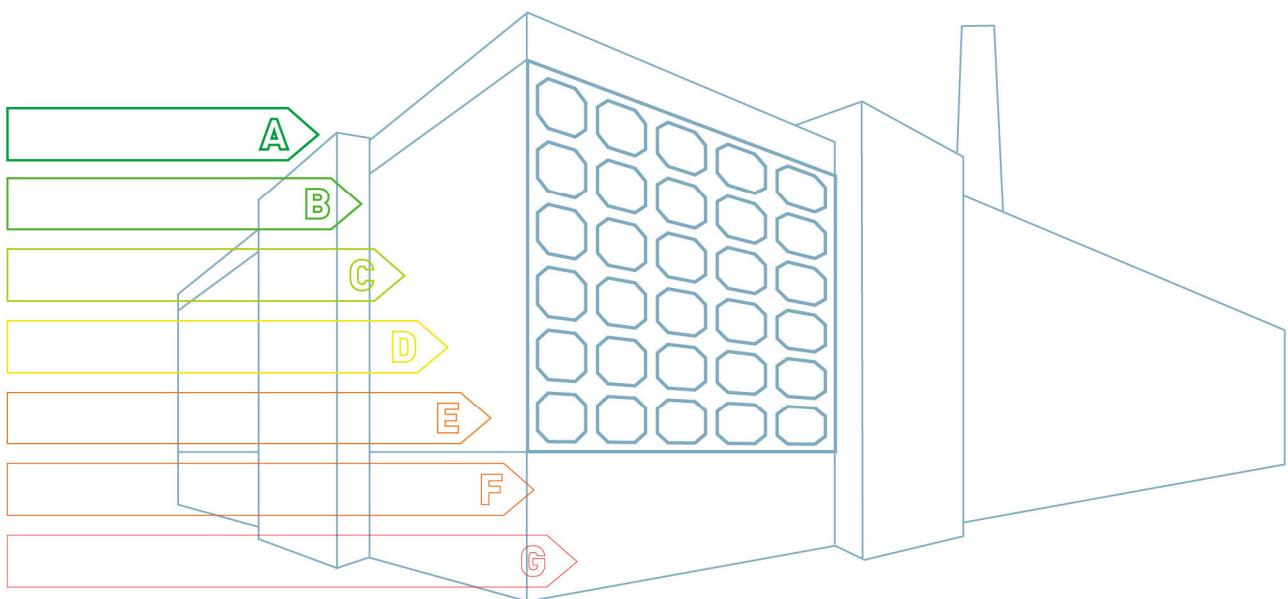




Energieeffizienz und Abwärmennutzung in komplexen Energiesystemen der Stahlindustrie



VORWORT

Die Publikationsreihe **BLUE GLOBE REPORT** macht die Kompetenz und Vielfalt, mit der die österreichische Industrie und Forschung für die Lösung der zentralen Zukunftsaufgaben arbeiten, sichtbar. Strategie des Klima- und Energiefonds ist, mit langfristig ausgerichteten Förderprogrammen gezielt Impulse zu setzen. Impulse, die heimischen Unternehmen und Institutionen im internationalen Wettbewerb eine ausgezeichnete Ausgangsposition verschaffen.

Jährlich stehen dem Klima- und Energiefonds bis zu 150 Mio. Euro für die Förderung von nachhaltigen Energie- und Verkehrsprojekten im Sinne des Klimaschutzes zur Verfügung. Mit diesem Geld unterstützt der Klima- und Energiefonds Ideen, Konzepte und Projekte in den Bereichen Forschung, Mobilität und Marktdurchdringung.

Mit dem **BLUE GLOBE REPORT** informiert der Klima- und Energiefonds über Projektergebnisse und unterstützt so die Anwendungen von Innovation in der Praxis. Neben technologischen Innovationen im Energie- und Verkehrsbereich werden gesellschaftliche Fragestellung und wissenschaftliche Grundlagen für politische Planungsprozesse präsentiert. Der **BLUE GLOBE REPORT** wird der interessierten Öffentlichkeit über die Homepage www.klimafonds.gv.at zugänglich gemacht und lädt zur kritischen Diskussion ein.

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm „Energie der Zukunft“. Mit diesem Programm verfolgt der Klima- und Energiefonds das Ziel, durch Innovationen und technischen Fortschritt den Übergang zu einem nachhaltigen Energiesystem voranzutreiben.

Wer die nachhaltige Zukunft mitgestalten will, ist bei uns richtig: Der Klima- und Energiefonds fördert innovative Lösungen für die Zukunft!



Theresia Vogel
Geschäftsführerin, Klima- und Energiefonds



Ingmar Höbarth
Geschäftsführer, Klima- und Energiefonds

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung.....	2
Abstract	4
1) Einleitung:	6
Aufgabenstellung:	6
2) Inhaltliche Darstellung:.....	10
Gasverbund:	10
Dampfverbund:	11
Energiemonitoring und Werksentwicklung:	12
Energiemonitoring:.....	12
Werksentwicklung/Ofenmodell:.....	12
Werksentwicklung/Energiekataster:	13
3) Ergebnisse und Schlussfolgerungen.....	14
Gasverbund:	14
Dampfverbund:	15
Energiemonitoring und Werksentwicklung:	18
Ofenmodellierung:.....	19
Energiekataster:.....	19
4) Ausblick und Empfehlungen:.....	20
Gasverbund:	20
Dampfverbund:	20
Kombination der Regelung von Gas- und Dampfverbund:.....	20
Energiemonitoring:.....	20
Energiekataster:.....	20
Modellbibliothek für Wiedererwärmungsaggregate:	20
5) Literatur:.....	21

Kurzfassung

Bei integrierten Hüttenwerken ist der (prozessbedingte) energetische Aufwand in Abhängigkeit der Umwandlungsstufen unterschiedlich hoch. Die umfassende Analyse dieser energetischen Strukturen und die umfassende Prüfung der Verwertungsmöglichkeiten auf Basis zahlreicher Analysen ist Inhalt dieses Projekts.

Im Rahmen des Arbeitspakets Werksentwicklung und Energiemonitoring werden für die Veredelungsanlagen des integrierten Hüttenwerks – wie Kaltwalzwerke, Beizen, Glühanlagen, Feuerverzinkungsanlagen und Bandbeschichtungsanlagen – geeignete Kennzahlen zur Bewertung der Energieeffizienz definiert. Dies geschieht auf Basis der IPPC-Dokumente und der IISI-Studie, wobei ein Zusammenhang des Energieverbrauchs und den, in den einzelnen Anlagen hergestellten, Produkten und deren Spezifikationen hergestellt werden soll. Die entwickelten Kennzahlsätze sollen in weiterer Folge als Benchmarks für das Energiemonitoring dienen. Für eine genauere Betrachtung der Energieeffizienz wird der Hubbalkenofen, einer der größten Energieverbraucher, modelliert und wärmetechnisch analysiert. Für den Bereich Werksentwicklung werden unterschiedliche Konzepte für eine Neuaufstellung des Hüttenwerks hinsichtlich der Erzreduktionsverfahren, wie z. B. die Integration eines COREX- Verfahrens, und dessen Einfluss auf den Energiehaushalt untersucht. Weiters wird der Einfluss einer Kokstrockenkühlung in der Kokerei auf das integrierte Hüttenwerk und deren Wirtschaftlichkeit betrachtet. Es werden auch kleinere Einheiten wie Turbinen, Pumpen, Motoren und deren Regelungskonzepte hinsichtlich der Energieeffizienz betrachtet.

