BMU-UMWELTINNOVATIONSPROGRAMM

Abschlussbericht zum Vorhaben:

Energieeinsparungen durch Bandgießen von Leichtbaustählen (EnBaL)

KfW-AZ: MBe1 - 001693

Fördernehmer/-in:

SALZGITTER FLACHSTAHL

Ein Unternehmen der Salzgitter Gruppe

BMU-UMWELTINNOVATIONSPROGRAMM

Abschlussbericht

zum Vorhaben:
Energieeinsparungen durch Bandgießen von Leichtbaustählen (EnBaL)
KfW-AZ: MBe1 - 001693

Fördernehmer /-in:
Salzgitter Flachstahl GmbH

Umweltbereich
(Abfallwirtschaft, Klimaschutz, Luftreinhaltung, Abwasserver- und -entsorgung, Ressourceneffizienz, Energie, Lärmschutz, integrierter Umweltschutz)

Laufzeit des Vorhabens
01. September 2009 – 30. Juni 2014

Autor
Dr.-Ing. Rune Schmidt-Jürgensen

Gefördert aus Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

Datum der Erstellung

Dezember 2014

Berichts-Kennblatt Aktenzeichen: UBA	Vorhaben-Nr.: KfW-AZ: MBe1-001693
Titel des Vorhabens: **Energieeinsparungen durch Bandgießen von Leichtbaustählen (EnBaL)**	
Autor(en); Name(n), Vorname(n) Dr.-Ing. Rune Schmidt-Jürgensen Dr.-Ing. Alexander Redenius	Vorhabensbeginn: **1. September 2009** Vorhabenende (Abschlussdatum): **30. Juni. 2014**
Fördernehmer/ -in (Name, Anschrift) Salzgitter Flachstahl GmbH Eisenhüttenstr. 99 38239 Salzgitter	Veröffentlichungsdatum: Seitenzahl: 66
Gefördert (aus der Klimaschutzinitiative)[1] im Rahmen des Umweltinnovationsprogramms des Bundesumweltministeriums	

Kurzfassung

Für die Herstellung von Stahlflachmaterial wird nach dem heutigen Stand der Technik nahezu ausschließlich das Stranggießverfahren eingesetzt. Dabei werden die gegossenen Brammen von größtenteils 250 mm Dicke in der Regel abgekühlt und zum anschließenden Warmwalzen in gasbefeuerten Öfen wiedererwärmt. Durch die diskontinuierliche Fahrweise und die Folge von Kühl- und Heizzyklen ergibt sich ein erhöhter Energieaufwand. Gleichzeitig stößt das Stranggießverfahren für neue Stahlgüten an seine Grenzen, insbesondere im Hinblick auf die prozessierbaren Legierungszusammensetzungen.

Ziel des Vorhabens ist die weltweit erstmalige Realisierung einer Bandgießanlage für Stahl im Demonstrationsmaßstab. Mit einer Bandgießanlage können Stähle endkonturnah und damit energiesparend hergestellt werden. Zusätzlich wird durch den horizontalen Prozess und die schnelle Erstarrung die Herstellung von HSD®-Stähle möglich, die wiederum neue, innovative Wege im konstruktiven Leichtbau eröffnen.

Die durch das Bandgießen realisierbaren Ressourceneinsparungen und damit verbundenen

