten Durchsatzreduzierung des

Shredders ein Wert von 7,7 pg/m²*d veranschlagt (Berechnungswert für eine Erzeugung von 125.000 to/a).

- Die Magnettrommel-Anlage wird in der dem Stahlwerk vorgelagerten Schrotthalle betrieben; durch die Kapselung in der Halle werden grundsätzlich gegenüber dem im Freigelände aufgestellten Shredder günstigere Ausgangsbedingungen hinsichtlich Lärm und Stäuben erreicht.
- Aufgrund des Einsatzes von „Fertigschrott“ in die Magnettrommel wird grundsätzlich der Eintrag von Fremdbestandteilen (z.B. Kunststoffe) verringert.
- Voruntersuchungen hatten ferner gezeigt, dass der nutzbare Metallanteil mit der Kombination Scherenschrott / Magnettrommel gegenüber Vormaterial / Shredder um ca. 1 % erhöht werden kann bei vergleichbaren Schrott-Einsatzkosten.

Folgende Arbeiten wurden im Einzelnen durchgeführt:

- 09/2014 | Projektgespräche zwischen ESF und dem Anlagebauer Lagun Artea zur Detaillierung und Finalisierung der technischen Spezifikation
- 10/2014 | Planungs- und Projektierungsarbeiten für Fundamente, Transportbändersysteme und Stahlunterkonstruktionen
- 10-11/2014 | Auslösung der Bestellungen für Magnettrommel, Nebeneinrichtungen und Fundamente
- 01-02/2015 | Lieferung und Vormontage Magnettrommel
- 01-03/2015 | Bauvorbereitende Maßnahmen u.a. Befestigung der Flächen, Vormontage des Transportbändersystems
- 04/2015 | Errichtung des Fundamentes, Montage, Funktionstests und Inbetriebnahme der Anlage, Durchführung von Restarbeiten sowie Fertigstellung der Automatisierung, Durchführung von Betriebsversuchen.

Die Zustimmung der Landesdirektion Sachsen für den Betrieb der Magnettrommelanlage wurde am 23. Februar 2015 erteilt. Die Landesdirektion Sachsen beurteilte die Zurüstung der Magnettrommel wie folgt:

„Damit kann eine Reinigung der eingesetzten Scherenschrotte durchgeführt werden, die sich positiv auf die Betriebsparameter des Stahlwerkes auswirken, wie

- *Abtrennung von nichtmagnetischen Bestandteilen aus den zugekauften Scherenschrotten,*
- *Verringerung des Eintrages von Nichteisen-Metallen (CU, Pb, Sn, HG) in den Schmelzprozess,*
- *Weitere Verringerung des erforderlichen Energieeinsatzes im Schmelzofen,*
- *Verringerung des Anfalls von Schlacke und Stäuben im Schmelzprozess und*
- *Verbesserung der Emissionssituation durch verringerten Eintrag schadstoffhaltiger Bestandteile in den Schmelzprozess.“*

„In Zusammenhang der Auswirkungsbetrachtungen kann die geplante Änderung keine nachteiligen Auswirkungen hervorrufen, die für die Prüfung der Genehmigungsvoraussetzungen nach § 6 Absatz 1 Nummer 1 BImSchG erheblich sein können.“

Nachstehende Abbildung 35 zeigt den schematischen Aufbau der Magnettrommelanlage. Abbildung 36 zeigt die Magnettrommelanlage unmittelbar nach dem erfolgten Aufbau.

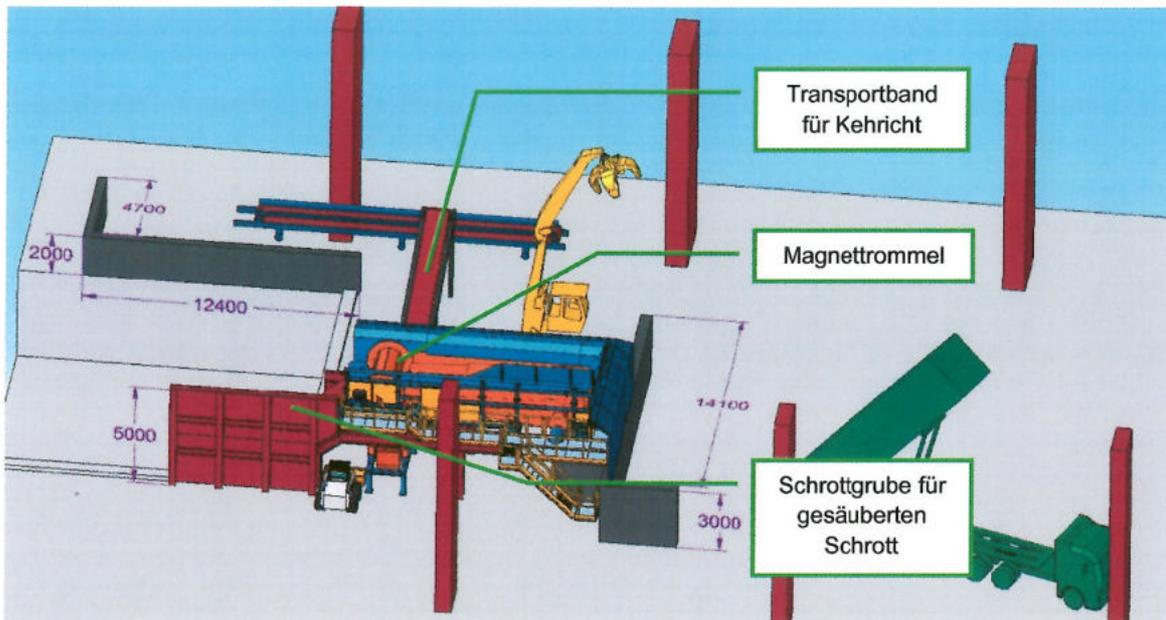


Abbildung 35: Schematische Darstellung Magnettrommelaufbau



Abbildung 36: Magnettrommelanlage nach dem erfolgten Aufbau im April 2015

Im Mai 2015 wurde mit dem Probetrieb der Magnettrommelanlage begonnen. Hierbei wurden starke Vibrationen und Schwingungen in der Stahlkonstruktion der Schrotthalle im Bereich der Magnettrommel festgestellt, die einen fortgesetzten Betrieb der Magnettrommel nicht erlaubten. Es wurde entschieden, die Anlage mit einem Frequenzumrichter nachzurüsten.

- Mit Hilfe des zugerüsteten Frequenzumformers konnte die Schwingfrequenz des Rütteltisches von ca. 16 Hz auf ca. 10 Hz abgesenkt werden. Damit wurde das Problem gelöst.
- Die Magnettrommelanlage konnte ab Juni 2015 in den Dauerbetrieb übergeben werden.
- Das neue Schrottversorgungskonzept wurde mit dem Landesamt Sachsen ausführlich diskutiert. Am 29.06.2015 wurde ein Änderungsantrag nach §§ 16 Abs. 2 und 8a BImSchG

„Verminderung der Dioxinbelastung durch Reduzierung des Kondiratordurchsatzes in Verbindung mit Änderung Betrieb Magnettrommel“ gestellt.

- Das Landesamt Sachsen bewertete im Ergebnis das geänderte Schrottvorbereitungskonzept positiv und hatte daher mit Schreiben vom 25.08.2015 einen Teil-Widerrufbescheid für die „Nachträgliche Anordnung nach §17Abs.1Satz1BlmSchG zum Betrieb der Schrottaufbereitungsanlage Typ Kondirator vom 13 Dezember 2012“ erlassen.

Überprüfung der Wirksamkeit des Schrottvorbereitungskonzeptes

Um die Wirksamkeit des neuen Schrottvorbereitungskonzeptes mittels Magnettrommel zu überprüfen, wurden die Absiebquoten der Magnettrommel erfasst und bewertet:

- Unmittelbar nach Installation der Magnettrommel wurden Absiebquoten von ca. 5 – 6 % erreicht.
- In einer größeren Stichprobe in 2015 wurde der abgesiebte, nicht magnetische Anteil mit 94,1 t verwogen. Bezogen auf die von 110 LKW angelieferte Gesamtschrottmenge von 2.483 t wurde eine Absiebquote nunmehr von knapp 4 % ausgewiesen.
- Die Verfolgung der Absiebmengen seit Inbetriebnahme der Magnettrommel zeigt, dass die Absiebquoten gegenüber dem Zeitraum nach der Inbetriebnahme der Magnettrommel absanken. Dieser Effekt kann dadurch erklärt werden, dass infolge der Absiebens die Qualität der angelieferten Schrotte auch gegenüber den Lieferanten zunehmend transparenter darlegbar wurde. Die erhöhte Transparenz hinsichtlich der angelieferten Schrottqualität ermöglicht es, qualitativ schlechte Schrottanlieferungen unmittelbar zu erkennen und zu reklamieren.
- Die Absiebquoten haben sich im 1. Halbjahr 2018 auf Werte um 3 % vom Einsatz stabilisiert.

M2 Zurüstung von EAF-Schlackentüren

Im Zeitraum vom 01.09.2012 bis 07.01.2013 wurde das erste Gefäßoberteil des Elektro-Lichtbogenofens auf die neue Schlackentürtechnologie umgebaut und erfolgreich in Betrieb genommen. Der E-Ofen mit der neuen Schlackentür wurde erstmalig im Zeitraum vom 07.01.2013 bis 22.01.2013 mit der neuen Funktion betrieben; die neue Schlackentürtechnologie hatte sich in dieser Testphase sehr gut bewährt. Abbildungen 37 und 38 zeigen das Gefäßoberteil des Elektro-Lichtbogenofens vor und nach dem Umbau.



Abbildung 37: Blick auf das äußere Gefäßoberteil des Elektro-Lichtbogenofens (EAF); Linke Abb.: Schlackentüre vor dem Umbau; Rechte Abb.: Neue Schlackentüre mit komplexer Ansteuerung



Abbildung 38: Blick in das innere Gefäßoberteil des Elektro-Lichtbogenofens (EAF) mit Kühlsystem und Schlackenausgang Linke Abb.: vor dem Umbau Rechte Abb.: nach dem Umbau

Zum 07.01.2013 wurde mit dem Umbau des zweiten Gefäßoberteiles begonnen. Am 10.05.2013 wurde das zweite Gefäßoberteil des Elektrolichtbogenofens mit der neuen Schlacketüren-Technologie in Betrieb genommen und testweise bis zum 27.05.2013 betrieben. In diesem Zeitraum wurde speziell auch die Feinjustierung der Steuerungs-Software durchgeführt. Seit 06/2013 sind beide Schlackentüren erfolgreich in Betrieb.

M3 Umrüstung der Sekundärkühlung an der Stranggießanlage

Ausgehend von den innerhalb des Maßnahmenpakets A1 bereits festgelegten Parametern für die neuen leistungsfähigeren Kokillen und deren veranschlagte Kühlwirkungen wurden die grundsätzlichen Anforderungen an die Sekundärkühlung erarbeitet. Hierauf aufbauend wurden technische Gespräche mit potenziellen Lieferanten geführt. Aufgrund der engen anlagentechnischen Kopplung von Primär- und Sekundärkühlung wurde als Lieferant wiederum die Fa. Siemens VAI (SVAI) ausgewählt.

Auf Basis der Zielparameter - insbesondere der geforderten Schrott- und Produktkenndaten sowie der zu erreichenden Produktivitäts-Spannweite - wurden unterschiedliche Kühlszenarien berechnet. Wesentliche Fragestellung war, ob aufgrund der hohen Varianz bei den Gießgeschwindigkeiten eine Unterteilung der Sekundärkühlzone in drei oder vier einzeln ansteuerbare Segmente erfolgen sollte. Insbesondere war die mit der hohen Direkteinsatzquote in Verbindung stehende Frage zu klären, ob und mit welcher Abkühlstrategie trotz fehlender Unterschreitung des γ/α -Transus eine Rissfreiheit der Knüppel zu garantieren sein wird.

Durchgeführte Simulationsrechnungen zum Erstarrungsverhalten in der Gießanlage zeigten, dass vier unabhängig voneinander ansteuerbare Kühlsegmente benötigt würden, um die notwendige Fertigungssicherheit zu erreichen. Nachstehende Abbildung 39 und Abbildung 40 zeigen vergleichend für beide Varianten die Berechnungsergebnisse für die Temperaturentwicklung während des Gießens im Querschnitt der Knüppel auf.

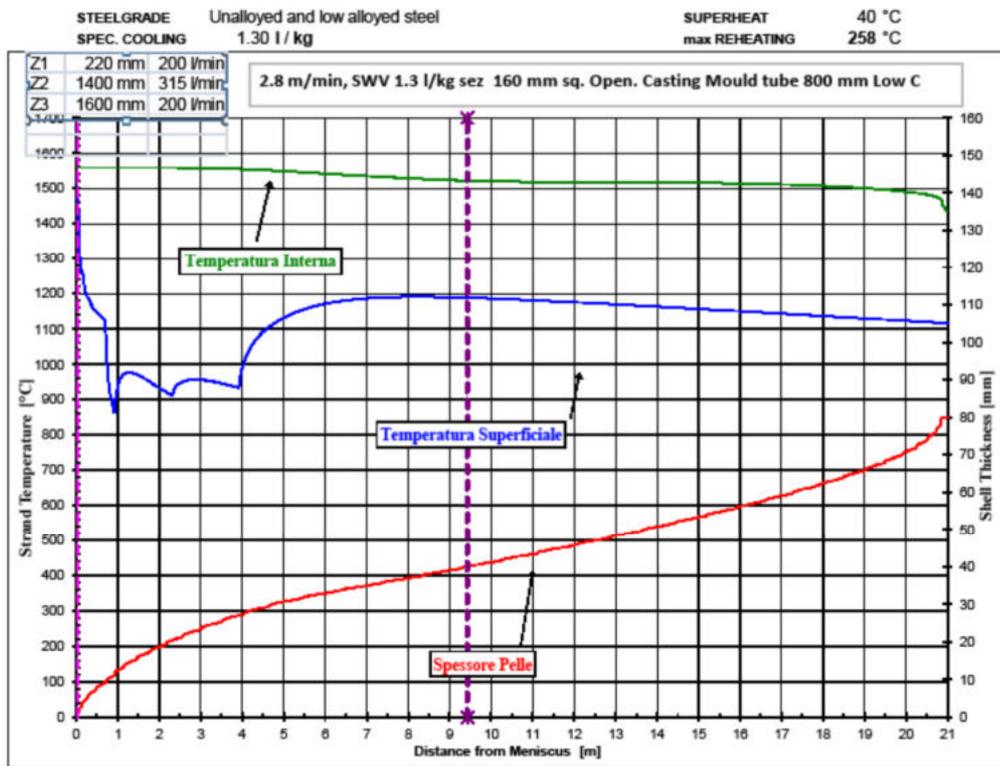


Abbildung 39: Simulationsergebnis zur Kühlwirkung bei Aufteilung in drei Kühlzonen, 160-mm Quadrat-Strang (grün = Temperatur im Stranginneren, blau = Temperatur auf der Außenoberfläche, rot = Strangschalendicke)

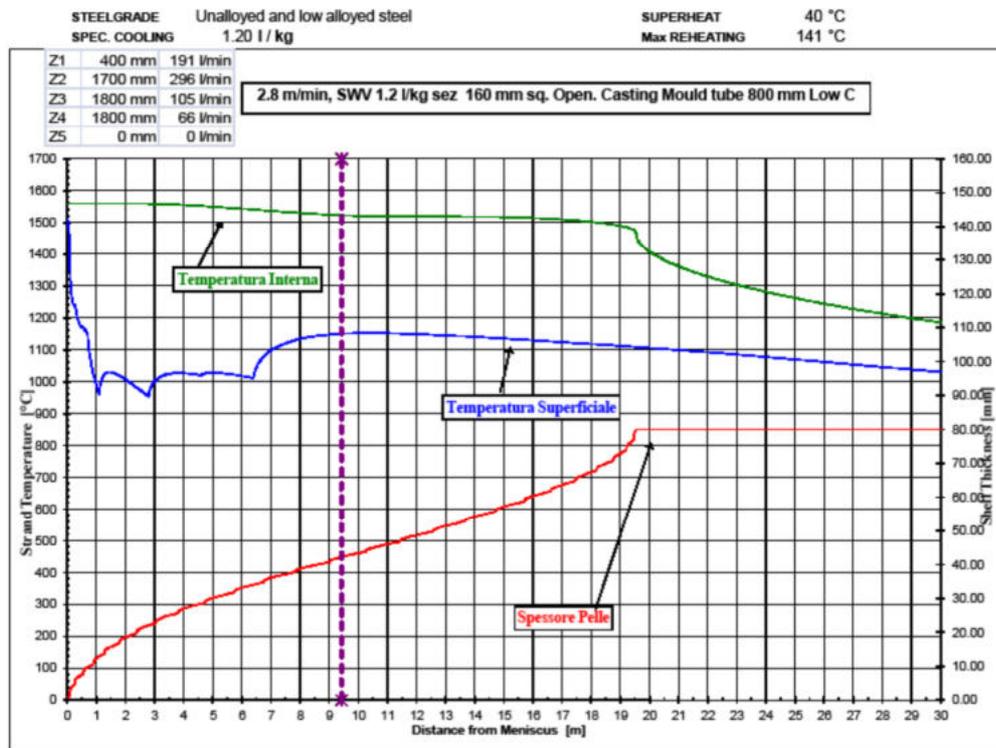


Abbildung 40: Simulationsergebnis zur Kühlwirkung bei Aufteilung in vier Kühlzonen, 160-mm Quadrat-Strang (grün = Temperatur im Stranginneren, blau = Temperatur auf der Außenoberfläche, rot = Strangschalendicke)

Die Spezifikation für das Detailengineering konnte im April 2014 abgeschlossen werden, sodass am 14.05.2014 die Bestellung für das Detailengineering ausgelöst werden konnte. Daran schlossen sich nachfolgend beschriebene Arbeiten/Meilensteine an:

- 07 / 2014 | Lieferung der P&I (Process und Instrumentation) -Diagramme für die neue Sekundärkühlung in den Zone 1 bis 4.
- 08 / 2014 | Übergabe der Komponentenlisten durch den Anlagenbauer zur Prüfung und Freigabe durch ESF Feralpi.