Im Zuge der Untersuchung des Gasverbundes werden die vier großen Hüttengasnetzwerke dynamisch betrachtet. Zu diesem Zweck werden nacheinander die vier Gasnetze (Gichtgas, Tiegelgas, Erdgas, Kokereigas) mittels eines dynamischen Simulationstools modelliert. In den Modellen wird auch Augenmerk auf die Regelung dieser Systeme gelegt. Mittels der dynamischen Modelle können in Folge verschiedene Betriebszustände sowie Szenarien untersucht werden. Ein Hauptaugenmerk liegt hier darauf, betriebsbedingte Fackelverluste weitgehend zu vermeiden. Hierfür müssen die Gasometer und deren Dynamik sowie andere wesentliche Anlagenkomponenten des jeweiligen Netzwerks berücksichtigt werden. Weiters gilt es, mögliche kritische Engstellen des Systems ausfindig zu machen und durch geeignete Maßnahmen zu verbessern. Im Weiteren können auch Störfälle sowie zukünftige Werksentwicklungen in die Simulation mit aufgenommen werden, um die Auswirkungen werkstechnischer Veränderungen bereits im Vorfeld zu untersuchen.

Das Arbeitspaket Dampf und Wärmeverbund soll – unter der Berücksichtigung heutiger und zukünftiger Betriebsbedingungen – durch unterschiedliche Untersuchungen und Simulationen Lösungen identifizieren, bewerten und letztendlich damit eine Strategie entwickeln, um die Energieeffizienz des Hüttenwerks Linz zu verbessern. Anfangs wird eine Optimierung des aktuellen Energiesystems durch dynamische Simulationen von Dampf- und Wärmeverbund durchgeführt. Lösungen, die auf die Prozessregelung, die Betriebsparameter und die Lastverteilung wirken, sind unter anderem zu erforschen. In einer zweiten Phase werden Ideen erfasst und Konzepte definiert, um das Abwärmepotenzial sinnvoll zu nutzen (z. B. Absorptionskältemaschinen, ORC / Kalina Prozesse, AHK Stoßofen u. FVZ, verbesserte exergetische Nutzung im Dampfverbund). Ein Modell soll es erlauben, den Einfluss auf das aktuelle Dampfnetz und insbesondere die Verbesserung der

Gesamtenergieeffizienz darzustellen. Anschließend sollen die geänderten Randbedingungen des zukünftigen Energiesystems (mit allen laufenden Projekten: Block 7, Maßnahmen der Werkserweiterung und Kapazitätssteigerung) betrachtet werden, um damit deren Einfluss auf Gesamteffizienz und Wirtschaftlichkeit darzustellen.

Abstract

The energetic flow of an integrated steel plant is strongly independent from the different processes. The goal of the project is to analyse these different energy flows and the development of measures to increase the overall energy efficiency.

The work package of the future development of an integrated iron and steel works and energy monitoring deals with the definition of benchmarks for cold-rolling mills, pickling units, annealing units, hot-dip galvanizing lines and organic-coating lines. The benchmarks should be based on the IPPC and IISI documents with consideration of different product specifications.

For a more detailed investigation of the energy efficiency, the walking beam furnace will be modeled and simulated. New concepts of iron ore reduction and its influence on the energy balance of integrated iron and steel works will be investigated. A coke dry quenching unit will be considered as well as its profitability. Furthermore, the energy efficiency of smaller units such as turbines, pumps, electrical drives and their control concepts are investigated.

In the course of an investigation of the gas distribution system, all four different main gas networks should be analysed dynamically. For this purpose, all four gas distribution systems (blast furnace gas, converter gas, natural gas and coke oven gas) shall be modeled with a dynamic simulation tool. In these simulation models one focus will be the model of the control system to get a realistic model of the real correlations in the gas distribution systems. The use of a dynamic simulation allows analysis of different operational states and scenarios.

Another main focus is to reduce the losses of the flare caused by significant operation conditions. The different gas tanks and their dynamic behaviour while feeding must therefore be analysed. Furthermore, an important point is to find critical points of constrictions and appropriate actions to improve this behaviour. Different disturbances can also be analysed. Future site changes could then be analysed to get information about how these affect an integrated iron and steel works.

The package steam and heat networks will, thanks to different inquiries and simulations, identify and assess solutions to develop a strategy aiming to improve the energy efficiency of the steel factory process in Linz, considering its actual and future operating parameters:

- First, the actual energy system will be optimized thanks to a dynamic simulation of the heat and steam networks. Solutions acting on the process control, the operating parameters and the load repartition should be examined.
- In a second phase, ideas will be gathered and concepts defined for the rational use of the waste heat potential (e.g. absorption refrigerating machine, ORC/Kalina processes, waste heat boiler in the pusher furnace or at the hot-dip galvanizing lines, better use of exergy in the steam network). A model should simulate its influence on the actual steam network, and especially show the improvements of the global energy efficiency.
- Afterwards, the modified boundary conditions of the future energy system (ongoing projects: Block 7, Plant development measures and higher

throughputs) will be considered to represent their influence on the global efficiency and economics of the steel factory.

- Finally, scenarios will be developed in cooperation with voestalpine with the aim of elaborating a realization strategy.

1) Einleitung:

Aufgabenstellung:

Im Zuge des Projektes AEKIS werden folgende Themen behandelt.

- a. Entwicklung dynamischer Modelle der Gasnetze des integrierten Hüttenwerks der voestalpine Stahl.
Mit Hilfe der Modelle sollen Experimente zum optimierten Netzbetrieb durchgeführt werden, welche Informationen über:
 - Möglichkeiten zur Effizienzsteigerung bei Normalbetrieb
 - die sinnvolle Vorgangsweise bei Störungen an Erzeugern, im Leitungsnetzwerk und an den Verbrauchern liefern,
 - das Netzverhalten im Falle von Netzmodifikationen/Umbauten beurteilen.

- b. Entwicklung dynamischer Modelle des Prozessdampf- und Fernwärmeleitungsnetzes von voestalpine Stahl. Der Schwerpunkt liegt auf der Abbildung der Werksnetze inklusive aller wesentlichen Erzeuger, Leitungskomponenten (Armaturen und Regelorgane) und Verbraucher. Im Dampfverbund liegt der Schwerpunkt beim 18 bar-Prozessdampfnetz. Die Modelle werden zur Durchführung der folgenden Untersuchungen erstellt:
 - Analysen zum Wärmeverlust aufgrund des Zustands der Isolation und der Umgebungsbedingungen,
 - Kondensation und Kondensatanfall in den Leitungsabschnitten,
 - Simulation von Anfahrvorgängen von Teilleitungssystemen
 - Analysen zur Gleichförmigkeit von Druck und Temperatur an ausgewählten Orten im Netz in Abhängigkeit variierender Randbedingungen
 - Beurteilung der Funktion von Regelorganen (Stellklappen) und Armaturen
 - Beschreibung des Einflusses von Speichern auf den Netzbetrieb in Hinblick auf Druckgleichförmigkeit und Abblaseverluste.