ökonomischen Vorteile des Prozesses schlagen sich bei den Ökobilanzen (LCA = Life Cycle Assessment) der zukünftigen, mit der geplanten Anlage hergestellten Produkte positiv nieder. Die Begleitung und ressourceneffiziente Bewertung des Projektes erfolgte in Zusammenarbeit zwischen der Salzgitter Mannesmann Forschung GmbH (SZMF) und dem Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH (IFEU). Aus Sicht der Ressourceneffizienz konnte ein signifikantes Potenzial zur weiteren Umweltentlastung durch den HSD®-Stahl identifiziert werden. So können mit der Herstellung des HSD®-Stahls Treibhausgase um 40 % und der kumulierte Primärenergieaufwand um bis zu 20 % reduziert werden. Auf Basis der ökologischen Bewertung des HSD®-Stahl und der hier betrachteten Herstellungsroute lässt sich schlussfolgern, dass sowohl das Produkt als auch die Technologie bereits zum Zeitpunkt des hochgelaufenen Betriebes der Demonstrationsanlage konkurrenzfähig im Hinblick der Umweltauswirkungen im Vergleich zu hochfesten Stahlprodukten auf der konventionellen Prozessroute sind. Ebenfalls hervorzuheben ist die signifikante Primärrohstoffschonung durch die Herstellroute des HSD®-Stahls. Darüber hinaus wird der Wasserverbrauch mit dem Einsatz des Bandgießverfahrens um mehr als 90 % gegenüber dem Strangguss reduziert.	
Schlagwörter Bandgießen, Endkonturnahes Gießen, hochmanganhaltiger Stahl	
Anzahl der gelieferten Berichte Papierform: 5 Elektronischer Datenträger:	Sonstige Medien: Veröffentlichung im Internet geplant auf der Homepage: www.salzgitter-ag.de

[1] soweit zutreffend bitte einfügen

Kurzfassung / Summary

Einleitung

Ziel des Vorhabens war die weltweit erstmalige Realisierung einer Bandgießanlage für Stahl im Demonstrationsmaßstab. Mit einer Bandgießanlage können Stähle endkonturnah und damit energiesparend hergestellt werden. Zusätzlich wird durch den horizontalen Prozess und die schnelle Erstarrung die Herstellung von HSD®-Stähle möglich, die wiederum neue, innovative Wege im konstruktiven Leichtbau eröffnen. Somit sind Umwelteffekte sowohl bei der Stahlherstellung, also auch bei der Nutzung des erzeugten Stahls durch Reduzierung des Schadstoffausstoßes umsetzbar.

Für die Herstellung von Stahlflachmaterial wird nach dem heutigen Stand der Technik nahezu ausschließlich das Stranggießverfahren eingesetzt. Dabei werden die gegossenen Brammen von größtenteils 250 mm Dicke in der Regel abgekühlt und zum anschließenden Warmwalzen in gasbefeuerten Öfen wiedererwärmt. Durch die diskontinuierliche Fahrweise und die Folge von Kühl- und Heizzyklen ergibt sich ein erhöhter Energieaufwand. Gleichzeitig stößt das Stranggießverfahren für neue Stahlgüten an seine Grenzen, insbesondere im Hinblick auf die prozessierbaren Legierungszusammensetzungen.

Vorhabensumsetzung

Das Verfahren des Bandgießens wurde in diversen Projekten an der TU Clausthal entwickelt und in Kooperation von SMS Siemag und Salzgitter Flachstahl im Demonstrationsmaßstab umgesetzt (Abbildung 1). Durch das Bandgießen wird das Gießen von konventionellen Stählen hocheffektiv und energiesparend, da geringere Dicken gegossen werden und weniger Walzenergie benötigt wird. Im Gegensatz zum konventionellen Strangguss wird das Produkt indirekt mit Wasser gekühlt, weswegen große Kühlwassermengen eingespart werden. Bei der Herstellung von HSD®-Stahl, welche erst durch die schnelle Erstarrung und den horizontalen Anlagenaufbau ermöglicht wird, werden diese Vorteile vereint mit den Vorteilen des Leichtbaustahls in der Anwendungsphase.