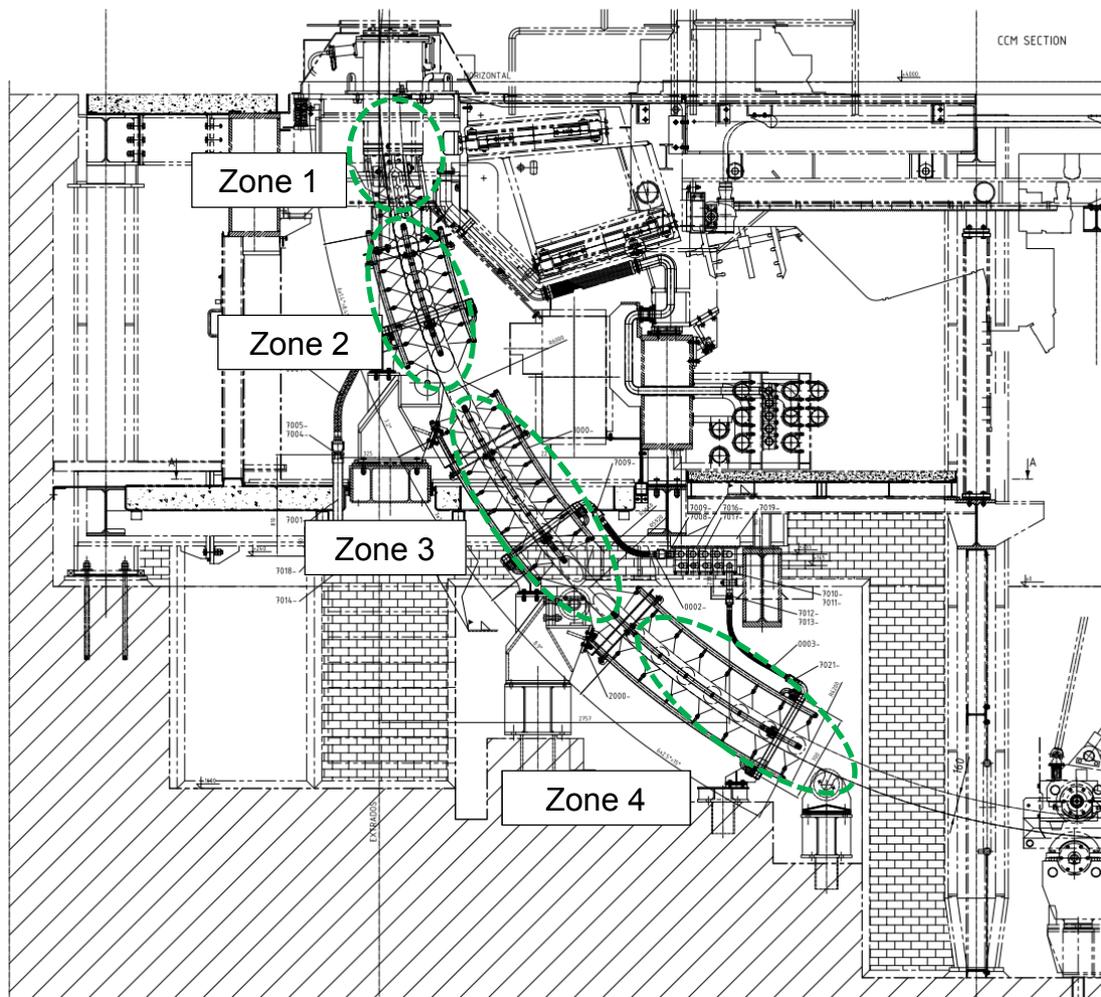


Abbildung 41: Übersichtszeichnung der Sekundärkühlung mit der neu entwickelten Zonenaufteilung

Die geplante Inbetriebnahme der Sekundärkühlung für Mitte Januar 2015 konnte termingerecht abgeschlossen werden. Die Arbeiten hierfür gliederten sich im Berichtszeitraum wie nachfolgend dargelegt:

- 01.12.2014 – 15.12.2014 | Anlieferung der neuen Anlagenteile für die Sekundärkühlung (Regelstrecke, Sprühstöcke, Düsen)
- 15.12.2014 – 24.12.2014 | Demontage der Alteinrichtungen wie Rohrleitungen und Regelstrecken
- 05.01.2015 – 16.01.2015 | Montagearbeiten wie Ausbau der Medienwege, Installation der Regelstrecke
- 17.01.2015 | Durchführung von Kaltfunksproben
- 19.01.2015 | Inbetriebnahme



Abbildung 42: Regelstrecke der Sekundärkühlung (Stränge 1 – 5, jeweils mit 4 Zonen)

Die Stranggießanlage befindet sich seit dem 20.01.2015 im Produktionsbetrieb. Während der ersten Produktionswochen erfolgten umfangreiche Erprobungen der Knüppel. Wesentliche Zielgrößen waren die Rissfreiheit der Knüppel sowie die Gefügestrukturen. Weiterhin wurde für die logistische Koppelung von Stahl- und Walzwerken der zur Verfügung stehende Bereich der Gießgeschwindigkeiten ausgetestet.

Infolge von Veränderungen an den Wassermengen und deren Verteilungen konnten fortlaufend Verbesserungen erreicht werden. Die jeweils erreichte Knüppelqualität wurde mittels Beizscheiben und mechanisch-technologischer Erprobungen bewertet und dokumentiert. Es konnten die Nachweise erbracht werden, dass die geplanten maximalen Gießgeschwindigkeiten mit der erforderlichen Knüppelqualität erreicht werden. So wurde z.B. beim Format 160-Quadrat in der Güte B10 eine maximale Gießgeschwindigkeit von 3,0 m/min erreicht. Dies entspricht einer Erhöhung der max. möglichen Gießgeschwindigkeit von ca. 20 % (Vergleichswert Altanlage: 2,5 m/min).

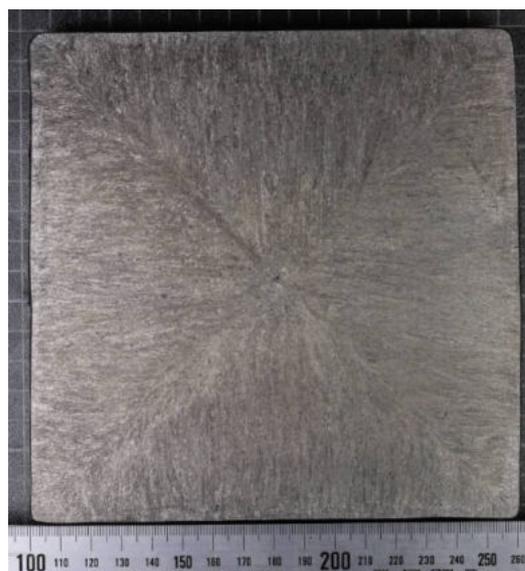


Abbildung 43: Makroätzung einer Knüppelprobe 160-Quadrat der Stahlmarke B10, „Beizscheibe“

Aufgrund der engen anlagentechnischen Verknüpfung mit dem Teilvorhaben 1 (Umrüstung der Kokillenkühlung an der Stranggießanlage) wurden ebenfalls weitere Leistungstests der neuen Sekundärkühlung durchgeführt.

Wesentliches Ziel der Leistungstests waren die Nachweise der projektierten Gießgeschwindigkeiten sowie der Profilgeometrie. Bestandteil aller Leistungstests waren ferner Beprobungen der gegossenen Knüppel, um hierdurch eine metallurgische Bewertung der Gefüge durchführen zu können.

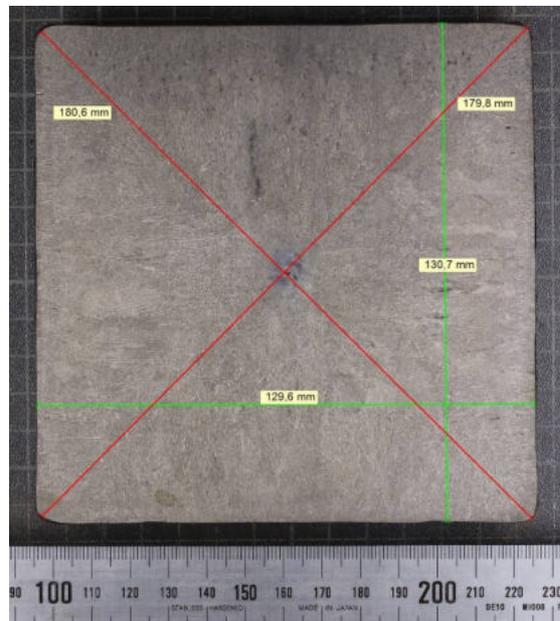


Abbildung 44: Makroätzung einer Kuppelprobe, Format: 130 mm-Quadrat

Im Ergebnis wird mit der neuen Sekundärkühlung das geforderte Gießgeschwindigkeits-Spektrum erreicht, wobei die Maßhaltigkeit der Knüppel den Anforderungen des Walzwerkes entspricht.

Beispielsweise konnte bei der Erzeugung des Vormaterialquerschnittes 130 mm-Quadrat eine Anhebung der Gießgeschwindigkeit von 3,4 auf 3,8 m/min erreicht werden. Die Leistungssteigerung beim Abgießen kleiner Querschnitte ist deshalb besonders wichtig, da hierdurch auch bei der systemisch geringeren Gießleistung im Bereich kleiner Vormaterialquerschnitte eine kinematische Koppelung von Gießanlage mit dem nachgeschalteten Walzwerk erreicht werden kann. Die Abnahme der Anlage wurde am 01.07.2015 erreicht.

Teilvorhaben 5: Logistik

L1 (Zurüstung einer Schrotteinsatzplanung)

Technische Grundvoraussetzung für Zurüstung einer Schrotteinsatzplanung und Schrotterfassung (Maßnahmen L1 und L2) ist die drahtlose Kommunikation der hierfür benötigten verteilten Systeme in den Krankanzeln sowie in der Schrotthalle. Es zeigte sich im Rahmen der Versuche, dass der geplante drahtlose Datenaustausch grundsätzlich möglich ist. Als problematisch herausgestellt haben sich jedoch die starken elektromagnetischen Felder, die durch die Elektromagneten der Kräne sowie durch Einstrahlungen aus dem Bereich des Elektro-Lichtbogenofens verursacht werden. Durch Optimierung von Baugruppen und deren Positionierung in der Fertigung konnte der drahtlose Datenaustausch in der Schrotthalle im 11/2012 erfolgreich abgeschlossen werden.

Ursprünglich war geplant, die Maßnahmen L1 (Zurüstung einer Schrotteinsatzplanung) und L2 (Zurüstung einer betrieblichen Schrotterfassung) bis 11/2013 abzuschließen. Die Ausrüstung der Schrottkräne mit neuer Hardware konnte jedoch erst nach dem Austausch der Krankanzeln sinnvoll erfolgen. Für den Austausch der Krankanzeln wurde ebenfalls ein längerer Produktionsstillstand benötigt, der zum Plantermin nicht zur Verfügung stand, Die Maßnahmen L1 und L2 wurden neu terminiert und in dem zur Verfügung gestandenen Produktionsstillstand 12/2013 umgesetzt.

Die Programmierarbeiten für das neue Schrottdigitalisierungssystem zur Erfassung der Schrotteingänge sowie die Zuordnung zu Lagerplätzen wurden in 05/2013 abgeschlossen. Die Erfassung der eingehenden Schrottmengen und -sorten erfolgt mittels mobiler Erfassungssysteme (Abbildung 45); die Bestellung der mobilen Systeme wurde in 06/2013 ausgelöst. Mitte Juli 2013 wurde eine Testphase gestartet, in der die Schrotterfassung mittels der mobilen Systeme an den verschiedenen Schrotterfassungsstationen sukzessive erprobt wurde.

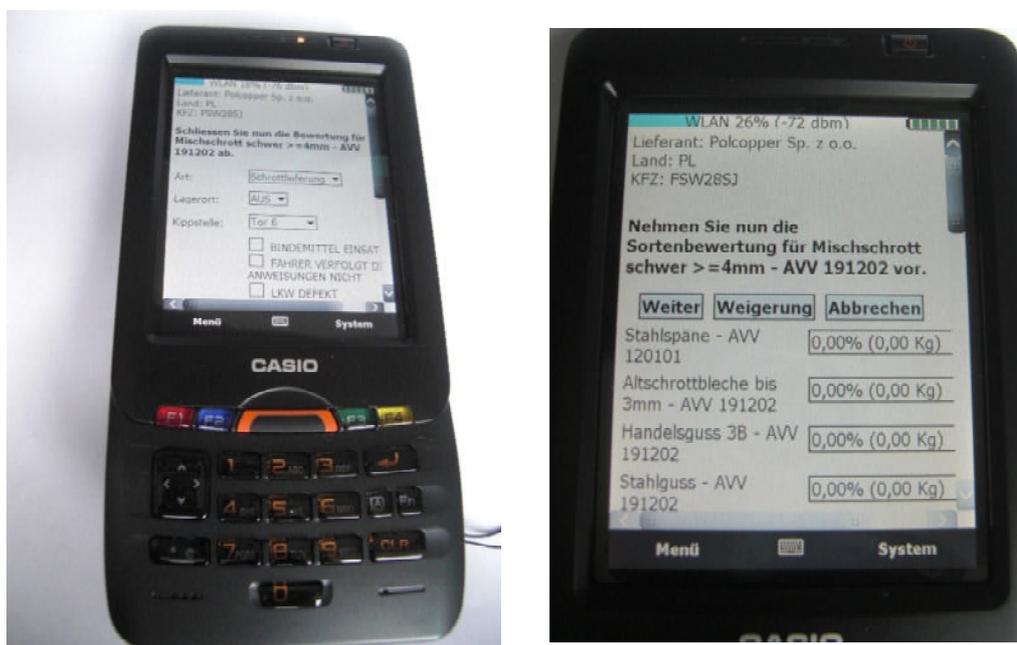


Abbildung 45: links: mobiles Erfassungssystem; rechts: Screenshot für die Erfassung der anteiligen Schrottsorten

An die Mitte Juli 2013 gestartete Testphase der neuen Schrotteinsatzplanung schlossen sich notwendige Optimierungsarbeiten an der Software an. Im Zeitraum vom 11. bis 12.11.2013 wurden sämtliche Schrott-Eingangslieferungen eingestellt, um eine Umstellung auf das neue System zu erlauben.

Die „Live-Inbetriebnahme“ des Systems erfolgte dann am 13.11.2013. Seit diesem Zeitpunkt war das System durchgängig im Einsatz. Bis Ende Februar 2014 wurden hiermit insgesamt 10.721 Schrottlieferungen per LKW und 637 Lieferungen per Waggon erfasst.

Die in diesem Zeitraum gewonnenen Erfahrungen zeigten, dass die an das System gesteckten Erwartungen voll erfüllt werden. So konnten nunmehr auf Basis der Kenntnis von Lagerorten, Schrottqualitäten und eingeschätzten Verunreinigungsgraden die Schrotteinsätze so geplant werden, dass den unterschiedlichen Qualitätsanforderungen bei Kalt- und Direkteinsätzen Rechnung getragen werden kann.

Ferner erlaubte das System Auswertungen zu Qualitätsmerkmalen am Produkt in Korrelation zu den getätigten Schrotteinsätzen. Auf Basis dieser Korrelationen konnte der Schrotteinsatz im Hinblick auf das Erreichen der Qualitätsziele sowie insichtlich des Kostenoptimums kontinuierlich optimiert werden.

L2 (Zurüstung einer betrieblichen Schrotterfassung)

Im Zeitraum 05/06/2013 wurden von den Abteilungen „Automatisierung“ und „Schrottlogistik“ die relevanten IST-Prozesse erfasst. Auf Basis der bestehenden Anforderungen wurden die erforderlichen Prozessänderungen abgeleitet und beschrieben. In 07/2013 wurden von der Abteilung „Automatisierung“ die anlagentechnischen Vorgaben und Spezifikationen entwickelt.