- c. Energiemonitoring und Werksentwicklung:
Unter diesem Begriff sind die folgenden Arbeiten durchzuführen:
 - Entwicklung von Energiemonitoringtools mit denen der Energieeinsatz im Bereich der Veredelungsanlagen von voestalpine Stahl produktspezifisch beurteilt werden kann. Diese Tools erlauben die Berechnung von Enthalpie- und Wärmeströmen, welche über die Systemgrenze der jeweils betrachteten Anlage transportiert werden. Hierfür wurden Stoffwert- und Zustandsgrößen-Berechnungsprogramme erstellt, um die kalorischen Größen aus den Massenströmen und Temperaturen berechnen zu können.
 - Erstellung eines Energiekatasters für das Werksgelände von voestalpine: Ziel dieses Teilprojektes ist, energetische Potentiale im Werksbereich darzustellen und hinsichtlich ihrer Nutzungsmöglichkeiten zu bewerten.
 - Entwicklung einer Modellbibliothek für Industrieöfen zur dynamischen Simulation von unterschiedlichen Wiedererwärmungsaggregaten. Mit

Hilfe dieses Tools sollen Untersuchungen zur Fahrweisenoptimierung und zur Steigerung der Energieeffizienz durchgeführt werden. Die Arbeiten wurden mittels der Simulationssoftware Dymola (Programmiersprache Modelica) durchgeführt.

Schwerpunkte des Projektes:

Hauptziel des Projektes ist es die Energieeffizienz in komplexen industriellen Systemen (wie z. B. dem Gasverbund des Hüttenwerks) zu steigern. Abgeleitet davon liegt der Schwerpunkt des Projektes im Bereich der dynamischen Simulation (Modelle für Kuppelgas-, Dampf- und Fernwärmenetze sowie für Industrieöfen) sowie im Bereich des Energiemonitorings, d. h. in der Analyse von Teilsystemen, wofür ebenfalls geeignete Bilanztools erstellt wurden.

Einordnung in das Programm:

Das Projekt wurde in der 1. Ausschreibung des Programms ENERGIE DER ZUKUNFT der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft mbH (FFG) als „Technische Durchführbarkeitsstudie“ eingereicht.

Verwendete Methoden:

Folgende Methoden wurden in den drei Bereichen angewandt:

a) Bereich 1: Dynamische Simulation des Gasverbunds (Kuppelgas- und Erdgasnetz):

Die Modelle wurden mit Hilfe des dynamischen Simulationsprogrammes APROS (**A**dvanced **P**rocess **S**imulator) erstellt. Aus den vorhandenen Unterlagen (Lagepläne, R&I-Schemas, Funktionsbeschreibungen) wurden Masterpläne der Netze erstellt, welche in dynamische Modelle umgesetzt wurden. Die Validierung der Modelle erfolgt anhand von Messdaten, die aus dem Betriebsmesssystem zeitaufgelöst zur Verfügung gestellt werden. Die zeitlichen Randbedingungen stammen ebenfalls aus diesem System.

b) Bereich 2: Dynamische Simulation des Dampf- und Fernwärmeverbunds:

Wie im Bereich 1 kam auch hier die Software APROS zum Einsatz. Die Methodik und die daraus abgeleitete Vorgangsweise sind gleich wie im Gasverbund. Allerdings war es notwendig, vor allem im Bereich Prozessdampfnetz vereinfachte Teilmodelle des Netzwerks zu erstellen, weil das Gesamtmodell wegen der abzubildenden 2-Phasenströmung zu hohe Rechenzeiten benötigte. Neben den dynamischen Modellen wurden auch stationäre Modelle vom Gesamtsystem und von Teilnetzen erstellt, um Fragen der Energieeffizienz und Ökonomie zu erörtern.

c) Bereich 3: Energiemonitoring, Energiekataster und Erstellung einer Modellbibliothek für die dynamische Simulation von Industrieöfen:

- Energiemonitoring: Erfassung des produktbezogenen Energieeinsatzes mit Hilfe von dafür erstellten Bilanzierungstools, Ableitung von Kennzahlen, die den spezifischen Energieeinsatz ausdrücken. Wo möglich werden produktgruppenspezifische Kennzahlen gebildet.
- Energiekataster: Aus einem existierenden Emissionskataster von voestalpine Stahl wurde der Energiekataster abgeleitet. Jede Abwärmequelle wurde hinsichtlich ihrer Eignung für energetische Zwecke bewertet. Kriterien sind Temperatur, Wärmestrom, Anzahl der Vollaststunden, saisonale Verteilung dieser, Medium usw.

Aufbau der Arbeit:

Die drei angeführten Arbeitsbereiche wurden mit drei Dissertationen, die zeitlich parallel abgewickelt wurden, begleitet.

Aufbau der Arbeit im Bereich 1:

1. In einem ersten Schritt wurden 22 verschiedene Simulationsprogramme evaluiert und jenes (APROS Advanced Process Simulator) mit der besten Gesamtperformance (Bedienbarkeit, Rechenzeit, Preis / Leistungsverhältnis) ausgewählt.
2. Erstellung von Masterplänen der abzubildenden Netze basierend auf den vorhandenen Unterlagen (Lagepläne, R&I-Schemas, Funktionsbeschreibungen)
3. Modellerstellung
4. Modellvalidierung und ggf. Verbesserung
5. Durchführung von Experimenten mit den Modellen in Hinblick auf Betriebsoptimierung, Analyse von Störfällen und geplanten Netzmodifikationen.
6. Beurteilung der Experimente mit Messwerten aus dem Betriebsmesssystem.
7. Ausarbeitung von Konzepten und Empfehlungen zur Steigerung der Energieeffizienz im regulären Netzbetrieb, zur Störfallbehandlung (Ausfall von Verdichtern, Störungen an Erzeugern und Verbrauchern) und im Falle geplanter Umbauarbeiten.

Aufbau der Arbeit im Bereich 2:

1. Erstellung von dynamischen Modellen des Prozessdampf- und Fernwärmenetzes mit Hilfe des dynamischen Simulators APROS basierend auf den vorhandenen Unterlagen.
2. Entwicklung von vereinfachten Teilmodellen für die Analyse von Detailfragen wie:
 - die Inbetriebnahme von Teilleitungssystemen,
 - die Bestimmung der optimalen Größe von Dampfspeichern in Teilnetzen
 - Fahrweisenoptimierung in Teilsystemen (z. B. der Heizzentrale)
 - Maximierung der Fernwärmeauskopplung und damit der Abwärmenutzung

Der weitere Aufbau der Arbeit im Bereich 2 ist systematisch mit dem aus Bereich 1 ident.

Aufbau der Arbeit im Bereich 3:

Im Bereich 3 wurden Beiträge zu den Themen:

- Energiemonitoring
- Energiekataster
- Erstellung einer Modellbibliothek für die dynamische Simulation von Industrieöfen erstellt.

Zum Aufzählungspunkt Energiemonitoring erfolgte die Erstellung von Bilanztools mit denen der produktspezifische Energieeinsatz für die

Veredelungsanlagen (Kaltwalzwerk, Beize, Schubbeize, Bandbeschichtung, Feuerverzinkungsanlagen, Haubenglühen und Kontiglühe) beurteilt werden kann. Für die Erstellung dieser Bilanztools wurden zahlreiche Tools zur Berechnung von Stoffwerten und Zustandsgrößen geschaffen (spezifische Wärmekapazität von Gasen und Feststoffen, dyn. Viskosität, kinematische Viskosität, Enthalpie, Entropie und Exergie).

Im Bereich Energiekataster wurde ein listenbasiertes Softwaretool geschaffen, das die Abwärmequellen hinsichtlich ihrer Eigenschaften (Temperatur, Leistung, ggf. Abgaszusammensetzung, Rückkühlmöglichkeiten, ...) beurteilt. Basierend auf dieser Beurteilung können Konzepte zur Nutzung dieser Potentiale erstellt werden.