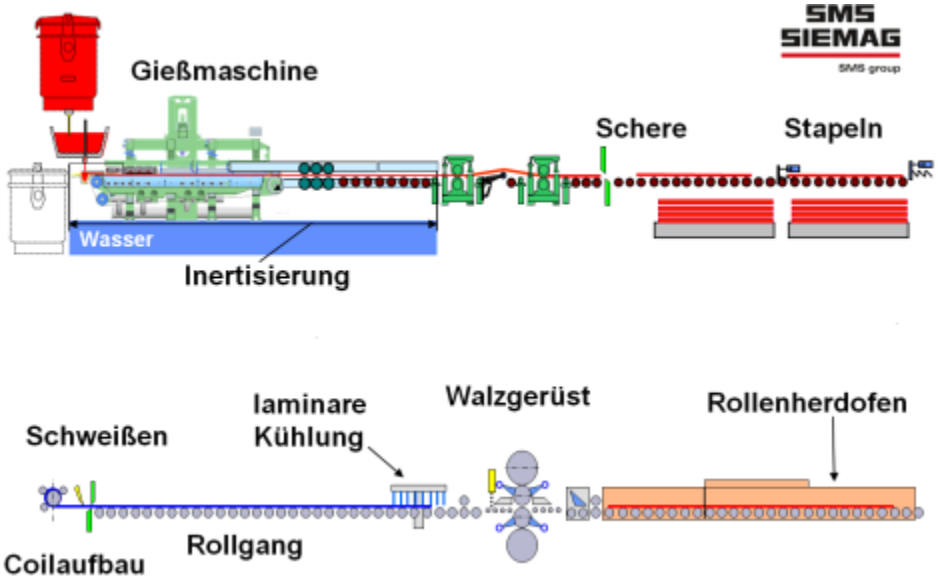

Abbildung 1: Schema der realisierten Anlagen in Peine und Salzgitter

Die Bewertung der Umwelteffekte wurde im Rahmen des begleitenden BMBF-Projektes „Ressouceneffizienz mit dem Bandgießverfahren“ in Kooperation mit dem Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg (IFEU) und der Salzgitter Mannesmann Forschung GmbH durchgeführt.

Ergebnisse

Aus Sicht der Ressourceneffizienz konnte ein signifikantes Potenzial zur weiteren Umweltentlastung durch den HSD®-Stahl identifiziert werden. So bietet die Herstellung des HSD®-Stahls im Vergleich zur Herstellung eines hochfesten Stahls über die konventionelle Prozessroute ein Potential zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen von 2,5 kg CO_{2e} pro kg Kaltband um 40 %. Der kumulierte Primärenergieaufwand bei der konventionellen Herstellung kann von 26,2 MJ pro kg Kaltband um bis zu 20 % reduziert werden. Auf Basis der ökologischen Bewertung des HSD®-Stahl und der hier betrachteten Herstellungsroute lässt sich schlussfolgern, dass sowohl das Produkt als auch die Technologie bereits zum Zeitpunkt des hochgelaufenen Betriebes der Demonstrationsanlage konkurrenzfähig im Hinblick der Umweltauswirkungen im Vergleich zu hochfesten Stahlprodukten auf der konventionellen Prozessroute sind. Ebenfalls hervorzuheben ist die signifikante Primärrohstoffschonung durch die Herstellroute des HSD®-Stahls. Darüber hinaus wird der Wasserverbrauch mit dem Einsatz des Bandgießverfahrens um mehr als 90 % gegenüber dem Strangguss reduziert.

Die Vermarktungsfähigkeit des HSD-Stahls ist abhängig von den erreichbaren Vorteilen des Werkstoffs in der Anwendung. Versuche an Prototypen, beispielsweise an Seitenaufprallträgern von Kraftfahrzeugen haben gezeigt, dass Gewichtseinsparungen von bis zu 25% bei verbesserten Crasheigenschaften erreichbar sind.

Ausblick

Die Investitionskosten für die Demonstrationsanlage betrugen 63 Mio. €. Die Kosten teilen sich ca. hälftig auf die Bandgießanlage in Peine und den Umbau des Walzwerks in Salzgitter auf. Die Trennung der beiden Teilprozesse wirkt sich positiv auf die Entwicklungsgeschwindigkeit aus, da eine Sortierung der für das Walzen geeigneten gegossenen Tafeln ermöglicht wird. Im Falle eines Inline-Prozesses ginge ein Gießabbruch mit einer Walzstörung einher und umgekehrt. Die Trennung der Prozesse bringt jedoch auch Kostennachteile durch Schneiden, Transportieren, Wiedererwärmen und Schweißen mit sich.