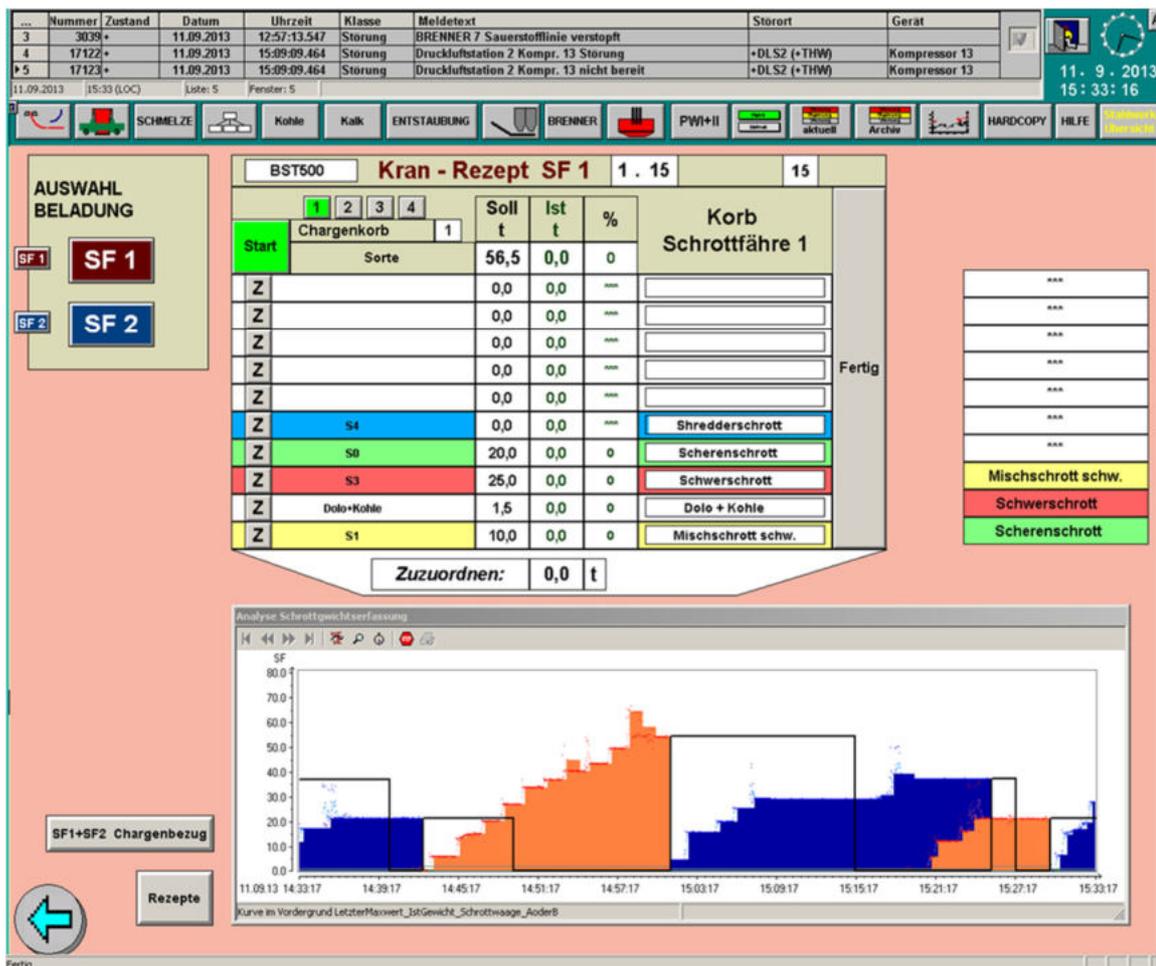


Abbildung 46: Screenshot des Programms zur mengen- und sortenmäßigen Erfassung der Schrottkorbbeladung

Geplant war, im Winterstillstand den Austausch der Krankanzeln abzuschließen, sodass ab 12/2013 die Schrottkräne mit der neuen Hardware und den Touchpanels zur Erfassung der Schrottsorten und -mengen ausgerüstet werden konnten. Eine erfolgreiche Inbetriebnahme der betrieblichen Schrotterfassung konnte im Mai 2014 erreicht werden. Hieran schlossen sich folgende Maßnahmen an:

- 05–06/2014 Integration des Systems in die DV-Landschaft / Abstellung von Kommunikations-problemen (WLAN)
- 07–08/2014 schichtweise Testphasen mit anschließenden Anpassungsarbeiten an der Software

Anfang September 2014 konnte die Integration der Schrotteinsatzplanung erfolgreich abgeschlossen werden. Das System arbeitet seit diesem Zeitpunkt im Dauerbetrieb.

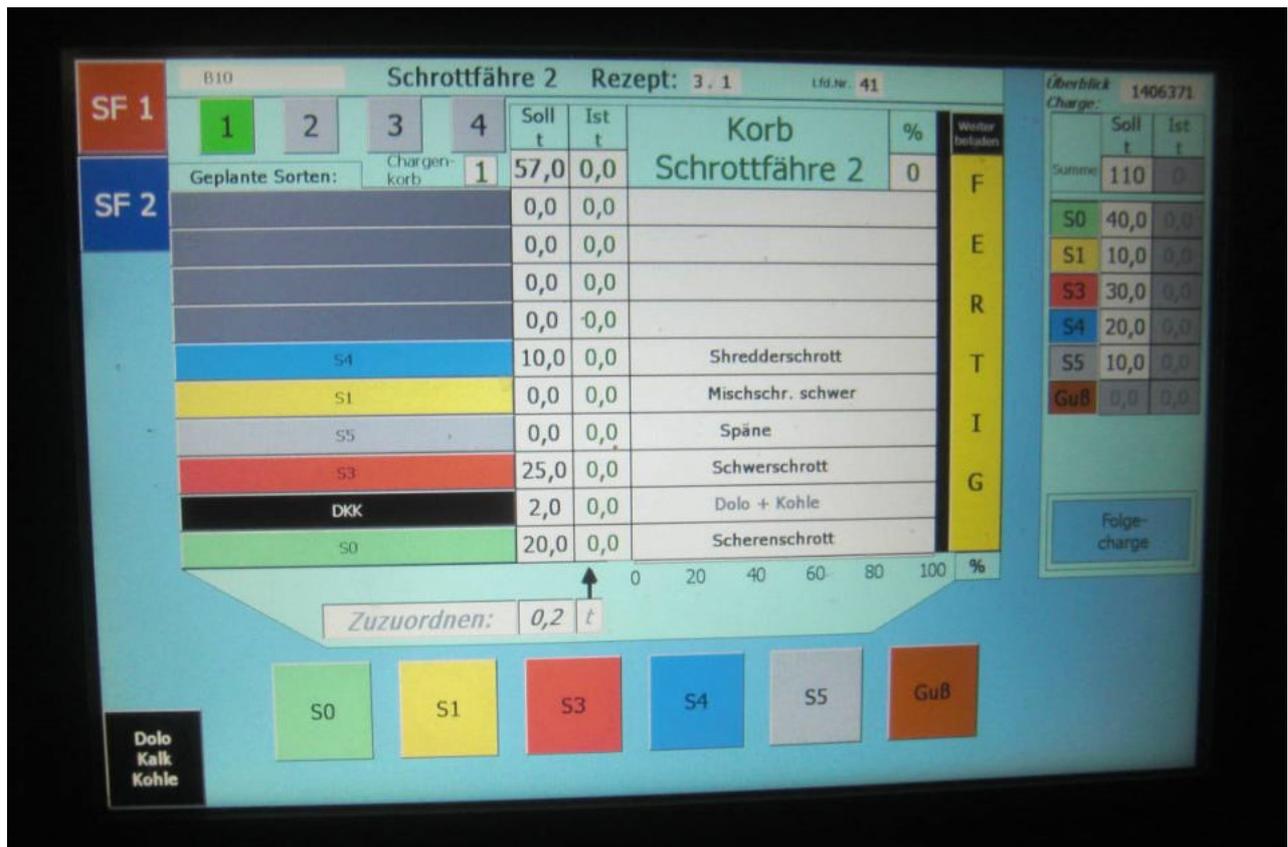


Abbildung 47: Touch-Panel in der Krankkabine mit Visualisierung der Soll- / Ist-Schrotteinsätze

L3 (Zurüstung einer Schnittlängenoptimierung)

Im Zuge der Zurüstung einer Knüppel-Schnittlängenoptimierung wurden folgende Arbeiten durchgeführt:

- Neukalibrierung der Lasermechanik beim Hersteller und Austausch der „Altgeräte“ (07/2012 bis 01/2013),
- Verbesserung der Sauberkeit der Kühlluft für die installierte Lasermesstechnik durch den Einbau von Aktivkohlefilter (08/2012/09/2012),
- Realisierung einer alternativen Längenmessung (Fail-Safe) durch Zurüstung von Inkrementalgebern an den Ziehmaschinen (11/2012),
- Inbetriebnahme der Software für die Längenoptimierung mit den wesentlichen Eingangsgrößen Ist-Länge der bereits geteilten Knüppel und zugehörige Verteilertemperatur (01/2013 bis 02/2013).
- Die Inbetriebnahme der zweiten Längenmessung mittels der Ziehmaschine wurde in 04/2013 abgeschlossen. Hierdurch wird das Laser-basierte Hauptsystem plausibilisiert.
- Die Kalibrierung der Lasermess-Systeme wurde in 05/2013 durchgeführt.
- Im Zeitraum 04-06/2013 erfolgten Anpassungsarbeiten an der Software zur Schnittlängenoptimierung. Eine wesentliche Herausforderung war es, die Messfehler des Systems zu minimieren.
- Die vorhandenen Brennschneidemaschinen wurden auf die erhöhten Genauigkeitsvorgaben durch Zurüstung einer neuen MSR-Technik ertüchtigt.

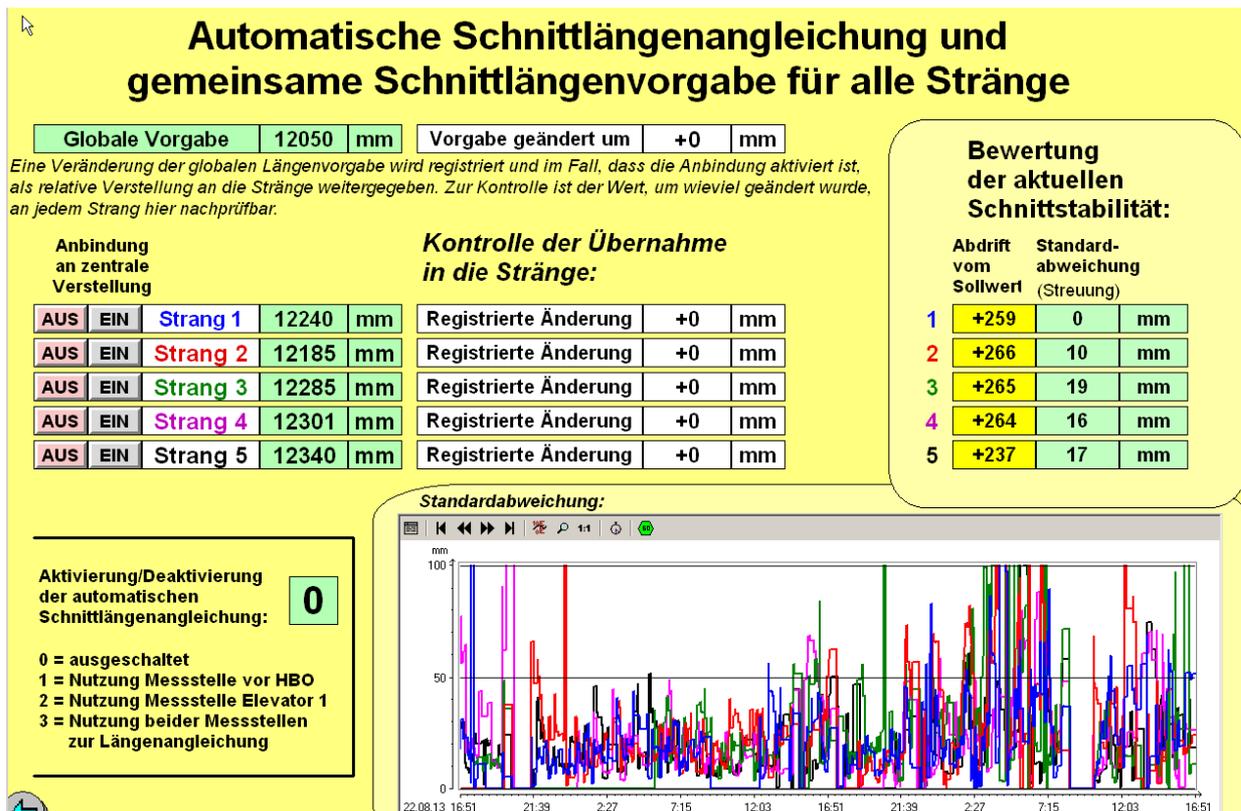


Abbildung 48: Screenshot aus der erstellten Inbetriebnahme-Software. Dargestellt sind die gemessenen Knüppellängen und die zugehörigen Standardabweichungen zum Planwert.

Als problematisch stellten sich die zu diesem Zeitpunkt erreichte Längenmessgenauigkeiten des Systems heraus; die erreichte Messgenauigkeit betrug ca. +/- 150 mm. Diese hohen Unsicherheiten bei der Knüppelteilung führten zu erheblichen Aufteilungsverlusten im Walzwerk.

Im Q4/2013 wurde daher intensiv an der Verbesserung der Längenmessung gearbeitet. Durch die Zurüstung eines redundant operierenden Längenmesssystems auf Laser-Basis sowie nach Optimierungen am Haupt-Meßsystems selbst konnte der Messfehler auf einen akzeptablen Wert von ca. +/- 50 mm abgesenkt werden. Daraufhin wurden die Arbeiten an der Schnittlängenoptimierung im Dezember 2013 abgeschlossen.

L4 (Zurüstung eines Fertigungsleitsystems auf Basis Knüppelindividualverfolgung)

Die erste Stufe für die Zurüstung des erforderlichen Fertigungsleitsystems (L4) wurde im Januar 2013 mit der Aufnahme der Anforderungen an das System gestartet. Mit der Erarbeitung eines Grob-Lastenheftes wurde im 02/2013 eine Ingenieurgesellschaft beauftragt.

Die Inbetriebnahme des Fertigungsleitsystems setzte die erfolgreiche Umsetzung der Maßnahmen L1 bis L3 sowie L5 voraus und integrierte diese. Es war daher zwangsläufig, dass die Inbetriebnahme des Fertigungsleitsystems zuletzt erfolgen konnte. Geplant war es, den Abschluss der Maßnahme in 12/2016 zu erreichen. Folgende Arbeiten wurden durchgeführt:

- Die bestehende Prozess- und die aktuelle DV-Landschaft wurden erfasst und dokumentiert.
- Die sich aus der hohen Direkteinsatzquote ergebenden Anforderungen an die Geschäftsprozesse wurden aufgestellt und dokumentiert.
- Hierauf aufbauend wurde ein erstes Anforderungskonzept (Groblastenheft) unter Berücksichtigung der bestehenden Systeme & Funktionalitäten erarbeitet.

Wesentliche Änderungen wurden in den Geschäftsprozessen Schrotteinkauf & Grobplanung sowie Fertigungssteuerung erforderlich. Die relevanten Geschäftsprozesse sollten durch die Implementierung eines Fertigungsleitstands unterstützt werden. Die Untersuchung ergab, dass die formulierten Anforderungen zu einem großen Teil mit dem vorhandenen ERP-System „BRAIN/INFOR“ im Standard bedient werden konnten.

In den nächsten Schritten wurden die Planungsprämissen detailliert beschrieben und hieraus die Planungsalgorithmen abgeleitet, die

- a) zu der vorgesehenen Direkteinsatzquote bei
- b) maximaler Gesamtwirtschaftlichkeit

führten. Hierbei wurde in zwei Planungsebenen unterschieden:

Steuerungsebene:

Wesentlicher Schwerpunkt bildete in diesem Zusammenhang die Erstellung eines Simulationsmodells, das kontinuierlich vorausschauend die bestehenden Arbeitsvorräte unter Berücksichtigung der aktuellen Produktionsbedingungen bewertet und drohende Engpässe signalisiert. Die Simulationen und deren Bewertungen erfolgten im Hinblick auf die erreichbare Synchronität beider Betriebe sowie der zur Verfügung stehenden Pufferungsmöglichkeiten.

Grobplanungsebene:

Schwerpunkt der Arbeiten war der Aufbau von Modellen, die die konkurrierenden Planungsziele von Schrotteinsatz, Produktionsleistungen der Betriebe, Direkteinsatzquote und Beständen im Sinne eines gesamtwirtschaftlichen Optimums vermittelten. Hieraus wurden Vorgaben für den Schrotteinkauf sowie die Reihenfolgenplanung abgeleitet.

Aufbauend auf dem erarbeiteten Anforderungskonzept wurden erste Detaillierungen bezüglich der Planungsprämissen entworfen. Wesentlich für den vom Planungssystem zu berechnenden optimalen Betriebspunkt war die Bestimmung der konkurrierenden Kosten. Es wurden daher die spezifischen Umwandlungskosten im Stahlwerk als Funktion der erreichten Produktivitäten ermittelt.