Für die Erstellung der Modellbibliothek wurde die Programmierumgebung Dymola (Programmiersprache Modelica) verwendet. Die Entwicklung der Module erfolgte phänomenologisch (Wärmeübertragungsmodell, Verbrennungsmodelle, Stoffvorschubmodell...) so dass die Einzelmodelle auf verschiedene Ofentypen angewandt werden können. Die Validierung des Modells erfolgt am Hubbalkenofen.

2) Inhaltliche Darstellung:

Gasverbund:

Der Projektbereich „Gasverbund“ umfasste die Analyse des gesamten Hüttengasnetzwerks mit Fokus auf das Gichtgasnetz. Ausgangssituation der Untersuchungen war der in Betrieb befindliche Gasverbund bestehend aus den drei Hüttengasnetzen (Gichtgasnetz, Tiegelgasnetz, Kokereigasnetz) sowie dem Erdgasnetz.

Im Zuge von Produktionserweiterungen waren zu Beginn des Projekts bereits Netzadaptionen im Bereich des Gichtgasnetzes vorgesehen, die einen wesentlichen Punkt der späteren Analysen ausmachten. Zielsetzung der Analysen war es, die Fackelvorgänge zufolge des dynamischen Zusammenspiels der unterschiedlichen Anlagen sowie zufolge von gasdynamischen Phänomenen besser zu verstehen, deren Ursachen zu eruieren und schlussendlich derart in den Gasverbund einzugreifen, sodass Verluste minimiert werden können. Die Herangehensweise bestand darin, die Gasnetze separiert von einander numerisch zu modellieren, um die dynamischen Vorgänge innerhalb der Netze mittels eines Modells abbilden zu können. Mittels der Simulationsplattform APROS wurde ein Großteil der Netze abgebildet. Als Randbedingungen wurden Realdaten aus dem Hüttenwerksbetrieb in die Simulation implementiert um möglichst realistische Betriebsbedingungen nachzubilden. Mittels der Simulation ist es möglich, verschiedenste Betriebszustände und Fahrweisen der Anlagen zu untersuchen bzw. zu analysieren, physikalische Phänomene isoliert von anderen Einflussparametern zu untersuchen, sowie Verbesserungsmaßnahmen mittels des Modells zu validieren und gegebenenfalls in der realen Anlage umzusetzen.

Mittels des Modells wurden zunächst Detailanalysen durchgeführt. Untersucht wurden Maßnahmen zur Verbesserung der Dynamik (Verringerung der Druckschwankungen), die mittels des Modells isoliert betrachtet werden konnten. Die physikalischen Einflussparameter wurden eruiert. In einem zweiten Schritt wurde geklärt in wie weit auf diese Einflussparameter seitens des Betriebs Einfluss genommen werden kann. Wenn möglich, wurden erste Verbesserungen im Betrieb umgesetzt.

Ein weiterer Hauptpunkt war die Untersuchung des Gichtgasnetzes hinsichtlich der bevorstehenden baulichen Änderungen. Die Unterschiede der alten und neuen Netzkonfiguration wurden gegenübergestellt. Offene Fragen für die neue Konfiguration, wie beispielsweise das Regelkonzept für die neue Klappe im Bereich des Inselnetzes, wurden analysiert und neue Konzepte ausgearbeitet, die schließlich in die reale Anlage implementiert wurden.

Für die neue Netzkonfiguration, wie sie seit Mitte 2010 vorliegt, wurden besondere Betriebsfälle (z.B. Ausfall Großverbraucher) untersucht, um die unterschiedlichen Betriebsfälle im Vorfeld zu erfassen und gegebenenfalls besser beherrschen zu können. Hier wurden auch Strategien für konkrete Situationen erarbeitet, die eine deutliche energetische Verbesserung darstellen.

Im Zuge der Arbeiten zeigte sich deutlich, dass die Effizienz des Gasnetzes im Wesentlichen von drei Einflussparametern abhängt:

- vom Betriebszustand der Anlagen,

- der Konfiguration des Netzes,
- sowie der Regelung der Regelklappen und Verdichter im Netz.

Auf die Netzkonfiguration kann nur bedingt Einfluss genommen werden. Verbesserungen im Netzverhalten können deshalb hauptsächlich durch Verbesserung der Regelung sowie durch optimales Abstimmen der Fahrweisen der einzelnen Anlagen aufeinander erzielt werden. Das Abstimmen der Anlagen erfordert sehr viel Know-How, und kann nur durch kontinuierliches Verbessern geschehen.

Dampfverbund:

Im Teil Dampf- und Wärmenetze des AEKIS-Projektes wurden das Dampfverteilsystem sowie der Fernwärmeverbund analysiert. Das Hauptziel der Arbeit ist es, Maßnahmen zu entwickeln und auszuwerten, um die Energieeffizienz dieser zwei Infrastrukturkomponenten zu verbessern. Eine Literaturrecherche bringt Ideen für die Suche nach Energieeffizienzmaßnahmen sowie nach stationären und dynamischen Methoden, um Konzepte ökonomisch zu bewerten. Im ersten Schritt wurden die Anlagen mit Hilfe der Anlagenbetreiber ausführlich analysiert. Im Zuge der Bestandsaufnahme wurde die Dokumentation über die Anlagen gesammelt und analysiert. Parallel dazu wurde die Prozessdatenhistorie der Anlagen betrachtet, um das Verhalten von Verbrauchern und Erzeugern zu charakterisieren. Die erstellten Massen- und Energiebilanzen stellen die Grundlagen für die Bildung von stationären Modellen unterschiedlicher Teile der Anlagen dar. Damit wurden Konzepte für die Bereiche Feuerverzinkungsanlage und Kokerei ausgewertet.

Da manche Teile der Anlagen stark dynamisches Verhalten aufweisen, wurden diese auch dynamisch modelliert. Nach Auswahl einer geeigneten Software für die Modellierungsarbeiten sind mehrere Modelle erstellt und validiert worden, die es erlauben, betriebliche Regelungs- sowie Umbau-Maßnahmen zu bewerten. In Zusammenarbeit mit dem Betreiber der Anlagen sind unterschiedliche Ideen zur Verbesserung der Energieeffizienz sowie der Betriebsbedingungen anhand der Modelle ausgewertet. Wirtschaftliche Ideen wurden implementiert.

Beim Dampfverbund sind anhand stationärer Betrachtungen die Dampfpreiskosten ermittelt worden. Damit ist die Errichtung eines Abhitzekessels in eine Feuerverzinkungsanlage bewertet worden. Die Wahl zwischen Dampf- oder Elektroantrieb bei unterschiedlichen Aggregaten der Kokerei ist mittels stationärer Modellierung betrachtet worden. Die dynamischen Modelle kamen für die Berechnung und Festlegung der Betriebsgrenzen der Hauptleitungen zum Einsatz. Konfigurationen des Netzes sind dynamisch untersucht worden, um den Betrieb einer Energierückgewinnungsturbine zu verbessern. Es wurden mehrere Varianten zur Stromerzeugung aus Abwärme - als Ersatz der derzeit im Einsatz stehenden Turbine - untersucht und deren Vor- und Nachteile dargestellt. Abschließend wurden mehrere Optimierungsmöglichkeiten an den Dampfspeichern im Stahlwerk analysiert.

Im Rahmen der Untersuchungen am Fernwärmeverbund wurden nach dynamischer Auswertung die Betriebsparameter eines Wärmetauschers geändert, um den Dampfverbrauch zu senken. Dazu wurde eine Umbaumaßnahme vorgeschlagen und simuliert, um den Betrieb der Anlage zu

vereinfachen. Zusätzlich wurden mehrere Maßnahmen definiert und untersucht, die der Kapazitätserhöhung der Fernwärmebereitstellung dienen sollen.