Aufgrund der vorteilhaften Eigenschaften des HSD-Stahl ist zu vermuten, dass im Falle der erfolgreichen Produktion des HSD-Stahls ein ca. 1,5 bis 2-facher Preis im Vergleich zum hochfesten Stahl erzielbar sein könnte. Dieser Preis kompensiert den Mehraufwand für die spezielle Anlagenkonstellation der Demonstrationsanlage derzeit noch nicht. Zukünftig sind z.B. Verbesserungen der Ausbringung durch Reduzierung des Anfalls von Prozessschrott zu erarbeiten.

Bei entsprechender Marktentwicklung für hochmanganhaltige Stähle ist der Umbau der Anlage in eine Umgebung die die Realisierung des Inline-Walzens zulässt, vorgesehen bzw. geplant.

Summary

Introduction

The aim of the project was the first construction and build up of an industrial horizontal single belt caster for steels (Belt Casting Technology).

Starting from an existing laboratory facility in Clausthal, which is operated jointly by the Institute of Metallurgy of the Technical University of Clausthal and the Salzgitter Mannesmann Forschung GmbH, a demonstration plant on an industrial scale has been constructed by SMS Siemag AG on the grounds of Peine Träger GmbH a part of Salzgitter AG.

In order to produce advanced materials – like HSD®-Steels – on an industrial scale, an extension of the casting width from 300 mm to 1000 mm was necessary. The product quality is largely determined by the generated casting profile. The molten steel must be distributed, as evenly as possible, across the casting width. For this purpose, the charging system and electromagnetic melt distribution systems are used for example.

Results

At the beginning of the project, no experience was available on the application and function of these components in casting widths > 300 mm. Furthermore, the duration of the casting was also increased from three minutes (laboratory facility in Clausthal) to more than 45 minutes (pilot plant in Peine). A continuous process could be implemented in the future. No experience concerning the durability of the casting-belt, the refractories in the melt distribution system, the measurement technique to be used, the behavior of the belt cooling, and the thermal system stability were available. In addition to the casting of mild steels in the test phase of the plant, HSD®-Steel was also cast.

Since the resource efficiency of the considered process plays a significant role, it was also the objective to assess the eco-balance. The production of HSD steel compared to that of a high-strength steel using the conventional process route has the potential of reducing greenhouse gas emissions from 2.5 kg CO_{2e} per kg cold rolled material by 40%. The primary energy demand for conventional production can be reduced from 26.2 MJ per kg of cold rolled material up to 20%. Based on the ecological assessment of HSD® steel and considering the production route, the product and the technology are already competitive in terms of the environmental impact compared to high-strength steel products produced by the conventional process route.

Outlook

The investment for the demonstration plant amounted to € 63 million. These costs are divided evenly between the strip caster in Peine and the reconstruction of the mill in Salzgitter. The separation of the two processes is beneficial to the speed of the development, because of the possibility to select the casted strips suitable for rolling. The separation brings with it disadvantages through cutting, transporting, reheating and welding.

Due to the advantageous properties of HSD® steel one can assume that in case of a successful production of HSD® steel, a 1.5 to 2 times increase in price compared to that of a high-strength steel could be achieved.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung ... 9
1.1 Ausgangssituation ... 9
2 Vorhabensumsetzung ... 10
2.1 Ziel des Vorhabens ... 10
2.2 Technische Lösung ... 12
2.3 Umsetzung des Vorhabens ... 17
2.3.1 Planungsphase ... 17
2.3.2 Bau der Bandgießanlage und des Steckelwalzwerks (2011-2012) ... 18
2.3.3 Inbetriebnahme der Bandgießanlage und des Steckelwalzwerks ... 22
2.3.4 Bisherige Ergebnisse ... 24
2.4 Behördliche Anforderungen (Genehmigungen) ... 32
2.5 Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten ... 33
2.5.1 Bandgießanlage ... 33
2.5.2 Steckelwalzwerk ... 37
3 Ergebnisse ... 40
3.1 Darstellung der Energieverbräuche ... 40
3.1.1 Bandgießanlage ... 40
3.1.2 Steckelwalzwerk ... 43
3.2 Bewertung der Vorhabensdurchführung ... 45
3.3 Stoff- und Energiebilanz ... 45
3.4 Umweltbilanz, Lebenzyklusbetrachtungen ... 49
3.4.1 Modellierung und betrachtete Szenarien ... 49
3.4.2 Ressourceneffizienzpotenzial des Bandgießverfahrens (BCT®) ... 53
3.4.3 Ergebnisse der HSD®-Szenarien und Referenzfall ... 54
3.4.4 Ökologische Auswirkungen des HSD®-Stahls in der Nutzungsphase ... 56
3.4.5 Schlussfolgerung aus den Lebenszyklusbetrachtungen ... 61
3.5 Wirtschaftlichkeitsanalyse ... 62
3.6 Technischer Vergleich zu konventionellem Verfahren ... 63
4 Empfehlungen ... 63
4.1 Erfahrungen aus der Praxiseinführung ... 63
4.2 Modellcharakter ... 64
5 Literatur ... 65
6 Anhang ... 66