Auf Basis des erarbeiteten ersten Anforderungskonzeptes wurden Gespräche mit potenziellen Anbietern zur Implementierung des Fertigungsleitsystems geführt. Die Arbeiten gliederten sich wie nachfolgend beschrieben:

- 04 – 05/2014 | interne Projektgespräche zur Klärung der Vergaben
- 05 – 09/2014 | Gespräche mit potentiellen Anbietern:
 - MEA Engineering GmbH
 - Institut für Technische Logistik und Arbeitssysteme der TU Dresden
 - HGDS Dataservice GmbH
- 09/2014 | das Institut für Technische Logistik und Arbeitssysteme der TU Dresden wird mit Erstellung eines Simulationsmodells beauftragt. Der Auftrag beinhaltet folgende Teilarbeitspakete:
 - Konzipierung eines vereinfachten System-Ressourcenmodells
 - Konzipierung eines vereinfachten System-Prozessmodells (Planungshierarchie / -methoden und Tools)
 - Erfassen aller relevanten Restriktionen der Planung und anderer für die Planung relevanten Bereiche
 - Festlegen der konkreten Ziel- und Optimierungskriterien
 - Ermittlung und Spezifikation von Lösungsansätzen

- Bewertung der Lösungsansätze (auch unter Berücksichtigung der Implementierung in vorhandenes ERP-System)
- 09/2014 | Beauftragung der Fa. HGDS Dataservice GmbH mit Arbeiten zur Vereinheitlichung und Zentralisierung existierender Datenbanken. (Grundvoraussetzung für den weiteren Aufbau eines FLS)

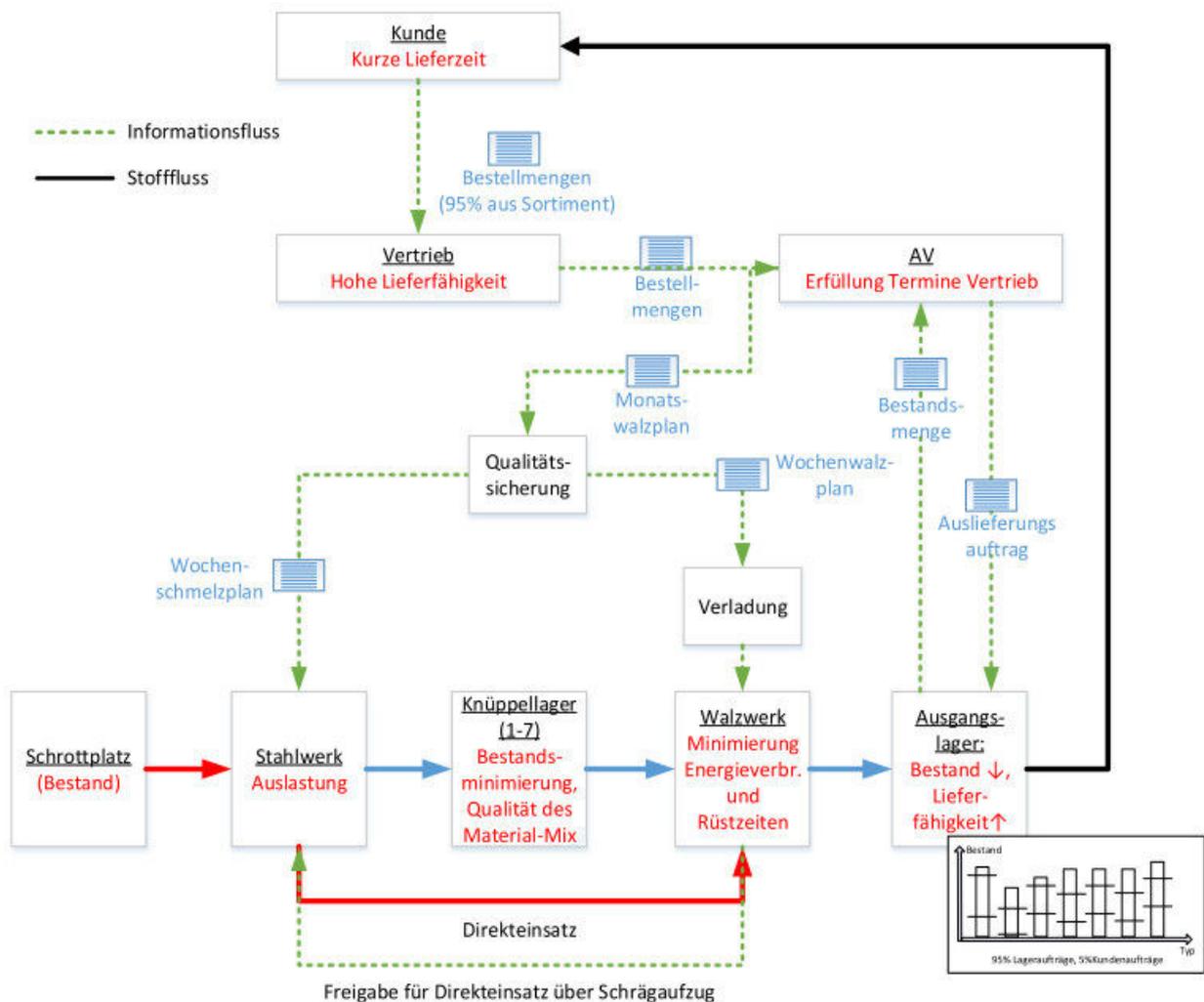


Abbildung 49: Zu berücksichtigende Stoff- und Informationsflüsse innerhalb des Simulationssystems, Skizze des Institut für Technische Logistik und Arbeitssysteme der TU Dresden

Im Zeitraum vom 30.09.2014 - 19.12.2014 wurde vom Institut für Technische Logistik und Arbeitssysteme der TU Dresden das Systemressourcenmodell sowie das Vorgehen für die Erstellung der Produktionspläne von Stahl- und Walzwerken erarbeitet. Abbildung 50 zeigt das Systemressourcenmodell mit den wesentlichen Leistungs- und Kapazitätskennzahlen der logistisch zu verknüpfenden Teilprozesse.

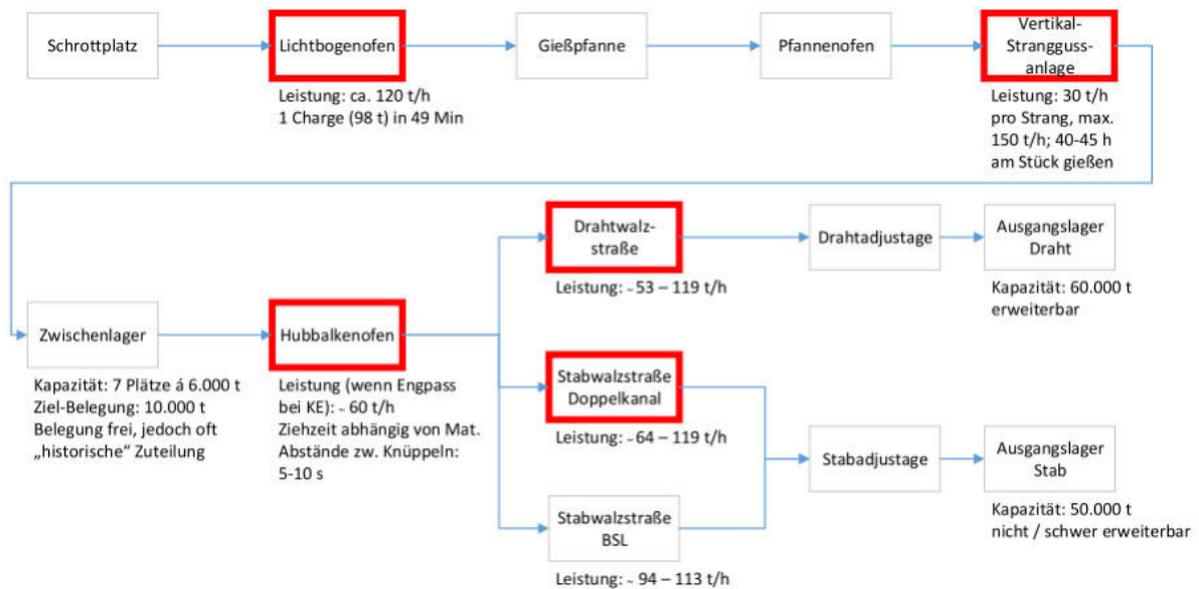


Abbildung 50: Systemressourcenmodell

Erarbeitung des Systemressourcenmodells

Das Systemressourcenmodell lieferte das übergeordnete Systemverständnis und bildete die Grundlage der Planungsalgorithmen. Die für die Planung relevanten Hauptbereiche sind das Stahlwerk (Elektrolichtbogenofen bis Stranggussanlage) und das Walzwerk (Vorwärmofen bis Draht- bzw. Stabwalzstraße).

Da die Leistung in Abhängigkeit vom jeweils gefertigten Produkt und den Produktionsbedingungen in beiden Bereichen unterschiedlich variieren, liegen wechselnde Kapazitätsengpässe zwischen Stahl- und Walzwerk vor (Shifting-Bottleneck).

Im Stahlwerk ist die Kapazitätsbeschränkung im Wesentlichen von zwei Anlagen bestimmt: Dem Elektrolichtbogenofen und der Stranggussanlage. Der Lichtbogenofen benötigte im Schnitt 49 Minuten zum Schmelzen einer Charge von 98,0 t, wodurch eine Leistung von durchschnittlich 120 t/h bereit steht.

Die Leistung der Stranggussanlage hängt von der Anzahl der zur Verfügung stehenden Stränge ab. Ein Strang vergießt etwa 30 t/h, wobei maximal 5 Stränge zur Verfügung stehen, sodass die maximale Gießleistung der Anlage bei 150 t/h liegt. Planmäßig werden alle 40 – 45 h Wartungsarbeiten an der Stranggussanlage durchgeführt. Die Anlagenverfügbarkeit beeinflusst die Leistung des Stahlwerkes demnach signifikant.

Im Walzwerk sind, je nach Einsatztyp (Direkt-, Warm- und Kalteinsatz) und Materialsorte, die erreichbaren Produktivitäten der Anlagenteile schwankend. Die prognostizierte Leistung der Walzstraße schwankt zwischen 53,2 t/h (5,5 mm Draht) und 119,2 t/h (20 mm Stab). Darüber hinaus kann im Fall eines Kalteinsatzes der Walzwerksofen die leistungsbeschränkende Ressource sein, da hier das Material länger im Ofen gehalten werden muß.

Ein durchschnittliches Produktmix unterstellt ist erkennbar, dass die Produktionsleistung des Stahlwerkes im Mittel höher als die des Walzwerkes ist. Das ist insofern von Bedeutung, da im Stahlwerk in regelmäßigen Abständen Wartungsarbeiten durchgeführt werden müssen und in dieser Zeit kein Material erschmolzen und / oder vergossen werden kann. Lösungsansatz ist es, in diesen

Zeiträumen das Walzwerk mit Warmmaterial (300- 600° C) und/oder Kaltmaterial (> 300° C) aus dem Zwischenlager zu versorgen.

Aus Ressourcensicht kann nicht von einem bestimmenden Anlagenteil her geplant werden, da kein konstanter Engpass existiert, sondern wechselnde Engpässe in Abhängigkeit von Produkt und Produktionssituation auftreten.

Lösung des Planungsproblems

Zur Lösung des komplexen Planungsproblems, wurde eine zunächst eine grundlegende Modellierung der Zusammenhänge vorgenommen. Auf dieser Basis wurden dann die anzuziehenden Lösungsalgorithmen festgelegt.

Das Modellierung sieht eine zweistufige Lösung des komplexen Problems vor:

- Erstellung des Monatswalzplans und darauf aufbauend (Grobplanung),
- Erstellung des Wochenschmelz- und -walzplanes (Feinplanung).

Dieses Vorgehen ermöglicht insbesondere automatisierte Planungen, da mit einer zweistufigen Modellbildung eine bedeutende Reduktion der Komplexität erreicht wird. So wird aus einem „2-Maschinen-„ ein „1-Maschinen-Problem“ generiert, da die Pläne nacheinander erstellt werden können und für das Stahlwerk bereits eine Vorsortierung auf Basis des Walzplanes erfolgen kann.

Im Ergebnis kann eine hohe Synchronisationsrate beider Betriebsbereiche erreicht werden, was sich auf die erreichbare Direkteinsatzquote positiv auswirkt. Im Ergebnis zeigte sich aber auch, dass das Walzwerk deutlich restriktiver auf das Planungsergebnis einwirkt als das Stahlwerk. Abbildung 51 visualisiert das planerische Vorgehen.

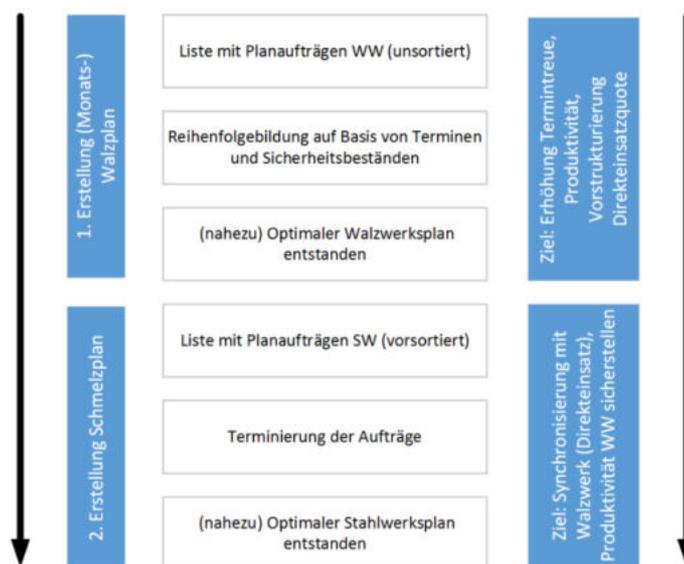


Abbildung 51: Zweistufiges Vorgehen bei der Erstellung des Produktionsplans

Die Planung folgt grundsätzlich dem Optimierungsziel, eine Erhöhung der Termintreue gegenüber der jeweils nachgelagerten Stufe zu erreichen. Im Walzwerk ist dies der Endkunde bzw. das Lager, Kunde des Stahlwerkes ist das Walzwerk.

Die Optimierung dieses Zielkriteriums erfolgt dabei unter den Nebenbedingungen „Erhöhung der Direkteinsatzquote“ und „Maximierung der Produktivität“.

Im Februar 2015 wurde daraufhin das Institut für Technische Logistik und Arbeitssysteme der TU Dresden mit folgenden weiteren Aufgaben beauftragt:

- Erweiterung und Überarbeitung der mathematischen Modellierung
- Definieren von Schnittstellen zum, vorhandenen ERP-Systems „Infor“
- Festlegen minimaler und optimaler Lagerbestände auf Basis historischer Auswertungen für einzelne Erzeugnisse
- Entwicklung einer ganzheitlichen Lösungsstrategie zur Monatsplanerstellung im Walzwerk unter Berücksichtigung der technisch-technologischen Restriktionen (Rüstzeiten, Materialfolgen, Standzei-toptimierung) und organisatorischer Restriktionen (Lieferterminen bei Auftragsfertigung, (Mindest-)Lagerbestand, Verfügbarkeit von Personal),
- Umsetzen der Lösungsstrategie in programmierbare Algorithmen,
- Programmierung eines Demonstrators, der Realdaten des ERP zur Erstellung eines Stahl- und Walzwerksplans (Reihenfolge und Dauer von Walzkampagnen) nutzt,
- Analytische Validierung des erstellten Plans hinsichtlich der Einhaltung der Restriktionen und Kompatibilität mit den gewählten Optimierungskriterien und Definition der Schnittstellenkriterien zum Fertigungsleitsystem, in welchem der Monatswalzplan in den operativen Wochenwalz- und -schmelzplan umgesetzt wird.

Im März 2015 wurde die Skizze des Lastenheftes für das FLS-System erarbeitet, sodass wir am 16. April 2015 die Fa. MEA Engineering GmbH mit der Erstellung des Lastenheftes beauftragen konnten.

Parallel zu den Arbeiten am Lastenheft wurde an der Aufgabestellung („Optimierung der Planung und Steuerung der Produktionsprozesse im Stahl- und Walzwerk am Standort Riesa zur Erhöhung der Direkteinsatzquote und Produktivität“ seitens des Instituts für Technische Logistik und Arbeitssysteme der TU Dresden gearbeitet.

Folgende Arbeiten wurden durchgeführt:

- 10 und 11/2015 | In das Lastenheft zum Fertigungsleitsystem wurden Änderungen und Korrekturen eingearbeitet. (Versionen: 1.9a 02.10.2015, 1.9b 07.10.2015, 1.9c 28.10.2015)
- Am 02.12.2015 fand ein Abschlussgespräch zwischen ESF und der Fa. MEA Engineering zur endgültigen Fassung des Lastenheftes (Version 2.0) statt.
- Am 03.12.2015 fand die Übergabe des finalen Lastenheftes der Fa. MEA zum Fertigungsleitsystem statt.
- Hiervon ausgehend erfolgte im Zeitraum vom 10.12.2015 – 25.01.2016 die Ausschreibung für die Erstellung/Ausführung des Fertigungsleitsystems. Angebote wurden bei den drei nachfolgend aufgeführten Anbietern eingeholt:
 - MEA Engineering, Leipzig
 - HGDS GmbH, Riesa
 - SEAR GmbH, Rostock
- Im Februar/März 2016 wurden die Gespräche zur technischen Klärung des Lieferumfanges geführt. Im Ergebnis wurde entschieden, das Gesamtwerk „Fertigungsleitsystem“ wie folgt aufzuteilen und zu vergeben:
 - Vergabe der Erstellung des Fertigungsleitsystems ohne die dazugehörige Datenakquise an Fa. MEA Engineering GmbH am 14.03.2016.

- Vergabe zum Aufbau der Datenbankstrukturen sowie zur Datenakquise an Fa. HGDS GmbH am 16.03.2016.