Die Anlagenbetreiber wurden im Umgang mit den Modellen geschult, damit von diesen neue Fragestellungen zu weiteren Betriebsfällen formuliert werden können.

Energiemonitoring und Werksentwicklung:

Das Arbeitspaket Energiemonitoring und Werksentwicklung wurde in drei Teile unterteilt:

- Energiemonitoring und Energieeffizienzkennzahlen
- Erstellung eines Ofenmodells für Industrieöfen
- Energie-/Abwärmekataster

Das Energiemonitoring beschäftigt sich mit Möglichkeiten zur Bemessung und Kontrolle der Energieeffizienz, wohingegen die beiden anderen angeführten Punkte den Fokus auf energieeffizienzsteigernde Maßnahmen in industriellen Anlagen legen. Die Erstellung des Ofenmodells sowie des Energie-/Abwärmekatasters wird dabei dem Projektteil Werksentwicklung zugeordnet. Die ursprünglichen im Arbeitspaket Werksentwicklung vorgesehenen Arbeiten zur energetischen Bewertung neuer Werkskonzepte konnte auf Grund der schwierigen wirtschaftlichen Situation im KJ 2009 nicht umgesetzt werden. Das Hauptaugenmerk wurde daher auf effizienzsteigernde Maßnahmen im Bereich Produktionsanlagen gelegt.

Energiemonitoring:

Das Energiemonitoring industriell produzierender Anlagen dient im Wesentlichen der Bemessung und Überwachung des effizienten Einsatzes verwendeter Energieträger. Hauptziel dieses Projektabschnitts war die Entwicklung von Energieeffizienzkennzahlen für den Veredelungsbereich. Es wurden zwei Ansätze verfolgt:

- die Entwicklung eines kumulierten spezifischen Energieverbrauchs SEC_{agg} und der
- eines Energieeffizienzindex EEI.

Die Umsetzung eines SEC_{agg} konnte, auf Grund der erheblichen Anforderungen an die Messtechnik und Messdatenerfassung, bandbezogene Energiedaten zu generieren, für die kontinuierlich produzierenden Anlagen nicht umgesetzt werden. Es wurden 3 verschiedene EEIs für das Energiemonitoring definiert.

Werksentwicklung/Ofenmodell:

In integrierten Hüttenwerken findet sich eine Vielzahl von energieintensiven Wiedererwärmungsprozessen. Die Zielsetzung dieses Projektbereichs Ofenmodellierung war die Erstellung einer Modellbibliothek zur dynamischen Simulation von Wiedererwärmungsöfen. Die Modelle sollen beim Auffinden energieeffizienzsteigernder Maßnahmen helfen. Für die Abbildung der

Wiedererwärmungsöfen wurden Modelle für die Brenner, die Ofenwände, das Aufwärmgut (Brammen), den Rost (Brammenauflage), die Wärmeübertragung durch Strahlung, die Wärmeübertragung durch Konvektion sowie für den Stofftransport geschaffen. Mit einem 3-Zonenmodell wurde die Funktion der modellierten Komponenten nachgewiesen.

Werksentwicklung/Energiekataster:

Viele Produktionsbetriebe integrierter Hüttenwerke betreiben Verbrennungsprozesse bei denen die Hüttengase oder Erdgas eingesetzt werden. Für strategische Entscheidungen zur Umsetzung weiterer energieeffizienzsteigernder Maßnahmen ist die Darstellung der vorhandenen Potentiale eine wesentliche Voraussetzung. Hauptziel dieses Projektbereichs Energiekataster war die Erstellung eines Energie- bzw. Abwärmekatasters, der energetisch bestehende Potentiale von Emissionsquellen mit dem dazugehörigen Standort am Werksgelände darstellt. Bei der Entwicklung des Energie-/Abwärmekatasters wurde die Erkenntnis bestätigt, dass die Emissionsquellen Potentiale für die Dampf- und Fernwärmeproduktion aufweisen. Eine wesentliche Rolle für eine wirtschaftliche Verwertung der Potentiale spielt die vorhandene, standortbezogene Infrastruktur.

3) Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Gasverbund:

Im Zug der Parameterstudie zu den dynamischen Vorgängen im Gichtgasnetz konnten die relevanten Parameter (Geometrie der Rohrleitungen, Dynamik der Regelklappe, Gradient der Einspeisung seitens des Hochofens (HO) etc.) eindeutig herausgearbeitet werden. Dabei zeigte sich, dass die vollständige Verwertung zufolge der Dynamik der Einspeisung seitens des HO schwierig ist und nur eine sehr eingeschränkte Möglichkeit bestand maßgeblich darauf Einfluss zu nehmen. Es zeigte sich allerdings auch, dass die bevorstehenden Umbaumaßnahmen die Situation weiter verbessern würden. Neuerliche Analysen nach durchgeführten Umbauten bestätigten dieses Ergebnis und zeigten eine Verbesserung der Gichtgasverwertung trotz gleichbleibender Dynamik des HO.

Für andere Parameterstudien wurden die durch Unterstützung der Betriebsverantwortlichen ausgearbeiteten Strategien mittels des Modells simuliert und bewertet. Dabei konnten einige Maßnahmen, die eine vermeintliche Besserung der Situation bringen sollten, widerlegt werden. Die aus den Studien gewonnenen Erkenntnisse führten zu neuen Überlegungen, welche Maßnahmen verschiedene Situationen verbessern sollten. Weiterführende Studien zu diesen Überlegungen wurden am Rande durchgeführt.

Der Vergleich der alten und neuen Netzkonfiguration brachte klare quantifizierbare Ergebnisse, die nach Fertigstellung der Umbaumaßnahmen überprüft werden konnten. Die Vergleichsanalyse der beiden Netzkonfigurationen zeigte einen deutlichen Druckanstieg im Bereich der Kraftwerkblöcke, was zusätzliche Kapazitäten schafft. Ursache hierfür ist der nachweisbar niedrigere Netzwidestand des gesamten Netzes in der neuen Konfiguration. Der niedrigere Netzwidestand brachte die Frage auf, ob das neue Netz ohne Verdichter auskommen könne. Die Simulation zeigte, dass trotz geschaffener Netzkapazitäten, bei gleichbleibender Produktion auf den Verdichter nicht verzichtet werden kann. Neben dem Druckniveau steigt die Druckgleichförmigkeit im gesamten Netz an, was die Wahrscheinlichkeit eines Anlagenausfalls grundsätzlich verringert. Dies führt zu mehr Versorgungssicherheit der Anlagen und zu einer besseren Beherrschbarkeit des Netzes bzw. der Anlagen im Falle einer Störung.

Ein wichtiges Ergebnis war die Darstellung des Gichtgasnetzbetriebs ohne Verdichter. Je nach Auslastung ist für alle untersuchten Netzkonfigurationen prinzipiell der Betrieb des Gichtgasnetzes ohne Verdichter möglich, wenn nur die Auslastung hinreichend gering ist. Die Ermittlung der Grenzen war ohne Modell nicht möglich, da derartige Versuche innerhalb des Normalbetriebs der Anlagen aus vielerlei Gründen nicht möglich waren. Mittels des Modells wurde zunächst für die alte Konfiguration jener Verbrauch ermittelt, der ohne Betrieb des Verdichters noch abzudecken ist. Dabei kommt es neben der Verbrauchsmenge noch auf die Verteilung des Massenstroms im Netz an. Dabei zeigte sich, dass die zur damaligen Zeit verbrauchten Gasmengen, bei jeglicher Verbraucheraufteilung, ohne Verdichter nicht bewältigt werden konnten, ohne einen unzulässig niedrigen Druck unmittelbar vor dem Kraftwerk zu tolerieren. Die Kapazität des Gichtgasnetzes ohne Verdichter erhöhte sich zwar deutlich nach den Umbaumaßnahmen, es wurde aber gezeigt, dass auch bei der neuen Konfiguration auf den Verdichter nicht verzichtet werden konnte.