1 Einleitung

Die Salzgitter Flachstahl GmbH ist die größte Stahltochter in der Salzgitter-Gruppe. Fast 4.800 Mitarbeiter erzeugten 2007 etwa 4,6 Millionen Tonnen Rohstahl, davon 3,1 Millionen Tonnen für die Weiterverarbeitung am Standort Salzgitter. Die Salzgitter Flachstahl GmbH betreibt die Bandgießanlage am Standort Peine und bezieht den Rohstahl von dem Stahlwerk der Konzerntochter Peiner Träger GmbH (PTG).

Stahl bietet mit seiner sehr hohen Recyclingquote sowie der im Vergleich zu anderen metallischen Werkstoffen emissionsarmen Herstellung schon jetzt ökologische Vorteile. Aufgrund seiner Rolle als nach wie vor wichtigster Konstruktionswerkstoff unserer Zeit sind durch Optimierung des Herstellungsverfahrens und Einsatz von leistungsfähigen Leichtbaustählen jedoch noch erhebliche Emissionseinsparpotenziale zu realisieren.

1.1 Ausgangssituation

Für die Herstellung von Stahlflachmaterial wird nach dem heutigen Stand der Technik nahezu ausschließlich das Stranggießverfahren eingesetzt. Dabei werden die gegossenen Brammen von größtenteils 250 mm Dicke in der Regel abgekühlt und zum anschließenden Warmwalzen in gasbefeuerten Öfen wiedererwärmt. Durch die diskontinuierliche Fahrweise und die Folge von Kühl- und Heizzyklen ergibt sich ein erhöhter Energieaufwand. Gleichzeitig stößt das Stranggießverfahren für neue Stahlgüten an seine Grenzen, insbesondere im Hinblick auf die prozessierbaren Legierungszusammensetzungen. Beispielsweise ist die Automobilindustrie nur durch immer höherfestere Stähle in der Lage, den Forderungen nach Leichtbau und Crashsicherheit gleichzeitig nachzukommen und verlangt deshalb nach hochmanganhaltigen Al-Si-Stählen (HSD®-Stahl) [1, 2]. Aufgrund der spezifischen Legierungszusammensetzung ist es nur mit massiven Restriktionen für das Legierungskonzept und damit unter Inkaufnahme erheblich schlechterer mechanischer Eigenschaften möglich, diese gleichzeitig höchstfesten und sehr gut umformbaren Stähle mit den vorhandenen konventionellen Gießtechniken großserientechnisch herzustellen [3, 4]. Grundsätzlich kann an konventionellen Stranggießanlagen das Legierungselement Aluminium, das u. a. zur Unterdrückung der verzögerten Rissbildung zwingend notwendig und zur Reduzierung des spezifischen Gewichts dienlich ist, nicht in den notwendigen hohen Gehalten legiert werden. Die vollkommen neue und weltweit einmalige Technologie „Bandgießen“ vergießt Stahl mit einer Dicke von etwa 15 mm auf ein einzelnes horizontal umlaufendes Transportband und walzt den Stahl direkt aus der Gießhitze (Inline-Walzen). Die dadurch realisierbaren Ressourceneinsparungen und damit verbundenen ökonomischen Vorteile des Prozesses werden aufgrund von Risiken, die aus sehr hohen Investitionen, technischer Machbarkeit bei einer kontinuierlich betriebenen Fertigungsanlage und möglicherweise auftretenden Qualitätseinbußen in der Anlaufphase resultieren, bisher nicht verwirklicht. Durch die technologischen Vorteile des Bandgießens bei der Herstellung hochlegierter Stähle könnte allerdings die Etablierung der Technologie für die Stahlherstellung auch im größeren Umfang gelingen.