Im Ergebnis wurden die Arbeiten wie nachfolgend dargelegt umgesetzt:

A) Vorbereitende Maßnahmen, Infrastruktur und Koordination seitens ESF:

- 04/ 2016: Absprache von Aufgabenaufteilungen, Terminen und Schnittstellen zwischen ESF und den Anbietern Fa. HGDS sowie Fa. MEA sowie Klärung der erforderlichen Vorarbeiten durch ESF
- 05 bis 07 / 2016: Beschaffung der Datenknoten und Bereitstellung von Daten für die neuen Datenbankstrukturen
- 06 bis 07 /2016: Konzeption und Realisierung der Datenbankschnittstellen
- 09 / 2016: Prüfung und Anpassung von Prozessdaten

B) Folgende, wesentliche Arbeiten des Lieferanten Fa. HGDS wurden im Rahmen der Datenakquise umgesetzt:

- Erstellung des internen Feinplichtenheftes
- Erstellung der Funktionalität zur automatischen Datenübernahme relevanter Daten aus dem Walzwerk
- Erstellung der Funktionalität zur automatischen Datenübernahme relevanter Daten aus dem ERP-System
- Realisierung der Datenübernahmen aus den Betriebsbereichen „Schrottplatz“, „Pfannenofen“, „Strangguss“
- Installation und Konfiguration der Datenbankobjekte

C) Im Rahmen der Erstellung des Fertigungsleitsystems wurden vom Lieferanten Fa. MEA folgende Funktionalitäten / Module ausprogrammiert:

- Fertigungsplanung und Fertigungsablauf
- Analysenverwaltung
- Substitutionsregeln
- Einsatzvorschriften von Chargen mit Analysenabweichungen
- Schrottsorten und Rezepte
- Schmelzofen
- Pfannenofen
- BDE – Betriebsdatenerfassung
- Explorative Datenanalyse

Die Kernfunktionalität des Fertigungsleitsystems, eine bestmögliche Synchronisierung von Stahl- und Walzwerk zu erreichen, wird im Ergebnis durch die automatisch generierte Reihenfolgeplanung ausgewiesen. Abbildung 52 zeigt den Screenshot einer Reihenfolgeplanung.

Fertigungsaufträge bearbeiten - Reihenfolge festlegen			
01.08.2016 06:00:00		Dialog	neu planen WW
Tabelle W	Tabelle CW	Fertigungsfolge WW	
		03.08.2016 15:00:00, PU WW	
		03.08.2016 23:00:00, BW40-110-2400	
		04.08.2016 01:00:00, BW14-107-2400	
		04.08.2016 18:00:00, BW40-107-2400	
		05.08.2016 22:00:00, BW14-107-2400	
		06.08.2016 21:00:00, BW40-107-2400	
		06.08.2016 23:00:00, WR14-100-2500	
		08.08.2016 12:00:00, WR14-100-3000	
		FA: VV/WR14-100-3000/20160930	
		Menge[t]: 276	
		Leist[t/h]: 103.5	
		Dauer[h]: 3	
		08.08.2016 15:00:00, WR14-100-5000	
		FA: VV/WR14-100-5000/20160930	
Menge[t]: 2885			
Leist[t/h]: 103.5			
Dauer[h]: 19			
		Tabelle CE	
Donnerstag 04.08.		1	B10 10.7
		2	B10-K 10.7
		3	B10 10.7
Freitag 05.08.		1	B10 10.7
		2	B10 10.7
		3	B10-K 10.7
Samstag 06.08.		1	B10-K 10.7
		2	B10-K 10.7
		3	BST500WR 10
Sonntag 07.08.		1	BST500WR 10
		2	BST500WR 10
		3	BST500WR 10
Montag 08.08.		1	BST500WR 10
		2	BST500WR 10
		3	Feiertag 0
Dienstag 09.08.		1	Feiertag 0
		2	Feiertag 0
		3	Feiertag 0
Mittwoch 10.08.		1	BST500WR 10
		2	BST500WR 10
		3	BST500WR 10
Donnerstag 11.08.		1	BST500WR 10
		2	BST500WR 10

Abbildung 52: Screenshot aus FLS-Modul für Planung/Bearbeitung von Fertigungsaufträgen; dargestellt ist die Planung der erwarteten Durchlaufdauer je Herstellstufe (hier Walzwerk) und je Fertigungsauftrag.

Die betriebliche Umsetzung der Reihenfolgeplanung wird durch eine kontinuierliche Überwachung des tatsächlich erreichten Standes der zeitgebenden Anlagenteile unterstützt (siehe Abbildung 53).

FERALPI STAHL • Fertigungssystem												
Titel												
Anlage	Artikelnummer FA-Nummer	Fertigungsauftrag				Letztes Ausbringen			Aktuelle Schichtdaten			
		Start Pl.-Termin	Plan [t] Anz.Chg.	Chg.	Ist Menge [t]	um: seit:	Charge Knp-ID (Bd-ID)	Leistung [t/schicht]	Plan	Ist	Abw	Menge [t]
EAF	BS-14-250-07000 FA-4711	10.05 00:05	3800	8.	1960	10.05 07:08:00	47111	804	830	26		
		11.05 00:05	56			0 03:27:00						
LF	BS-14-250-07000 FA-4711	10.05 01:05	3600	7.	1400	10.05 09:15:00	47111	790	720	-70		
		11.05 01:05	48			0 01:20:00						
SGA	BS-14-250-07000 FA-4711	10.05 01:35	3400	6.	1200	10.05 09:05:00	47110	780	320	-460		
		11.05 01:35	40			0 01:30:00						
HHO	BS-14-250-07000 FA-4711	10.05 02:05	3400	5.	1200	10.05 10:00:00	47110	760	768	8		
		11.05 02:05	40			0 00:35:00	9314711					
WS	BS-14-250-15000 FA-4710	10.05 04:05	3400	5.	1200	10.05 09:52:53	47109	760	745	-15		
		10.05 23:05	40			0 00:42:07	9314711					
BW	BS-14-250-15000 FA-4710	10.05 04:35	3400	4.	900	10.05 10:23:00	47108	760	680	-80		
		10.05 22:35	40			0 00:12:00	58334					

Abbildung 53: Screenshot aus FLS-Modul „Produktionsstandsanzeige“; dargestellt sind die Ist-Belegungen und Plan-Werte wesentlicher Fertigungsstufen in aufsteigender Reihenfolge. (EAF = Electric Arc Furnace, LF= Ladle Furnace, SGA = Stranggießanlage, HHO = Hubherdofen, WS = Warmschere, BW = Bundwaage)

Der ursprünglich für den 30.08.2016 vorgesehene Integrationstest konnte mit geringer terminlicher Verzögerung am 22.09.2016 erfolgreich absolviert werden.

Der Auftragnehmer für das Fertigungsleitsystem, die Fa. MEA hatte uns zu Jahresanfang 2017 eine Verzögerung des Maßnahmenabschlusses kommuniziert und mit folgenden Ursachen begründet:

- Aufgrund der Komplexität des Gesamtsystems wurde der Programmieraufwand für das browserbasierte System zunächst stark unterschätzt. Eine wesentliche Ursache hierfür war die Komplexität in der Bewertung der teilweise gegenläufig wirkenden Planungsziele, z.B. höchstmögliche Direkteinsatzquote versus hoher Produktionsleistung versus darstellbarer Belegung der Lager versus Termintreue.
- Es konnte ferner nur mit reduzierter Personalkapazität an dem System gearbeitet werden, da Ausfälle der am Projekt mitarbeitenden Programmierer zu verzeichnen waren.

Inhaltlich wurden die an das System gestellten Erwartungen zu diesem Zeitpunkt bereits weitgehend erfüllt. So zeigte sich, dass auf Basis der zu diesem Zeitpunkt implementierten Algorithmen zur Optimierung der Direkteinsatzquote bereits im Juli/August 2017 Quoten von 73% bzw. 75% erreicht wurden.

Nachfolgende Abbildung 54 zeigt beispielhaft eine Bildschirmmaske des FL-Systems. Auf der linken Seite des Bildschirmes sind die auswählbaren Hauptfunktionalitäten dargestellt. Eingebildet ist ferner eine Ergebnisdarstellung zur Optimierung des Walzprogrammes aus August 2017. Ausgewiesen werden hier die erreichten Produktionsleistungen, deren Maximierung bei bestmöglicher Direkteinsatzquote ein wesentliches Optimierungsergebnis des implementierten Algorithmus darstellt.

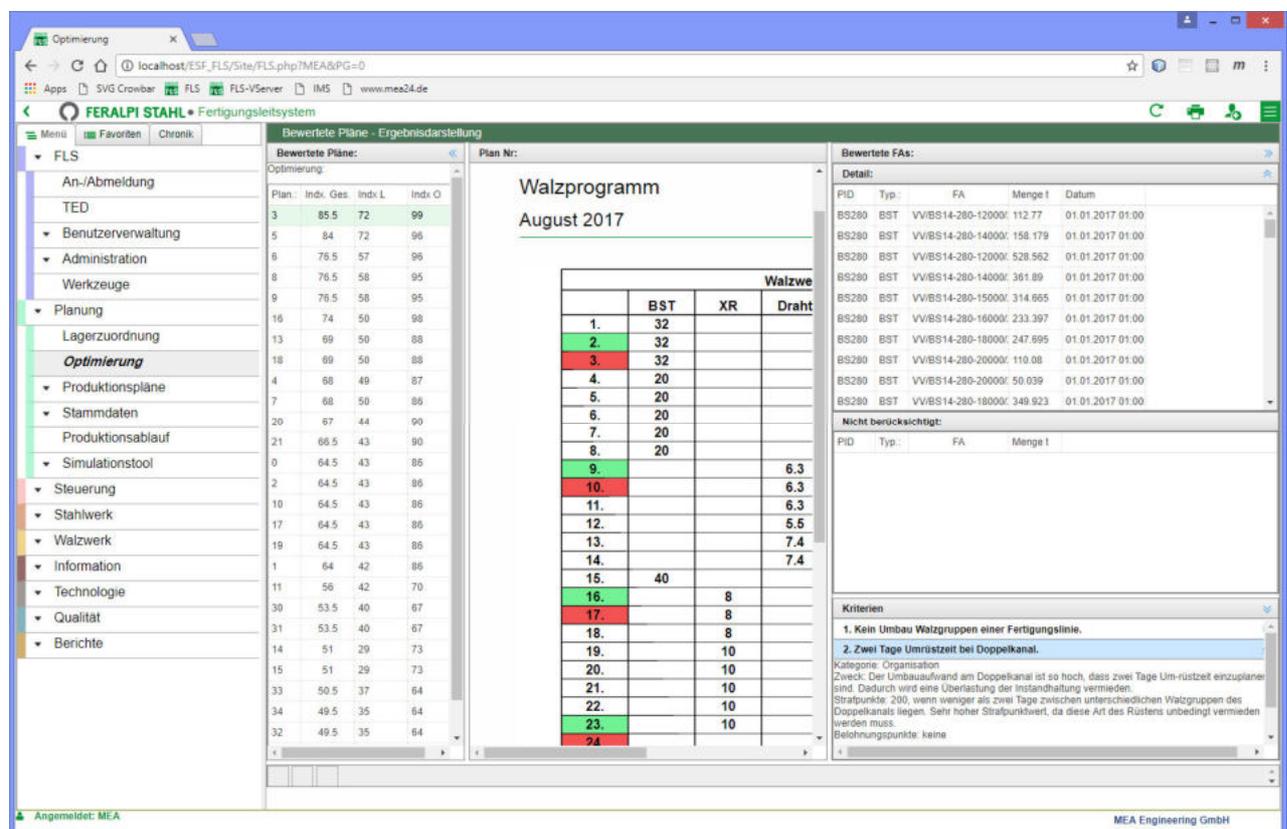


Abbildung 54: Bildschirmmaske des FLS-Moduls „Optimierung der Fertigungsaufträge“

Die wesentlichen Funktionalitäten des FL-Systems konnten im Juli 2018 betrieblich nachgefahren und plausibilisiert werden. Nachstehende Abbildung 55 zeigt beispielhaft die erreichten Planungsergebnisse beginnend ab 01.08.2018.

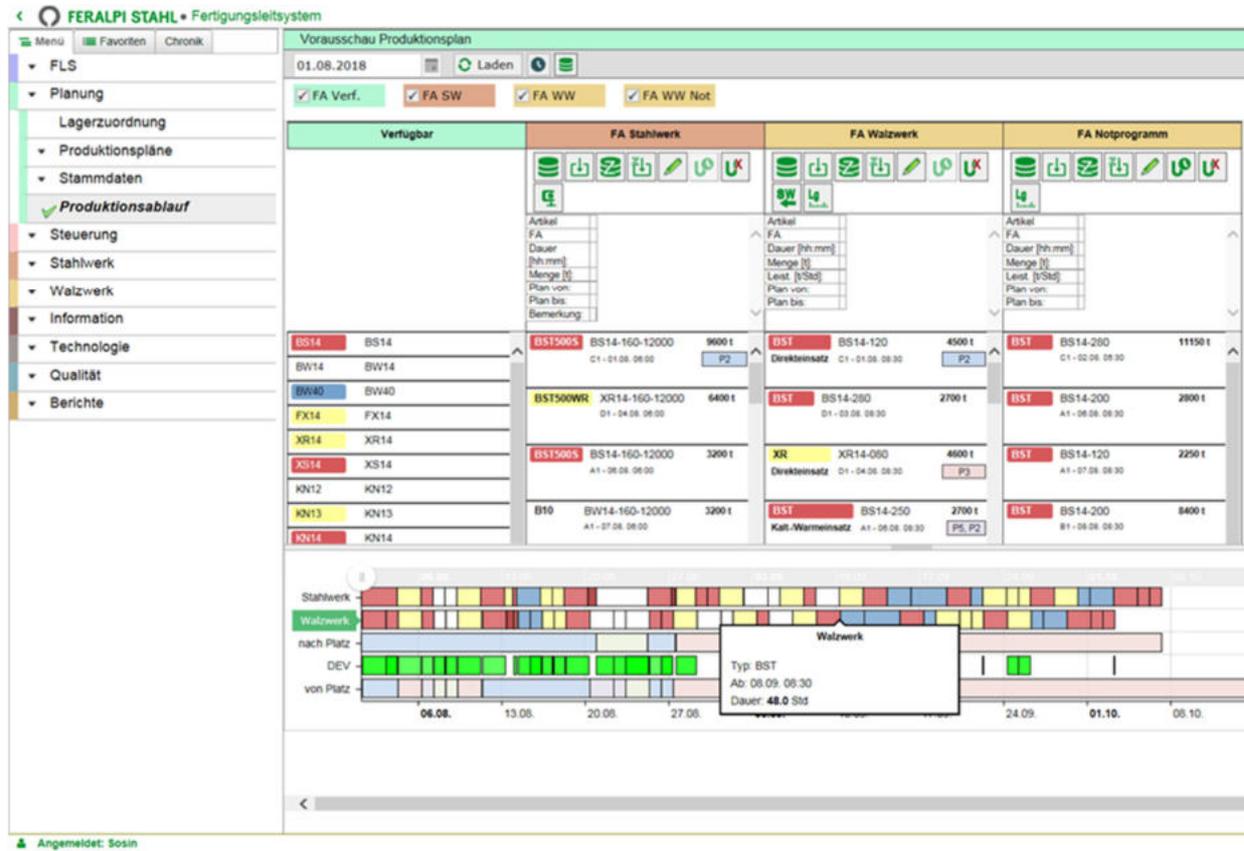


Abbildung 55: Bildschirmmaske des FLS-Moduls „Optimierung der Fertigungsaufträge“

Im unteren Bildschirmbereich sind die Stahlwerks- und Walzwerkskampagnen nach Farben unterschieden dargestellt. Unter dem Begriff „DEV“ sind in grüner Farbe die im Monat August 2018 geplanten Direkteneinsätze dargelegt.

Aktuell werden noch geringe Restarbeiten durchgeführt, um die Bedienbarkeit des Systems weiter zu verbessern. Allerdings werden hierdurch keine weiteren Verbesserungen im Sinne der Optimierungsziele erreicht. Aufgrund der noch ausstehende Restarbeiten konnte die für Juli 2018 geplante Abnahme noch nicht vollständig durchgeführt werden, diese ist nun für den Oktober 2018 geplant.

L5 (Zurüstung einer Knüppel-Hartstempelungsanlage)

Im Zeitraum 07/2012 bis 11/2012 wurde das Pflichtenheft für die „Knüppel-Hartstempelungsanlage“ (Maßnahme L5) erarbeitet. Des Weiteren erfolgten technische Detailklärungen mit dem vorgesehenen Lieferanten. Das technische Konzept sieht das „Klartext-Lesen“ des Hartstempeltexes beim Wiedereinschleusen von Knüppeln in den Produktionsbetrieb vor. Hierdurch kann eine temporäre Umkodierung (z.B. mittels Barcode-Klebeetiketten) vermieden werden. Mit dem festgelegten Hartstempeltex wird eine eindeutige Beschreibung hinsichtlich Charge, Gießader und lfd. Knüppelnummer erreicht. Folgende Arbeiten wurden umgesetzt:

- 05-07/2013 Klärung der Spezifikation sowie das Einholen von Angeboten

- Am 03.09.2013 wurde die Bestellung für die Knüppel-Hartstempelmaschine einschließlich des OCR-Systems (Optical Character Recognition) ausgelöst. Der Lieferant ist die Fa. SMS-Concast.
- 11/2013 | Lieferung der Layoutzeichnungen durch SMS-Concast zur Freigabe
- 12/2013 | interne Prüfung der vom Anlagenbauer gelieferten Unterlagen, Ausarbeitung von Änderungsvorschlägen seitens ESF
- Zum Jahreswechsel 2013/2014 konnte das Layout für die Hartstempelanlage verabschiedet werden (siehe Abbildung 56).