Die Studie über den Betrieb des Gichtgasnetzes ohne Verdichter führte unmittelbar zu Untersuchungen über den Ausfall beider Verdichter. Dabei wurde mit Hilfe der bisherigen Erkenntnisse eine Strategie entwickelt, die im Falle des Ausfalls beider

Verdichter eine optimale Ausnutzung der Netzkapazität erlauben.

Dampfverbund:

In der Literatur findet man zahlreiche Ideen für Energieeffizienzmaßnahmen, die auf der Implementierung bestimmter Konzepte beruhen. Es existieren mehrere Methoden zur Auswertung der energetischen Potentiale (durch stationäre Betrachtungen oder dynamische Berechnungen), je nachdem wie es die Betriebsbedingungen verlangen. Wichtig ist es aber, in beiden Fällen die richtigen, zur Untersuchung passenden Systemgrenzen, zu ziehen.

Nach der Literaturrecherche wurden die Ideen zur Energieeffizienzverbesserung diskutiert und manche für weitere Untersuchungen ausgewählt.

Die aktuelle monatliche Dampfbedarfsentwicklung des Hüttenwerks in Abb.1 zeigt ein hoch dynamisches Verhalten Sommer /Winter. Die detaillierte Analyse weiterer Prozessdaten zeigt auch Schwankungen mit Zeitkonstanten von 10 Minuten bis zu mehreren Stunden. Dies beweist das hoch dynamische Verhalten der Dampfverbraucher und Erzeuger.

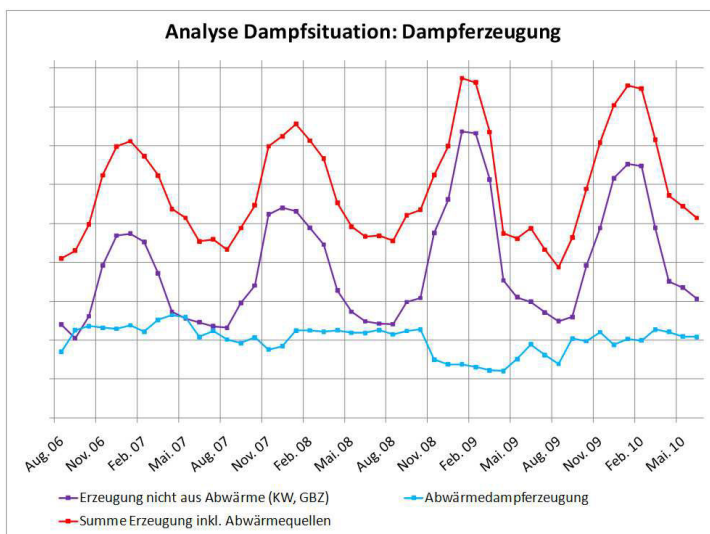


Abbildung 1: Monatlicher Dampfbedarf des Dampfverbundes

Die Ursachen für diese Schwankungen sind Verbraucher wie die Vakuumpumpen der RH-Anlagen

im Stahlwerk, die im 15 Minutentakt Betriebs- und Stillstandsphasen haben oder Erzeuger wie die Stoßöfen, die je nach Durchsatz der Warmwalzwerke unterschiedliche Mengen an Abwärmedampf produzieren und Produktionsschwankungen mit mehrstündigen Zeitkonstanten aufweisen. Der Fernwärmeverbund zeigt ein ähnliche dynamisches Verhalten. Dieses ist aber meist auf die saisonalen sowie die Tag/Nacht-Schwankungen des Fernwärmebedarfs von Gebäudeheizungen zurückzuführen.

Das statische Modell zur Dampfgrenzkostenberechnung, die abgeschätzten Preise, sowie die darauffolgende Wirtschaftlichkeitsanalyse für die Nachrüstung eines Abhitzeessels für eine Feuerverzinkungsanlage ist ein Ergebnis der Untersuchungen.

Mit Hilfe des erstellten stationären Modells des Kokereidampfnetzes wurden mögliche Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz in diesem Bereich ausgewertet:

- Fahrweise mit Dampf- oder Elektroantrieb für die Spülwasserpumpen der Kokerei
- Fahrweise mit Dampf- oder Elektroantrieb für den Kokereigassauger

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen zeigen, welche Betriebsweise während welcher Betriebsperiode (Sommer/Winter) wirtschaftlicher ist. Sie stellen eine Entscheidungshilfe für die Wahl zwischen Dampf- oder Elektroantrieb dar.

Der Aufbau eines Niederdruckdampfnetzes und einer Dampfturbine ist ebenfalls untersucht worden. Die Ergebnisse zeigen vier mögliche Varianten wie den Tausch der aktuellen Turbine gegen eine Maschine gleicher Leistung und drei andere Varianten, wo zusätzlicher Stromertrag erzielt werden könnte, wenn derzeit existierende Dampfdrosselungen vermieden und die entsprechenden Niederdruck-Dampfverbraucher mit expandiertem Turbinendampf versorgt würden.

Mit dem dynamischen Simulator APROS wurden insgesamt 4 Modelle aufgebaut, validiert, und für dynamische Untersuchungen verwendet. Diese Modelle wurden an den Betrieb übergeben, Schulungen über ihre Anwendung abgehalten, sowie eine ausführliche Dokumentation ausgearbeitet.

	Fernwärme-netz	Ostleitung	Reduziertes Dampfnetz inkl. Dampfspeicher	Gesamtes Dampfnetz
Netzaufbau	vollständig	vollständig	vollständig	vollständig
Validierung	gut	gut	gut	keine
Fallstudien	abgeschlossen	abgeschlossen	abgeschlossen	-

Abbildung 2: Dynamische Modelle der Dampf- und Fernwärmenetze

Folgende Fallstudien wurden mit den Dampfverbundmodellen durchgeführt:

- **Dampfqualität vor der Dampfturbine in der Heizzentrale:**
Zwei Betriebsvarianten wurden untersucht, um die Dampfqualität an der Dampfturbine zu verbessern. Der Vergleich der Simulationsergebnisse zeigte, dass die Variante mit einer Änderung der Versorgungskonfiguration günstigere Dampfparameter für die Dampfturbine schafft.
- **An-/Abfahren der Ostleitung:**
Der Energiebedarf eines An/Abfahrvorgangs wurde mit dem der alternativen Fahrweise verglichen (Warmhalten der Leitung ohne Dampfdurchsatz). Basierend auf diesem Vergleich ist es möglich zu entscheiden, welche der beiden Varianten wirtschaftlicher und ab welcher Zeitspanne die Außerbetriebnahme der Leitung sinnvoll ist.
- **Parameterstudie über die Betriebsweise einer Hauptdampfleitung:**
Unterschiedliche Parameterstudien haben es erlaubt, die Betriebsgrenze zu definieren, ab der Kondensation in der Leitung auftritt. Die Dampfparameter am Austritt einer Transportleitung bei unterschiedlichen Betriebsfällen sind während dieser Parameterstudie abgeschätzt worden. Unterschiedliche Abkühl- und Aufwärmzeiten sind anhand der Modelle für die Leitung berechnet worden.
- **Optimierung der Fahrweise der Dampfspeicher:**
Alternative Regelungsparameter für die Dampfspeicher-Druckregelklappe zeigen eine verbesserte Antwort des Dampfnetzes im Fall einer Druckstörung. Simulation zeigen auch, dass die Größe des

Dampfspeichers einen wesentlichen Einfluss auf die Stabilität des Dampfverbunddruckes hat.