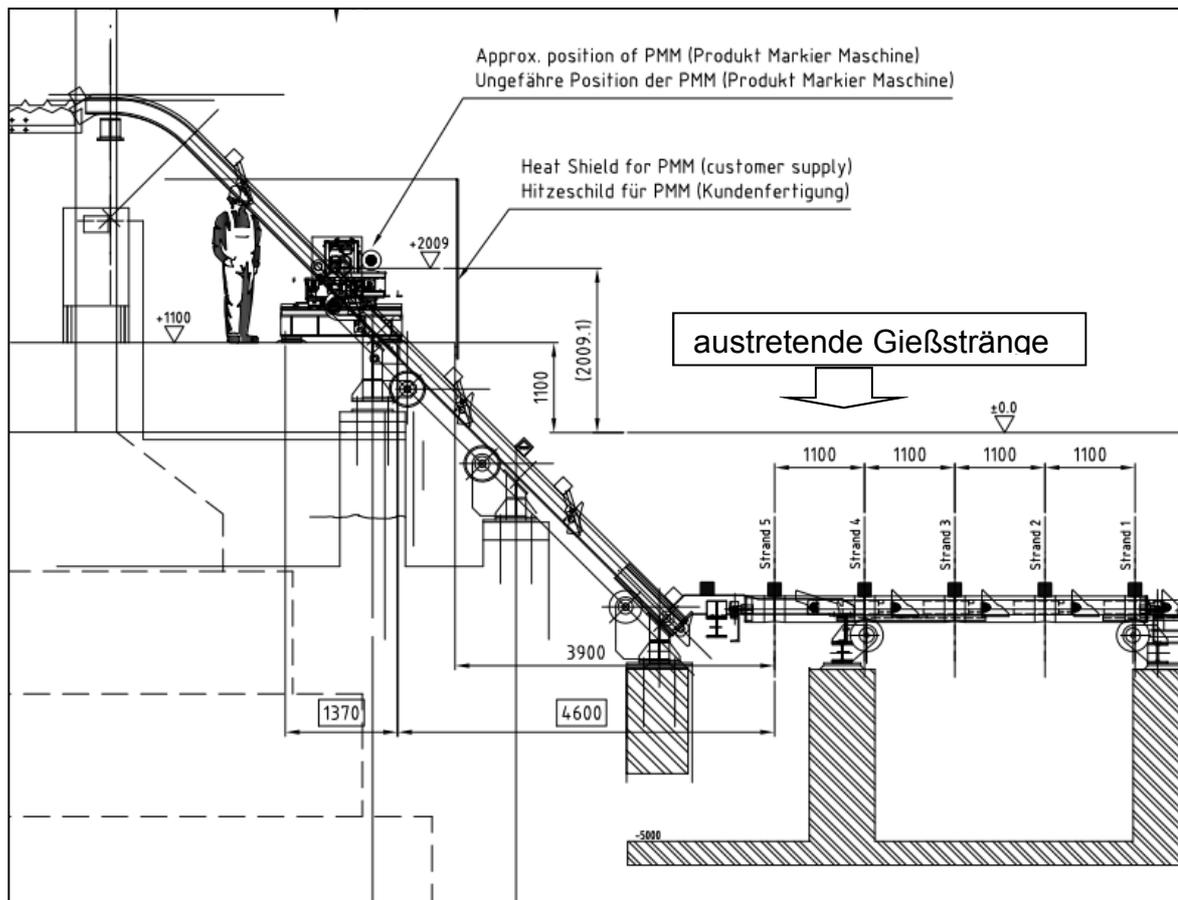


Abbildung 56: Integration der Knüppel-Hartstempelanlage in den bestehenden Queraufzug

- 12/13-01/14 | Durchführung von vorbereitenden Maßnahmen für die Elektrik und Automatisierung (Verlegen des Kabelzug, Aufbau der Schaltschränke, Vorbereitung der Schnittstelle)
- 02/2014 | interne Vorplanung von Unterkonstruktion und Fundamenten

Basierend auf den ausgeführten Planungen für die Unterkonstruktion und die zu erstellenden Fundamente gliederten sich die Arbeiten wie nachfolgend beschrieben:

- 04 / 2014 | Fertigstellung der Fundamente
- 05 / 2014 | Fertigstellung der Ausschreibungsunterlagen für die Unterkonstruktion, Einholung von Angeboten
- 07 / 2014 | Bestellung der Stahlunterkonstruktion
- 09 / 2014 | Lieferung der Stahlunterkonstruktion

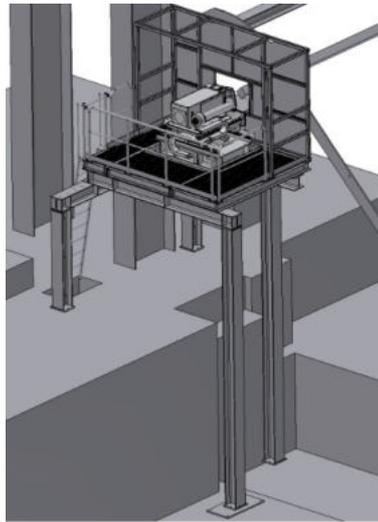


Abbildung 57: Layout der Knüppel-Hartstempelungsanlage mit der Unterkonstruktion

Die Zurüstung der Knüppel-Hartstempelungsanlage war für den Winterstillstand 2014 / 2015 vorgesehen. Der Aufbau der Stahlunterkonstruktion sowie die Montage der Hartstempelungsanlage erfolgten wie geplant während des Stillstands vom 15.12.2014 – 19.01.2015.

Aufgrund der Vielzahl der im Winterstillstand gleichzeitig in Betrieb zu nehmenden Automatisierungssysteme konnten für die Inbetriebnahme der Stempelanlage die erforderlichen internen Personalkapazitäten nicht bereitgestellt werden. Nach Rücksprache mit dem Anlagenlieferanten wurde die Inbetriebnahme im Mai 2015 umgesetzt, wodurch der geplante Vorhabenendtermin nicht beeinflusst wurde.

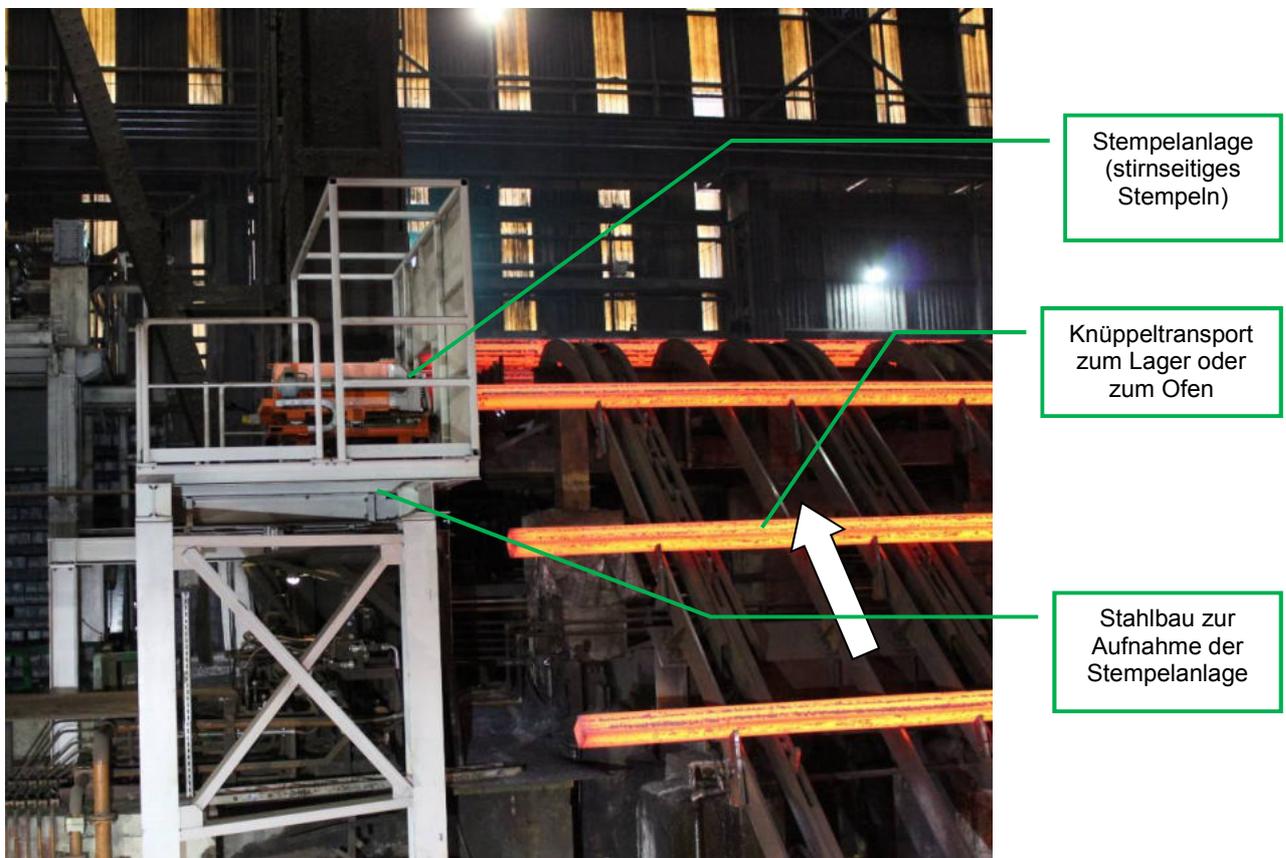


Abbildung 58: Knüppel-Hartstempelungsanlage, Januar 2015

Der Anlagebauer, Fa. SMS-Concast hielt die separate Inbetriebnahmen der Knüppel-Hartstempelungsanlage und des OCR-Systems (Optical Character Recognition) aufgrund der engen anlagetechnischen Kopplung nicht für sinnvoll (ursprüngliche Planung: Mai 2015). Eine gemeinsame Inbetriebnahme beider Systeme konnte erst während eines gleichzeitigen Stillstandes von Stahlwerk und Walzwerk erfolgen.

Während des Produktionsstillstand zum Jahreswechsel 2015/2016 konnte die Inbetriebnahme der Knüppel-Haltstempelungsanlage und die des OCR-Systems (**O**ptical **C**haracter **R**ecognition) erfolgreich durchgeführt werden. Seit der Wiederaufnahme der Produktion am 12.01.2016 befindet sich die Knüppel-Hartstempelungsanlage im Dauerbetrieb. Alle aus dem Stahlwerk ausgeschleusten Knüppel wurden seit diesem Datum stirnseitig mit einer eindeutigen Knüppelidentifikationsangabe versehen (siehe Abbildung 59). Beim Wiedereinschleusen der zwischengepufferten Knüppel werden die für das Auswalzen der Knüppel benötigten Angaben mittels der Klarschrift-erkennung dem Prozess zur Verfügung gestellt.

In den ersten Wochen nach der Inbetriebnahme wurden Arbeiten zur Optimierung der Knüppelposition während des Stempelungsvorgangs durchgeführt, die gegen Ende Februar 2016 erfolgreich beendet werden konnten.

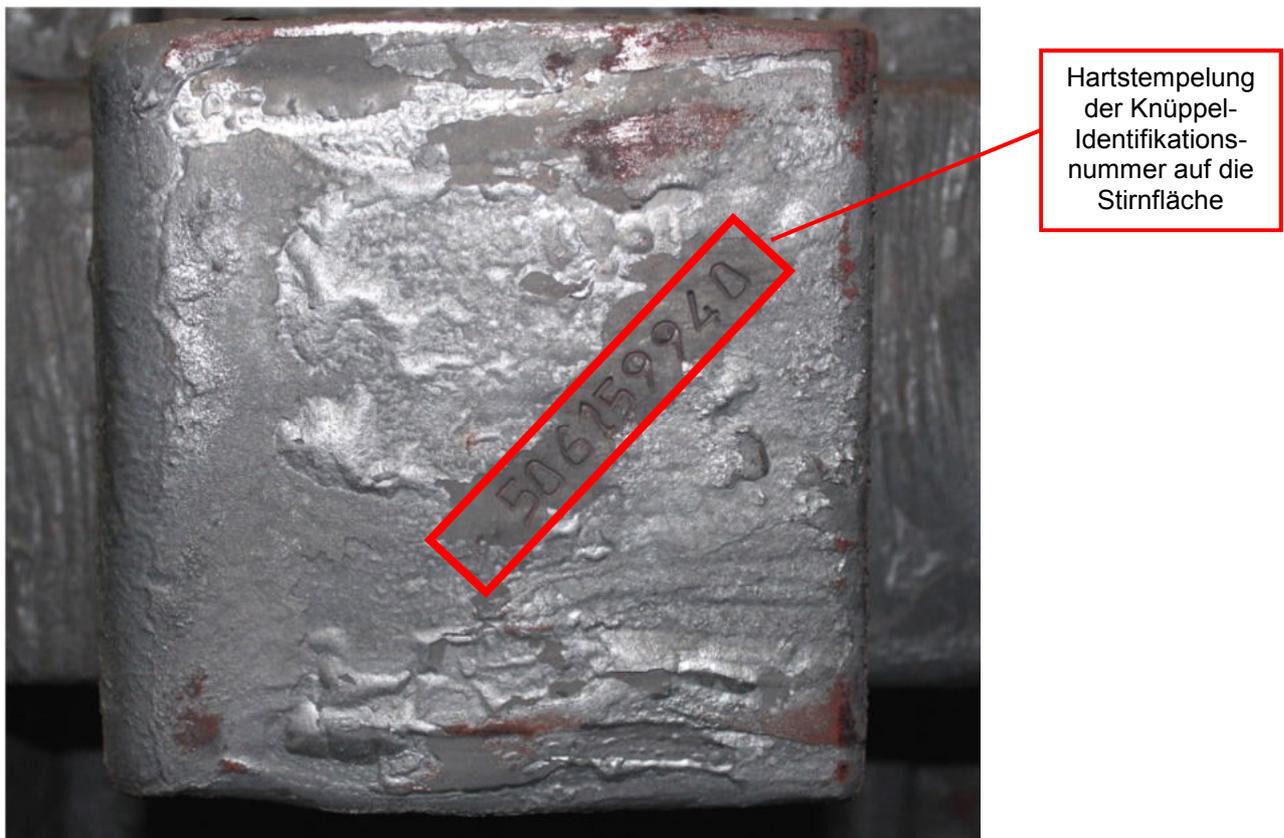


Abbildung 59: Mit der Hartstempelungsanlage signierte Knüppel

2.4 Behördliche Anforderungen (Genehmigungen)

Nachfolgend sind die mit dem Vorhaben in Verbindung stehenden behördlichen Genehmigungen aufgelistet:

- Bescheid vom 14.11.2014, Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG), vorhabensrelevante Entscheidung zu Änderungen an der Kondiratoranlage.
- Bescheid vom 25.08.2015, Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG), vorhabensrelevante Entscheidung zum Betrieb der Kondiratoranlage.
- Bescheid vom 22.10.2015, Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG), vorhabensrelevante Entscheidung zu Maßnahmen an der Kondiratoranlage.
- Bescheid vom 16.11.2015, Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG), vorhabensrelevante Entscheidung zur Verringerung des Anlagendurchsatzes des Kondirators und zur Erhöhung des Anlagendurchsatzes der Magnettrommel.
- Bescheid vom 15.11.2016, Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG), vorhabensrelevante Entscheidung zu emissionsmindernden Maßnahmen im Fallwerk und zur Errichtung einer Schallschutzwand.

2.5 Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten

Die mit der Verfahrenskombination angestrebten Verbesserungen und Einsparungen sind Ergebnis des Zusammenwirkens aller Einzelmaßnahmen. Um die trotz umfangreicher Vorarbeiten und der Einbindung von Experten auf den Gebieten der Stahlerzeugung, der Werkstofftechnologie und der Walzwerkstechnik verbleibenden Risiken zu begrenzen, war eine stufenweise Umsetzung des Gesamtprojekts vorgesehen.

Die stufenweise Umsetzung des Gesamtprojekts sollte es erlauben, die jeweils innerhalb einer Projektstufe getätigten Aufwände hinsichtlich des geplanten und des tatsächlich erreichten Erfolgsbeitrags zu quantifizieren.

Ferner sollte mit diesen Informationen abgeschätzt werden, ob die Planungsgrundlagen technologisch und wirtschaftlich richtig ermittelt worden waren und ob das gesamte Projektziel mit den insgesamt zur Verfügung stehenden Maßnahmen erreicht werden kann.

Entsprechend den Darlegungen zur stufenweisen Vorgehensweise bei der Umsetzung des Projekts waren die in Tabelle 6 dargelegten Erfolgskontrollen vorgesehen. Mittels eines im Einlaufbereich des Walzwerksofens installierten Pyrometers wurden fortlaufend die Knüppleinlauftemperaturen an der Knüppeloberfläche gemessen. Die ermittelten Oberflächentemperaturen wurden über einen feststehenden mathematischen Ansatz auf die im Mittel vorherrschenden Knüppeltemperaturen umgerechnet.

Phase	Direkteinsatz-Quote in %	mittlere Einsatz-temperatur in °C	Maßnahmen gemäß Projektskizze bei Antragstellung
nach Stufe 1	60 %	614	A3, L1, L2, M2
nach Stufe 2	70 %	673	A1, A2, A3, M1, M3, L3, L5
nach Stufe 3	75 %	691	L4
Validierung	80 %	708	6 Monate später

Tabelle 6: Umsetzungsstufen und geplante zentrale Kennwerte gemäß Projektskizze

Im nachfolgenden wird zu den geplanten Kenngrößen berichtet. Die Ergebnisse aus der Validierungsphase sind in einem separaten Messbericht zum 31.10.2019 dargelegt und nachfolgend auszugsweise dargelegt.

3. Ergebnisse

3.1 Bewertung der Vorhabensdurchführung

Der ursprünglich geplante Termin für die Umsetzung der Maßnahmen bis zum 31.12.2014 wurde erheblich überschritten. Wesentliche Gründe hierfür waren unvorhergesehene technologische Herausforderungen und Lieferprobleme während der Umsetzung dieses außerordentlich komplexen Vorhabens.

So führten bereits geringe Terminverschiebungen bei einzelnen Maßnahmen dazu, dass die ursprünglich vorgesehenen Stillstandszeiten jeweils während der Jahreswechsel (Großreparaturzeitraum) für die Umsetzung einzelner Maßnahmen nicht genutzt werden konnten. Hierdurch ergaben sich teilweise erhebliche Zeitprünge bis zum nächst folgenden geplanten Stillstand der Produktion.

- Als technologisch besonders herausfordernd stellte sich die Zielsetzung dar, die Schrottqualität durch erhöhte Shredderanteile auf eine Qualitätsstufe anzuheben, mit der auch ohne das Durchschreiten des Transus (γ / α -Umwandlung) eine fehlerfreie Auswalzung der Stahlwerksknüppel ermöglicht wird.

Die im Vorhaben gemachten Erfahrungen führten zur Erkenntnis, dass hierfür der Anteil der gesäuberten Schrotte signifikant anzuheben war. Aufgrund der vorliegenden Genehmigungsgrenzen (max. Jahresdurchsatz) des ursprünglich für die Scrottvorbereitung vorgesehenen Shredders musste ein völlig neuartiges Schrott-Vorbehandlungskonzept basierend auf dem Einsatz einer Magnettrommel erarbeitet und umgesetzt werden. Resümierend kann hierzu festgestellt werden, dass sich die neuartige Verfahrenstechnologie bewährt hat. Insbesondere können beim Einsatz einer Magnettrommel erheblich höhere Mengen an Schrotten gesäubert werden als dies mit einem konventionellen Shredder möglich ist.

- Herausfordernder als geplant war ferner die Erarbeitung von Planungsalgorithmen, um eine bestmögliche Synchronisierung von Stahl- und Walzwerk unter der Forderung nach einer maximalen Direkteinsatzquote zu erreichen. Eine Lösung konnte durch einen zweistufigen Planungsansatz erreicht werden, sodass das ursprüngliche „2-Maschinen-Engpass“-Problem auf ein „1-Maschinen-Engpass“-Problem reduziert werden konnte.

3.2 Durchführung und Ergebnisse des Messprogramms

Während der Umsetzung des Vorhabens wurden im Rahmen des begleitenden Messprogramms wesentliche erfolgskritische Kenndaten des Vorhabens fortlaufend erfasst und bewertet. Nachstehend wird auf Monatsbasis die Entwicklung der Direkteinsatzquote und der mittleren, in den Walzwerksofen einlaufenden Knüppeltemperatur dargelegt.

Die mittlere Temperatur der in den Walzwerksofen einlaufenden Knüppel ist das Maß für den im Walzwerksofen einzubringenden Wärmeeintrag, um die für das Walzen erforderliche Zieh-temperatur sicherzustellen. Da eine Ermittlung der mittlere Einlauf-temperatur der Knüppel in den Walzwerksofen messtechnisch nicht zu erreichen ist, werden die mittels Pyrometer gemessenen Oberflächentemperaturen auf mittlere Temperaturen umgerechnet. Die Umrechnung erfolgt auf Basis von Berechnungsergebnissen mittels der Finiten Elemente Methode, die Differenzen zwischen Oberflächen- und mittleren Temperaturen ausweisen (siehe Abbildung 60). Die so gewonnenen Angaben zu den mittleren Einlauf-temperaturen der Knüppel sind in nachfolgender Tabelle 7 dargestellt.

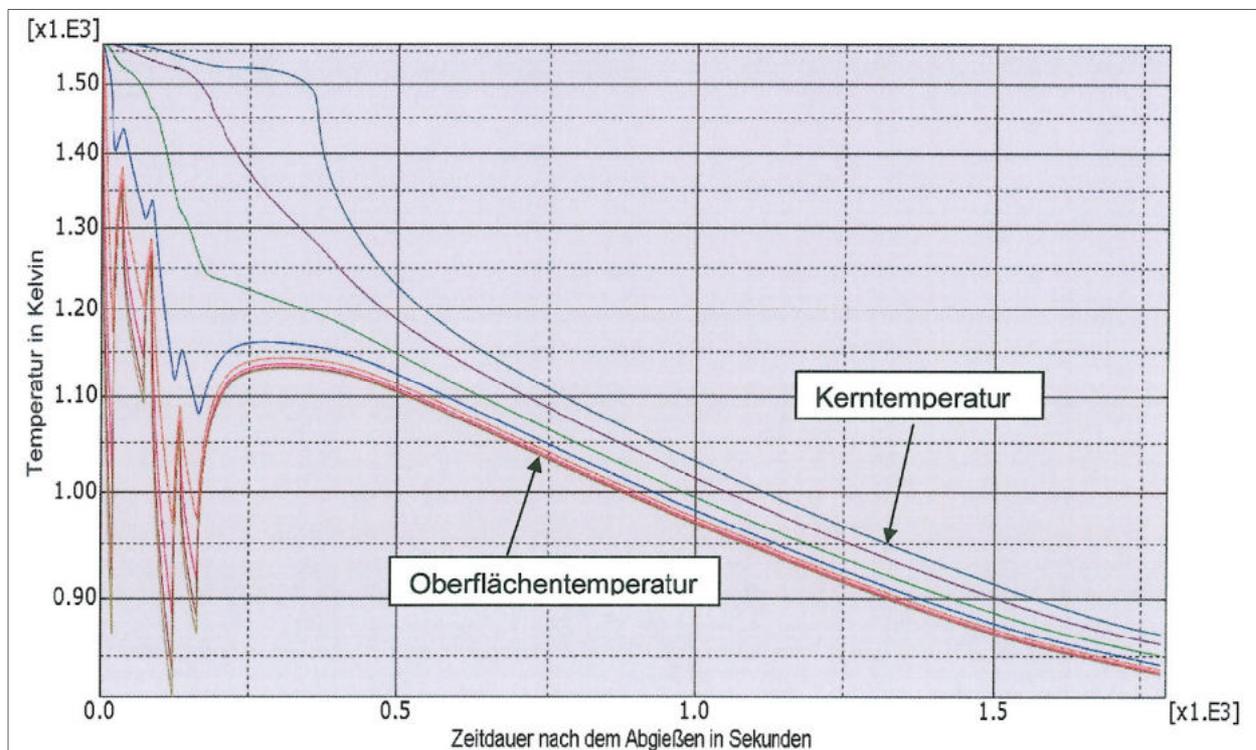


Abbildung 60: Temperaturverlauf im Knüppelquerschnitt, minimale und maximale Temperaturen in Kelvin

Zeitraum	Direkteinsatzquote [%]	Mittlere Oberflächentemperatur [°C]	Mittlere Knüppeltemperatur [°C]
Ausgangslage	44	440	480
09 / 2013	52	557	597
01 - 02 / 2014	59	576	616
07 - 08 / 2014	54	550	590
02 / 2015	60	567	607
07 / 2015	64	604	644
08 / 2015	62	602	642
03 / 2016	63	598	638
07 / 2016	65	635	675
08 / 2016	64	606	646
03 / 2017	64	610	650
07 / 2017	73	683	723
08 / 2017	75	712	752
06 / 2018	72	713	753

Tabelle 7: Entwicklung erfolgskritischer Kennzahlen während der Vorhabensdauer

Auf Basis eines vorhabenbegleitenden Messprogramm wurden ressourcenrelevante Daten und deren Veränderungen während der Umsetzung des Vorhabens kontinuierlich erhoben. Die dargelegten Ergebnisse zu den Ressourcenverbräuchen stellen gemessene Mittelwerte im Monat Juni 2018 dar. Im Vergleich zum Vorhabensbeginn ergeben folgende spezifische Veränderungen bei den Energie- und Stoffverbräuchen:

- Reduktion des Stromverbrauches bei der Knüppelerzeugung: 9,84 kWh/t
- Reduktion des Gasverbrauches bei der Walzwerkserzeugung: 105,69 kWh/t
- Erhöhung des Knüppelausbringens: 3,44 %-Punkte
- Verminderung des Anfalls von Schlacken und Stäuben bei der Knüppelerzeugung: 34,06 kg/t
- Verminderung der Zunderverluste im Walzwerk: 4,67 kg/t

Infolge des signifikant verringerten Verbrauchs an Strom und Erdgas wird insgesamt eine jährliche Einsparung an CO₂ von 26.442 t erreicht.

Gegenstand des Messprogramms war es ferner, Daten zu Emissionen und zur Luftqualität im Einwirkungsbereich der Anlage bereitzustellen. Details hierzu sind der zusammen mit dem Abschlussbericht veröffentlichten Anlage „Ergebnisse der einjährigen Immissionsmessungen gemäß TA Luft von Gesamtstaub, Feinstaub (PM10) sowie Staubinhaltsstoffen (Schwermetalle, Dioxine, Furane, dioxinähnliche PCBs)“ zu entnehmen.

Emissionen:

Es wurden vergleichende Messungen umweltrelevanter Emissionen vor bzw. nach Umsetzung des Vorhabens zeitgleich an den beiden Entstaubungsanlagen des Stahlwerkes durchgeführt.

Die Messungen vor Umsetzung des Vorhabens wurden im Jahr 2010 durchgeführt, die nach Umsetzung des Vorhabens im Jahr 2018.

Die Ergebnisse zu den Emissionsmessungen können wie folgt zusammengefasst werden:

- Die Abgasvolumenströme zeigen weitgehend unveränderte Werte und liegen unterhalb der Genehmigungsgrenze.
- Der Gesamtstaubgehalte mit Werten von $\leq 0,2 \text{ mg/m}^3$ sind weitgehend konstant und liegen deutlich unterhalb der Genehmigungsgrenze von 5 mg/m^3 .
- Die Schwermetallkonzentrationen bei Pb, Ni, Cu und Cr sind nach Umsetzung des Vorhabens gegenüber dem Vergleichszeitraum erheblich verringert. Es ist anzunehmen, dass die Absenkungen dieser Konzentrationen durch die im Vorhaben installierte Schrottreinigung mittels Magnettrommel bewirkt wird, da hier in erheblichem Umfang schwermetallhaltige Beimengungen und Anhaftungen von den Schrotten entfernt werden. Weiterhin ist festzustellen, dass für alle gemessenen Schwermetalle die genehmigungsrechtlichen Begrenzungen sehr deutlich unterschritten werden.
- Die Konzentrationsmessungen von Benzo(a)pyren, Benzolen und organischen Stoffen als Gesamt-C-Gehalt zeigen bei einem Vergleich der betrachteten Jahre eine weitgehende Konstanz der Werte auf. Es ist festzustellen, dass in allen Fällen erhebliche Unterschreitungen der genehmigungsrechtlichen Begrenzungen erreicht werden.
- Die vergleichenden Messungen zu Konzentrationen an Dioxinen, Furanen und dioxinähnlichen PCB zeigen, dass der Gehalt um ca. 78 % gegenüber den Vergleichswerten des Jahres 2010 verringert wurde. Es ist anzunehmen, dass diese Verringerung ursächlich in Zusammenhang mit einem dem Lichtbogenofen im Mittel zugeführten reineren Schrott und dem hierdurch bedingten verringerten Eintrag von Kunststoffen in Verbindung zu bringen ist. Auch hier sind die festgestellten Konzentrationen weit unterhalb der genehmigungsrechtlichen Begrenzungen.

Immissionen:

Es wurden im Zeitraum vom 28.07.2018 bis zum 31.07.2019 Messungen der Immissionen durch Staubbiederschlag StN (inkl. Schwermetallstoffe) an den für die Beurteilung von Schadstoffeinträgen aus dem Stahlwerk maßgeblichen Messpunkten MP3 (Lager am Werner-Heisenberg-Gymnasium) und MP5 (Hafenstr. 18) durchgeführt. Am Messpunkt MP5 wurden zusätzlich die Immissionen durch Schwebstaub PM10 (ebenfalls inkl. Schwermetalle) ermittelt.

Die Ergebnisse der Messungen können folgendermaßen zusammengefasst werden:

- Im Mittel über den o. g. Messzeitraum wurden Staubbiederschlagswerte von: $0,15 \text{ g/(m}^2 \times \text{d)}$ am MP3 und $0,09 \text{ g/(m}^2 \times \text{d)}$ am MP5 gemessen.
Der Immissionswert gemäß TA Luft von $0,35 \text{ g/(m}^2 \times \text{d)}$ als Jahresmittelwert wurde somit an allen Messpunkten eingehalten.
- Die Immissionswerte der TA Luft für die Deposition von As, Cd, Ni und Pb als Bestandteil des Staubbiederschlags StN wurden an allen Messpunkten eingehalten.
- Die Gehalte von Cr, Zn und Fe im Staubbiederschlag wurden ebenfalls bestimmt. Für diese Komponenten existieren in der TA Luft keine Immissionswerte. Zur Beurteilung werden deshalb für Cr und Zn die zulässigen jährlichen Frachten über alle Wirkungspfade (gilt nur

für landwirtschaftliche Bodennutzung) gemäß Anhang 2 Nr. 5 der BBodSchV herangezogen. Die Fracht an Cr überschreitet an den Messpunkten MP3 und MP5 trotz gesunkener Emissionswerte (s.o.) den Orientierungswert von 82 µg/(m²*d). Die zulässige Fracht von Zn wird an allen Messpunkten unterschritten.

- Die Ergebnisse für den Schwebstaub PM10 und auch die untersuchten Inhaltsstoffe zeigen, dass alle herangezogenen Beurteilungswerte am MP5 unterschritten werden. Die maximale Ausschöpfung des Beurteilungswertes wurde für den Inhaltsstoff Cr mit 46 % ermittelt.

Zur Beurteilung der Immissionen von Dioxinen, Furanen und dioxinähnlichen Verbindungen wurden folgende Messungen durchgeführt:

- a) Im Zeitraum vom 28.10.2016 bis zum 27.10.2017 wurden Depositionsmessungen von Dioxinen und Furanen (PCDD/F) an den zwei Messpunkten MP3 und MP5 durchgeführt.
 - Die Ergebnisse zeigen, dass auch unter konservativer Berücksichtigung der vollen Bestimmungsgrenzen aller nicht quantifizierbaren Kongenere der Orientierungswert von 9 pg WHO-TEQ/(m²*d) eingehalten wurde.
- b) Im Zeitraum vom 01.01.2017 bis zum 31.12.2017 wurden Depositionsraten für die Stoffgruppe der polyhalogenierten Dibenzodioxine und Dibenzofurane (PCDD/PCDF) im Staubniederschlag am Messpunkt MP1 (nächstliegende Wohnbebauung nördlich vom Stahlwerk) ermittelt. Die Ergebnisse zeigen folgendes:
 - Werden die im TA-Luft-Bericht 17271-004_02 (Entwurf vom 18.06.2015) als Grenzwert vorgeschlagenen und in Sachsen als Orientierungswert empfohlenen 9 pg WHO TEQ/m²d zur Bewertung der PCDD/F+PCB Belastung herangezogen, wird das Immissionskriterium mit 32 % unterschritten.
 - Auf Basis eines Vergleichs mit vom Umweltbundesamt veröffentlichten Werten zur Deposition von Dioxinen, Furanen und dioxinähnlichen PCB im Staubniederschlag können die im Einwirkungsbereich der Anlage gemessenen Werte als typisch urban eingestuft werden.

3.3 Umweltbilanz

In nachfolgender Tabelle 8 ist auf Basis der Ergebnisse des durchgeführten Messprogramms mit Ergebnisstand des Monatsmittels vom Juni 2018 zusammenfassend die Umweltbilanz des Vorhabens dargestellt. Die im Monat Juni 2018 festgestellten Zusammenhänge wurden auf die Erzeugung des Jahres 2017 hochgerechnet, um die absoluten umwelttechnischen Auswirkungen des Vorhabens darzulegen.

Wir gehen davon aus, dass die Produktionsmenge des Jahres 2017 auch im Jahr 2018 und den Folgejahren erreicht bzw. überschritten wird. Insofern ist aus aktueller Sicht eine „untere Schranke“ der zukünftigen Umweltauswirkungen dargelegt.

Stoff / Energie	Erzeuger / Verbraucher	Angestrebte spezifische Änderung pro t	Erreichte spezifische Änderung pro t	absolute Veränderungen von Erzeugungen und Verbräuchen (hochgerechnet auf die Jahreserzeugung 2017)
Leichtfraktion	Schrottreinigung	+10,30 kg/t	-16,89 kg/t	-16.342 t/a
Schwerfraktion	Schrottreinigung	+7,90 kg/t	-14,67 kg/t	-14.194 t/a
Strom	LBO	-17,34 kWh/t	-9,84 kWh/t	-9,52 GWh/a
Erdgas	LBO	-1,55 kWh/t	-5,44 kWh/t	-5,26 GWh/a
Erdgas	Walzwerksofen	-120,66 kWh/t	-105,69 kWh/t	102,26 GWh/a
CO ₂ -Emissionen	gesamt	-31,47 kg _{CO2} /t	-27,33 kg _{CO2} /t	-26.442 t/a
Schlacke	LBO	-28,29 kg/t	-30,96 kg/t	-29.956 t/a
Filterstaub	LBO	-3,47 kg/t	-3,10 kg/t	-2.996 t/a
Schrotteinsatz	Stahlwerk	-34,11 kg/t	-42,50 kg/t	-41.125 t/a
Zunder	Walzwerksofen	-2,68 kg/t	-4,67 kg/t	-4.519 t/a

Tabelle 8: Übersicht über die Umweltbilanz des Vorhabens

Im Gesamtergebnis konnten die ursprünglich insgesamt veranschlagten Ressourceneinsparungen und Umweltentlastungen erreicht werden. Jedoch ergeben sich einzelne Abweichungen zum Plan. Hierbei muss beachtet werden, dass in den kommenden Monaten (Validierungsphase des Vorhabens) weitere Detailabstimmungen beim Betrieb der Anlage vorgenommen werden, sodass gewisse Veränderungen noch erwartet werden können.