Die Untersuchungen am Fernwärmenetz haben folgende Ergebnisse gebracht:

- Die Wärmeleitfähigkeit der Fernwärmeleitungen wurde entsprechend der Unterlagen überprüft und die Wärmeverluste minimiert.
- Der Dampfdruck eines der Wärmetauscher konnte niedriger gewählt werden. Dadurch wird weniger Dampf zur Fernwärmeerzeugung benötigt.
- Ein Bypass-Konzept für den neuen Fernwärme-Wärmetauscher ist erstellt worden. Dies ermöglicht einen flexiblen Betrieb in der Übergangszeit.
- Die Latenzzeiten zwischen dem Ausfall eines Wärmetauschers im Kraftwerksbereich und dessen Auswirkungen in der Heizzentrale je nach Fernwärmemassenstrom wurden mittels Modell bestimmt.
- Es bestehen mehrere Möglichkeiten, die Druckverluste im Fernwärmekreislauf weiter zu senken. Dadurch könnte die Lieferkapazität zur Fernwärmebereitstellung erhöht werden.

Energiemonitoring und Werksentwicklung:

Energiemonitoring:

Nach eingehenden Analysen wurde der Energieeffizienzindex für alle untersuchten Veredelungsanlagen umgesetzt. Als Referenzkennzahlen wurden Mittelwerte aus den Energieverbrauchsdaten des KJ 2008 sowie Werte aus [6] (best practice data) für die Anlagen verwendet. Die Abbildung 3 zeigt die Auswertung von drei unterschiedlich definierten EEIs für das KJ 2009 bis Mitte 2010 für die Feuerverzinkungsanlagen. Der rote und der blaue Graph verwenden als Referenzwert Jahresmittelwerte aus dem KJ 2008, dabei ist der blaue Verlauf mit dem Primärenergiebedarf und der rote Verlauf mit dem Endenergiebedarf berechnet worden. Der grüne Graph verwendet die sogenannten „best practice data“ aus [6] als Referenz.

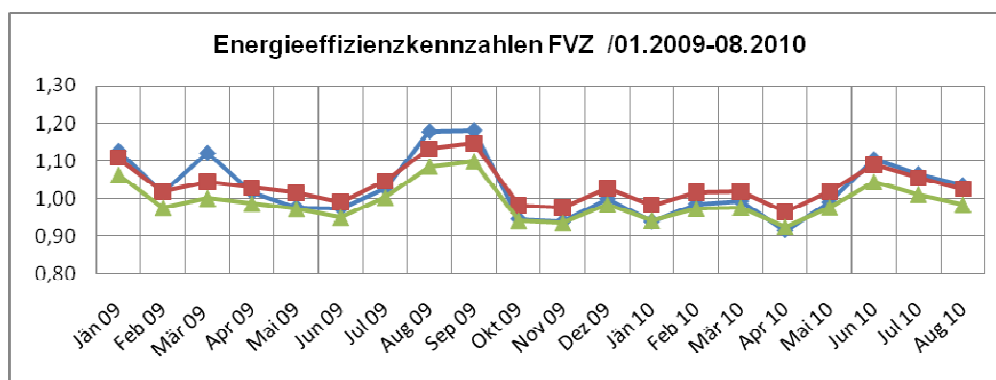


Abbildung 3: Auswertung des Energieeffizienzindex für eine Feuerverzinkungsanlage

Werte über 1 zeigen eine schlechtere Effizienz als der Referenzwert und Werte unter 1 eine bessere Effizienz. Die Schwankungen der EEIs sind dabei hauptsächlich durch den stark schwankenden Durchsatz erklärbar, da kaum eine volle Auslastung der Anlage über den betrachteten Zeitraum gegeben war.

Die Umsetzung eines SEC_{agg} konnte, auf Grund der erheblichen Anforderungen an die Messtechnik und die Messdatenerfassung, bandbezogene Energiedaten zu liefern, für die kontinuierlich produzierenden Anlagen nicht umgesetzt werden. Für die Haubenglühen, die den einzigen nicht kontinuierlichen Prozess im Verbund der betrachteten Anlagen darstellen, konnten Messreihen für 18 verschiedene Produktgruppen durchgeführt werden, welche im Beobachtungszeitraum nur eine Indikation für den spezifischen Energieverbrauch zugelassen haben. Eine Begründung dafür sind ungleiche Startbedingungen der Versuche wie eine mögliche ungünstige Einteilung der Energieintensität der Produktgruppen. Weitere Versuche werden geplant, konnten jedoch wegen des sehr hohen Zeitaufwandes in dieser Projektdauer nicht mehr durchgeführt werden.

Ofenmodellierung:

Mit dem 3-Zonenmodell wurde die Funktion der modellierten Komponenten nachgewiesen. Es wurden reale Verhältnisse für die Geometrie als auch für den Energieeintrag in die Zonen gewählt. Abbildung 4 zeigt als Ergebnis den Vergleich von zwei Brammentemperaturen bei variiertem Energieeintrag in die Vorwärm- bzw. Heizzone. Dabei ist das Nacheilen der Kerntemperatur der Bramme gegenüber den Brammenoberflächentemperaturen gut zu erkennen. Die Brammenendtemperatur liegt ca. 100°C über der erwarteten Temperatur, was durch die nicht aktivierte Kühlung des Rostes erklärt werden kann, aber auch durch einen Mittelwert der für die Verweildauer der Brammen im Ofen eingestellt wurde.

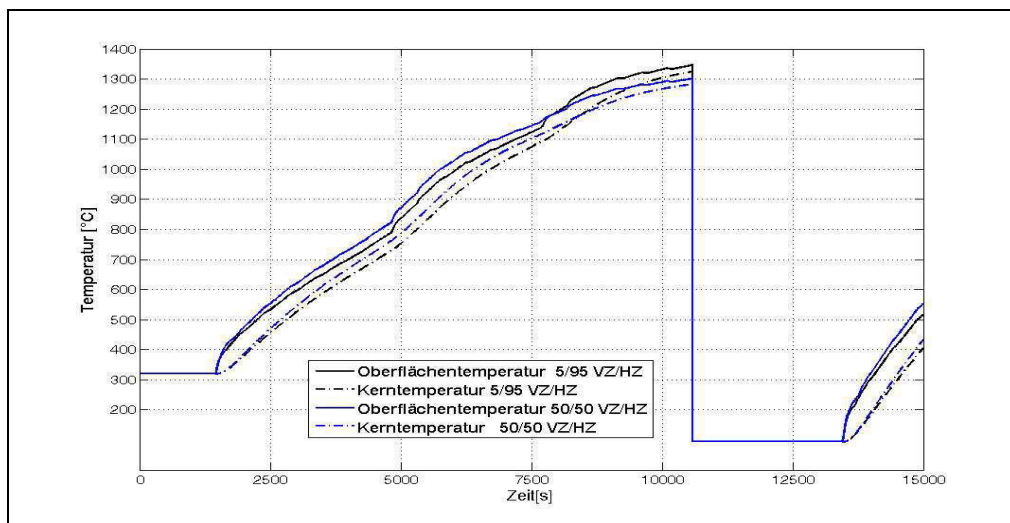


Abbildung 4: Vergleich von 2 Brammentemperaturen

Als erreichte Meilensteine und Highlights dieses Projektabschnitts kann die Erstellung der grundlegenden Modelle zur Abbildung von Wiedererwärmungsöfen und die Modellierung und Simulation eines 3-Zonenmodells genannt werden.