- Hervorzuheben ist die gegenüber dem Plan zusätzlich erreichte Ausbringensverbesserung des Stahlwerkes. Gegenüber dem Planansatz wird ein verringerter spezifischer Schrotteinsatz von 8,39 kg/t (42,50 kg/t – 34,11 kg/t) erreicht, was einer zusätzlichen Verringerung der Schrotteinsatzmenge um jährlich ca. 8.100 t entspricht.
- Für das Erschmelzen im LBO (Erdgas und Strom) sowie für die Knüppelerwärmung im Walzwerksofen (Erdgas) waren Energieeinsparungen von in ca. Summe 20 % geplant. Erreicht wurden tatsächliche Einsparungen in Höhe von 17,3 %.
 - Der wesentliche Anteil der Abweichung zum Plan wird durch einen verminderten Eintrag an Prozesskohlenstoff (Veränderung: -3,5 kg/t) hervorgerufen.
Anmerkung: Da der chemische Energieeintrag gegenüber dem Altzustand erheblich reduziert ist, wird eine Kompensation durch zusätzliche elektrische Energie erforderlich.
 - Die geplante Energieeinsparung beim Erdgas von 40,5 % wird mit 36,5 % in guter Näherung erreicht.
- Durch die verminderten Verbräuche an Primärenergien im LBO sowie im Walzwerksofen werden die jährlichen Emissionen um 26.442 t CO₂-Äquivalenten reduziert (Umrechnung mit Emissionsfaktoren des Umweltbundesamtes für das Jahr 2019).

3.4 Wirtschaftlichkeitsanalyse

Auf Basis der im Juni 2018 erreichten Produktionskennzahlen werden nachfolgend – hochgerechnet auf die Erzeugungsmengen von 2017 - die jährlichen Kosteneffekte dargelegt. Es wird eine Erzeugung von 967.562 t zugrunde gelegt.

Veränderung Stoffe	Kostenveränderung in €/a
Umwandlungskosten Schrottreinigung	2.064.333
Summe aus Kosten und Erlösen für aussortierte Fraktionen der Schrottreinigung	-1.846.081
Reduzierung Stromverbrauch LBO	-523.600
Reduzierung Gasverbrauch LBO und Walzwerksofen	-2.634.240
Entsorgungskosten Schlacken und Stäube	-265.325
Verringerung Schrotteinsatz	-10.727.456
gesamte Kostenveränderung	-13.932.369

Tabelle 9: Kostenveränderungen bezogen auf eine Jahreserzeugung von 2017

Demnach wird ohne Berücksichtigung der Afa eine Kosteneinsparung von ca. 13,9 Mio. € pro Jahr erreicht.

Die von uns auf Basis einer statischen Wirtschaftlichkeitsrechnung erwartete Amortisationszeit von 5 Jahren konnte mit einer Rücklaufzeit von knapp 1 Jahr erheblich unterschritten werden. Wesentlicher Grund hierfür ist das gegenüber der Vorhabensplanung signifikant veränderte Schrottreinigungskonzept. Das im Vorhaben umgesetzte neuartige Schrottreinigungskonzept hat zur Folge, dass erheblich höhere Schrottmengen gereinigt, die ursprünglich veranschlagten Kosten für die Beschaffung von höherwertigen Schrottsorten vermieden werden und das Ausbringen gegenüber der Planung signifikant erhöht werden konnte.

Bei der Betrachtung der Wirtschaftlichkeit ist ferner zu berücksichtigen, dass zeitgleich zur Umsetzung des hier beschriebenen Vorhabens weitere, kleinere Verbesserungsmaßnahmen insbesondere auf dem Gebiet der Schrottbeschaffung stattgefunden haben, die einen gewissen Anteil an denen mit dem Vorhaben verknüpften Vorteilen ausüben.

3.5 Technischer Vergleich zu konventionellem Verfahren

Die Herstellung von Walzprodukten erfolgte zum Zeitpunkt der Antragstellung im Jahr 2012 üblicherweise zweistufig:

- Stahlerzeugung und Abgießen der Stahl-Halbzeuge (Strangguss-Knüppel),
- Auswalzen zu Langprodukten im Walzwerk

Weltweit waren weit überwiegend die Fertigungen von Stahlwerk und Walzwerk über ein Zwischenlager anlagentechnisch und materialflussmäßig entkoppelt. Die dem Zwischenlager zugeführten Halbzeuge kühlten dabei aus der Gießhitze kommend auf Umgebungstemperaturen ab. Der hierdurch verursachte spezifische Energieverlust betrug etwa 220 - 250 kWh/t und musste vor Walzbeginn wieder in die Zwischenprodukte eingebracht werden. Die Wirkungsgrade der

Erwärmungseinrichtungen erforderten hierfür - je nach Anlageneffizienz - einen spezifischen Energieeinsatz von ca. 300 - 400 kWh/t.

Ende der 1980er Jahren wurden erstmalig Anlagen für Flacherzeugnisse in Betrieb genommen, in denen die direkte Verarbeitung der noch heißen Stahlwerkserzeugnisse im Walzwerk möglich wurden („CSP“ = Compact Strip Production, SMS). Diese Anlagen zeichneten sich naturgemäß durch erheblich verringerte Ressourcenverbräuche aus. Eine Übertragung dieser Technologie auf Langprodukte hatte aufgrund der typischerweise komplexeren Fertigungsprogramme und kleineren Losgrößen jedoch nur sehr zögernd eingesetzt. Anfang der 1990er Jahre wurde ein Anlagenkonzept zum direkten Walzen der Stahlerzeugnisse vom Anlagenbauer Danieli (Italien) vorgestellt und in Betrieb genommen. 2009 wurde mit der Inbetriebnahme der „Micromill“ nach dem „ECR“-Verfahren (Endless Casting Rolling Process) von Danieli bei CMC in Arizona ein weiterer Schritt zur Verkürzung der Prozesskette mit der kinematischen Koppelung von Stahl- und Walzwerk vollzogen. Diese Anlage hatte jedoch lediglich eine Jahresproduktion von max. 340.000 t bei einem sehr eingeschränkten Erzeugnisprogramm.

Aufgrund der erheblichen, mit dem Direkteinsatz theoretisch erreichbaren Energie- und Kosteneinsparungen wurde auch in bestehenden Stahl-/Walzwerken für Langprodukte seit Jahren versucht, den Anteil heiß eingesetzter Gießerzeugnisse zu erhöhen.

Diesen Bemühungen standen allerdings erhebliche metallurgische, anlagentechnische und logistische Restriktionen entgegen. Infolgedessen wurden in Bestandsanlagen Heiß- bzw. Direkteinsätze in der Regel dann durchgeführt, wenn metallurgisch unkritische Qualitäten gewalzt wurden, die Synchronisierung von Stahl- und Walzwerk einen nur geringen Produktivitätsverlust verursachten und große Losgrößen verarbeitbar waren.

Ferner gab es nach Kenntnis des Antragstellers aktuell weit überwiegend Beispiele für einen industriellen Heißeinsatz der Stranggussknüppel in Temperaturbereichen, in denen bereits eine weitgehende Umwandlung in die α -Phase erreicht wird. Aufgrund der dann bereits eingesetzten Kornfeinung liegen für Auswalzen „in einer Hitze“ günstige werkstofftechnische Voraussetzungen vor.

Innovative Kopplung von Stahl- und Walzwerk

Das Ziel der angestrebten Umweltentlastungen erforderte die substantielle Erhöhung des Anteils direkt gewalzten Stahls. Voraussetzung hierfür ist die logistische und anlagentechnische Realisierung eines „Gleichtakts“ zwischen Stahl- und Walzwerken.

Ein wirtschaftlicher Betrieb wird bei Bestandsanlagen erschwert, da die Produktivitäten von Stahl- und Walzwerken je nach erzeugtem Fertigprodukt systematisch voneinander abweichen und bestehende Puffer- bzw. Zwischenlager zwischen beiden Anlagenbereichen unzweckmäßig sind. Typischerweise wird bei kleinen Walzabmessungen das Walzwerk zum Engpass während bei größeren Abmessungen das Stahlwerk die Produktivität begrenzt.

Ein weitgehender Direkteinsatz ruft somit bei unveränderter Anlagentechnik ein permanentes wechselseitiges Wirksamwerden von Produktivitätsengpässen hervor. Dies führt insgesamt zu erheblichen Produktivitätseinbußen, sodass trotz erheblicher Einsparungen an Energie und an anderen Ressourcen die Gesamtwirtschaftlichkeit nicht erreicht werden kann.

Ein innovativer Kern des Vorhabens war es von daher, die jeweiligen Produktivitätsengpässe in einer Bestandsanlage ein einem Maße aufzuheben, wodurch ein wirtschaftlicher Betrieb erreicht wird. Eigene Vorarbeiten hatten gezeigt, dass im Stahlwerk erhebliche Verbesserungen möglich

erschieden, um die vom Walzwerk geforderten Einsatzmengen über weite Programmbereiche zu bedienen.

Eine aus den Vorarbeiten resultierende Anforderung war die deutliche Flexibilisierung der Gießgeschwindigkeit der Stranggießanlage; dies bedingte auch die Anhebung der Gießgeschwindigkeit auf einen Maximalwert von 3 m/min. Die technologische Umsetzung dieser Forderung gelingt durch eine Reihe aufeinander abgestimmter Einzelmaßnahmen. Dazu gehörte auch die Umrüstung des Walzwerkofens auf eine Einsatztemperatur auf Werte von im Mittel oberhalb von 750 °C.

Innovative Schrotteinsatzplanung und Einsatzplanung

Das Ziel der angestrebten Umweltentlastung konnte zusätzlich nur durch einen innovativen Schrotteinsatz erreicht werden.

Dies beinhaltete den Aufbau eines Systems zur Schrotteinsatzplanung, das neben den üblichen Parametern, wie Marktpreisen, Verfügbarkeiten und Beständen, auch technologische Ergebniswerte rückführend berücksichtigte, z.B. Ist-Analysen, Schlackenmengen, Ausbringen. Darüber hinaus berücksichtigte das System die Charakteristiken des eigenen Kondirators, so dass der Schrotteinsatz am Kondirator mitgeplant und die Qualität des resultierenden Shredderschrotts in Grenzen vorausberechnet werden konnte.

Somit eröffnete das System erstmals die Möglichkeit einer dynamischen Schrotteinsatzplanung mit dem besonderen Fokus auf eine gesamtwirtschaftliche Optimierung beim Direkteinsatz.

Innovative Aspekte insgesamt

Das Vorhaben beinhaltete erstmalig eine konsequente Zusammenführung führender Technologien auf den Gebieten Schrotteinsatzplanung, Schrottmanagement, Anlagen- und Prozesstechnik sowie Logistik, um den Anteil des Direkteinsatzes bei Bestandsanlagen auf einen neuen Bestwert von 75 % zu steigern. Anspruchsvolles Ziel war es, nur noch einen geringen Teil der Gesamterzeugung von einem planmäßigen Direkteinsatz auszunehmen, wie z.B. Mengen beim Anfahren der Produktion sowie sehr empfindliche Drahtgüten mit hohen Umformungen.

4. Empfehlungen

4.1 Erfahrungen aus der Praxiseinführung

Die Anzahl und der insgesamt technologische Innovationsgrad der im Rahmen des Vorhabens umgesetzten Maßnahmen stellten an das Projektmanagement hohe Anforderungen. Insbesondere während der Inbetriebnahme bzw. des Probebetriebes ist ein funktionierendes Projektmanagement aller Zulieferfirmen wichtig. Es zeigte sich, dass speziell bei den prototypenhaften Einzelmaßnahmen teilweise zu optimistische Lieferzeitannahmen getroffen wurden. Es wird empfohlen, bei diesen Maßnahmen einen erhöhten Aufwand während der Planungsphase einzuräumen, um erhöhte Sicherheiten hinsichtlich der gewünschten Anlagenfunktionalitäten und Liefer- und Inbetriebnahmezeiträumen zu erreichen.

Als besonders herausfordernd stellte sich die Erarbeitung von Algorithmen für die Reihenfolgeplanung heraus. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die Komplexität mit der Breite des Herstellprogramms stark ansteigt.

4.2 Modellcharakter

Aktuell produzieren in Deutschland 17 Stahlwerke nach dem Elektrolichtbogenofen-Verfahren, womit allein in Deutschland eine hohe Multiplikatorwirkung gegeben ist (siehe Abbildung 1).

Innerhalb der EU-27 wurden von Elektrostahlwerken im Jahre 2015 ca. 63,8 Mio. t. Langerzeugnisse hergestellt.

Darüber hinaus existiert weltweit ein Vielfaches an Produktionsstandorten mit vergleichbarer Kombination von Stahlwerk und Walzwerk, auf welche das innovative Konzept ganz oder teilweise übertragen werden könnte.

Die technische Machbarkeit und wirtschaftliche Umsetzbarkeit in den Anlagen ist jeweils gesondert zu prüfen. Weitere Multiplikator-Effekte ergeben sich durch den Aufbau neuer Werke.

Um die innovative Verfahrenskombination bekannt zu machen, werden wir das Vorhaben auf unserer unternehmenseigenen Webseite darstellen und zusammen mit der Effizienz-Agentur NRW die Verfahrenskombination in deren Loseblattsammlung veröffentlichen.

4.3 Zusammenfassung

Durch die Umsetzung von metallurgischen, logistischen und anlagentechnischen Maßnahmen in einem kombinierten Stahl-/Walzwerk für Stahl-Langerzeugnisse konnte eine Direkteinsatzquote von 75 % realisiert werden. Im Ergebnis kann nach Umsetzung der Maßnahmen deutlich ressourceneffizienter und umweltschonender gefertigt werden.

Auf Basis eines vorhabenbegleitenden Messprogramm wurden ressourcenrelevante Daten und deren Veränderungen während der Umsetzung des Vorhabens kontinuierlich erhoben. Die dargelegten Ergebnisse zu den Ressourcenverbräuchen stellen gemessene Mittelwerte im Monat Juni 2018 dar. Im Vergleich zum Vorhabensbeginn ergeben folgende spezifische Veränderungen bei den Energie- und Stoffverbräuchen:

- Reduktion des Stromverbrauches bei der Knüppelerzeugung: 9,84 kWh/t
- Reduktion des Gasverbrauches bei der Walzwerkserzeugung: 105,69 kWh/t
- Erhöhung des Knüppelausbringens: 3,44 %-Punkte
- Verminderung von Schlacken und Stäuben bei der Knüppelerzeugung: 34,06 kg/t
- Verminderung des Zunderverluste im Walzwerk: 4,67 kg/t

Infolge des signifikant verringerten Verbrauchs an Strom und Erdgas wird eine jährliche Einsparung an CO₂ von 26.442 t erreicht.

Nach Beendigung des Probetriebs der Anlage wurden während eines nachfolgenden 12-monatigen Erfassungszeitraum relevante Emissionen und Immissionen gemessen und den Werten vor Umsetzung des Vorhabens gegenübergestellt. Wesentliche Ergebnisse sind:

- Bei den Emissionen von Dioxinen, Furanen und coplanaren (dioxinähnlichen) PCB konnte der Gehalt um ca. 78 % verringert werden.
- Bei den Emissionen von Schwermetallen konnten die Konzentrationen bei Pb, Ni, Cu und Cr gegenüber der Altanlage ebenfalls teilweise erheblich verringert werden.

Es kann angenommen werden, dass diese Verringerungen ursächlich in Zusammenhang mit den durch die Schrottsäuberung bewirkten verringerten Einträgen der den Altschrotten anhaftenden Kunststoffen und Schwermetallen in Verbindung zu bringen ist.

Weiterhin kann in Folge der verbesserten Schrottreinigung das Ausbringen in der Wertschöpfungskette Stahlwerk-Walzwerk um 3,44 %-Punkte erhöht werden.

Ferner wird durch das neuartige Vorgehen bei der Schrottreinigung ein Anteil von ca. 0,4 % an Nutstoffen aus den zugeführten Schrotten extrahiert, deren Erlöse einen signifikanten Beitrag für den wirtschaftlichen Erfolg des Vorhabens liefern.

Die ursprünglich budgetierten Investitionskosten in Höhe von 9.030.032 Euro wurden mit 9.010.794 Euro nahezu vollständig verausgabt.

Die bei der Planung veranschlagte Amortisationszeit von ca. 3 Jahren konnte infolge der erheblich höheren tatsächlichen Einsparungen, insbesondere bei den Materialien, auf knapp 1 Jahr reduziert werden. Dieses Ergebnis untermauert die Sinnhaftigkeit dieser Zukunftsinvestition für unser Unternehmen.

Mit der erfolgreichen Inbetriebnahme der innovativen Fertigungslinie ist der erstmalige großtechnische Einsatz dieser Technik in der Bundesrepublik Deutschland realisiert worden. Das Anlagenkonzept ist auf eine Vielzahl von Elektrostahlwerken weltweit übertragbar.