Energiekataster:

In den Energiekataster mit einbezogen wurden Quellen mit einer Dampfproduktion von mindestens 1 t/h und einer Fernwärmeauskoppelung von mindestens 1 MW thermisch. Das größte Dampfpotential liegt bei den Wiedererwärmungsöfen und den Feuerverzinkungsanlagen. Die Auswertung des Dampf- und Fernwärmepotentials bilden in diesem Projektabschnitt die erreichten Meilensteine und Highlights ab.

Die berechneten Potentiale sollen in Zukunft in das Geoinformationssystem (GIS) eingebunden werden, um die Standorte mit Potentialen am Werksgelände zu visualisieren. Im GIS wird unter anderem das gesamte Rohrnetzwerk der Wärmeversorgung des Werks dargestellt. Somit hat man zukünftig die Möglichkeit die Potentiale unter Berücksichtigung der Infrastruktur zu bewerten. Zur Absicherung dieser Potentiale sind in weiterer Folge die Lastgänge der Abwärmequellen und wirtschaftliche Analysen einzubeziehen.

4) Ausblick und Empfehlungen:

Gasverbund:

Ausgehend von den Modellen für das Gichtgas- Tiegelgas-, Kokereigas- und Erdgasnetz ist es möglich die erstellten dynamischen Modelle für die Entwicklung einer modellbasierten, prädiktiven Regelung zu verwenden. Modellprädiktive Regelungen technischer Systeme besitzen den Vorteil, aufgrund der Kenntnis des Systemverhaltens auf Änderungen von Sollwerten zu bestimmten Zeitpunkten bereits im Vorhinein reagieren zu können, wobei verschiedene Gütekriterien (z. B. Einhalten des Druckes an bestimmten Stellen im Netz) mit unterschiedlicher Gewichtung berücksichtigt werden. Aufgrund der entkoppelnden Eigenschaften prädiktiver Regler zeigen solche Systeme auch beim Auftreten von Störungen Vorteile die letztlich zu geringeren Schwankungen der Zustandsgrößen (v. a. des Druckes) führen.

Dampfverbund:

Ähnlich wie im Gasverbund könnte auch für das Prozessdampfnetz ein modellprädiktives Regelungskonzept entwickelt werden. Das Ziel ist die Abstimmung der Regelung der Einzelaggregate im Dampfverbund unter Berücksichtigung des Netzverhaltens.

Kombination der Regelung von Gas- und Dampfverbund:

Unter Voraussetzung der Realisierung obiger Punkte könnte die Regelung von Gas- und Dampfverbund in einem gemeinsamen modellbasierten, prädiktiven Regelungskonzept vereint werden. Parallel wäre die Entwicklung eines Expertensystems möglich, das den Anlagenfahrer in seinen Entscheidungen unterstützt oder entlastet und verschiedene Optimierungskriterien berücksichtigt.

Energiemonitoring:

Die Entwicklung produkt- und produktgruppenspezifischer Kennzahlen, welche die Energieeffizienz der Herstellung der verschiedenen an einer Anlage produzierten Stoffe beschreibt, könnte unter Voraussetzung zusätzlich installierter Messdatenerfassung weitergeführt werden. Der Benefit wären Aussagen über den Energieeinsatz für bestimmte Produktgruppen.

Energiekataster:

Erweiterung der Aussagen des Energiekatasters in Hinblick auf die wirtschaftliche Umsetzbarkeit der an den verschiedenen Stellen auftretenden Potentiale. Erfassung der zeitlichen Schwankung der verfügbaren Potentiale.

Modellbibliothek für Wiedererwärmungsaggregate:

Einsatz der Modelle im Betrieb zur Fahrweisenoptimierung.

5) Literatur:

- [1] "*Dynamic simulation of different gas distribution systems in integrated iron and steel works*"; Vortrag: Solid Waste Management Symposium, Wien; 11.03.2009 - 13.03.2009; in: "*Proceedings of the C&SEE International Solid Waste Management Symposium*", R. Schimon, H. Walter, A. Werner, M. Haider (Hrg.); Institut für Thermodynamik und Energiewandlung, (2009), ISBN: 978-3-9500459-1-8; S. 9 - 15.
- [2] R. Schimon, T. Henrion, S. Jakubek, A. Werner, M. Himmelbauer, M. Buchsbaum, K. Haider, M. Haider: "*Methoden zur Verbesserung der Energieeffizienz mittels dynamischer Simulation am Beispiel eines integrierten Hüttenwerks*"; Vortrag: ASIM Treffen 2010, Ulm; 04.03.2010 - 05.03.2010; in: "*ASIM Treffen 2010 - Simulation technischer Systeme, Grundlagen und Methoden in Modellbildung und Simulation*", (2010), ISBN: 978-3-9810998-3-6; S. 103 - 113.
- [3] R. Schimon, A. Werner, M. Haider, K. Haider, M. Himmelbauer: "*Optimierung eines multiverzweigten Gasnetzes in Hinsicht auf die Energieeffizienz am Beispiel des Gichtgasnetzes der VOEST Alpine Stahl Linz*"; Vortrag: 11. Symposium Energieinnovation: Alte Ziele - Neue Wege, TU Graz; 10.02.2010 - 12.02.2010; in: "*EnInnov 2010*", (2010), ISBN: 978-3-85125-083-1; 15 S.
- [4] T. Henrion, M. Haider, A. Werner, K. Haider: "*Konzepte zur Anpassung eines komplexen Energiesystems an schwankende Energiepreise. Beispiel eines Dampfnetzes in einem integrierten Hüttenwerk*"; Vortrag: 11. Symposium Energieinnovation: Alte Ziele - Neue Wege, TU Graz; 10.02.2010 - 12.02.2010; in: "*EnInnov 2010*", (2010), ISBN: 978-3-85125-083-1; 15 S.
- [5] D. Kreuzer, A. Werner, M. Haider, K. Haider, K. Schaumlechner: "*Energiemonitoring von industriellen Anlagen integrierter Hüttenwerke am Beispiel ausgeführter Systeme*"; Vortrag: 11. Symposium Energieinnovation: Alte Ziele - Neue Wege, TU Graz; 10.02.2010 - 12.02.2010; in: "*EnInnov 2010*", (2010), ISBN: 978-3-85125-083-1; 15 S.
- [6] European IPPC Bureau. *Reference Document on Best Available Techniques in the Ferrous Metals Processing Industry*. European Commission Directorate-General JRC Joint Research Centre, Institute for Prospective Technology Studies, Competitiveness and Sustainability Unit. Sevilla-Spain: s.n., 2001.

IMPRESSUM

Verfasser

voestalpine Stahl GmbH

Ewald Krainer

Voestalpine-Straße 3, 4020 Linz

E-Mail: ewald.krainer@voestalpine.com

Web: www.voestalpine.com

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber

Klima- und Energiefonds

Gumpendorfer Straße 5/22

1060 Wien

office@klimafonds.gv.at

www.klimafonds.gv.at

Disclaimer

Die Autoren tragen die alleinige Verantwortung für den Inhalt dieses Berichts. Er spiegelt nicht notwendigerweise die Meinung des Klima- und Energiefonds wider.

Der Klima- und Energiefonds ist nicht für die Weiternutzung der hier enthaltenen Informationen verantwortlich.

Gestaltung des Deckblattes

ZS communication + art GmbH