Bei der Herstellung einer Tonne Stahlband werden für das konventionelle Stranggießen ca. 3.500 MJ Primärenergie benötigt [6].

Eine Weiterentwicklung hinsichtlich Energieeinsparung und Emissionsminderung beim Herstellungsprozess ist die Dünnbrammentechnologie. Hier wird bereits auf eine Abkühlung der Bramme vor dem Walzen weitgehend verzichtet. Dennoch sind große Ofenanlagen erforderlich, um eine genaue Einstellung und Vergleichmäßigung der Temperaturverteilung in der Bramme vor dem Walzen sicherzustellen. Die Dünnbrammentechnologie wurde in den 1980er Jahren industriell eingeführt. Der Reifungsprozess der Technologie, der die Produktion verschiedenster konventioneller Stahlgüten mit dem Verfahren ermöglicht, dauert bis heute an. Durch die Produktion von Stahl mit der Dünnbrammentechnologie kann der Primärenergiebedarf je Tonne Stahl deutlich auf 2.140 MJ [6].

2 Vorhabensumsetzung

2.1 Ziel des Vorhabens

Seit 2004 untersucht die Salzgitter AG intensiv sowohl die Herstellung als auch die Verarbeitung der hochmanganhaltigen HSD®-Stähle. In den vergangenen Jahren wurde eine Laboranlage in Clausthal im Rahmen des BMBF-Projektes „Energieeinsparung, CO_2-Emissionsvermeidung und Ressourcenschonung bei der Herstellung und Anwendung von (hochfesten und duktilen) HSD®-Stählen“ schrittweise zur Herstellung der HSD®-Stähle weiterentwickelt. Verschiedene Legierungskonzepte von HSD®-Stählen (z.B. 15%Mn 0,7%C 2,5%Si 2,5%Al) wurden intensiv im Hinblick auf Herstell- und Verarbeitbarkeit untersucht, mit dem Ergebnis, dass je nach thermomechanischer Behandlung nach dem Gießen eine ganze Bandbreite von Festigkeits- und Dehnungseigenschaften eingestellt werden kann. Diese Eigenschaften liegen dabei weit über den bisher üblichen von Stählen. Insbesondere die Kombination aus Festigkeit und Umformbarkeit stellt einen Quantensprung in der Stahlbranche dar. Somit lassen sich weitaus komplexere Bauteile in höchstfester Ausführung aus Stahl herstellen als bisher, was neue Perspektiven sowohl im Leichtbau als auch in der Crashsicherheit eröffnet.

Zur Herstellung der HSD®-Stähle ist – wie in Kapitel 2.2 beschrieben – eine Bandgießanlage erforderlich. Diese Anlage wird weltweit die erste Bandgießanlage im Demonstrationsmaßstab sein. Ergebnisse und Erfahrungen, die die Salzgitter AG und SMS Siemag AG gemeinsam an der Laboranlage gesammelt haben, führen zum nächsten Skalierungsschritt, der dennoch mit erheblichen technischen Risiken verbunden ist. Sollte diese Anlage erfolgreich produzieren, kann ein deutlicher Know-How-Vorsprung im Anlagenbau und der Stahlherstellung für Deutschland erlangt werden.

Ziel des Vorhabens ist die weltweit erstmalige Realisierung einer Bandgießanlage für Stahl im Demonstrationsmaßstab. Mit einer Bandgießanlage lassen sich HSD®-Stähle herstellen, die wiederum neue, innovative Wege im konstruktiven Leichtbau eröffnen.

Die durch das Bandgießen realisierbaren Ressourceneinsparungen [6] und damit verbundenen ökonomischen Vorteile des Prozesses schlagen sich bei den Ökobilanzen

(LCA = Life Cycle Assessment) der zukünftigen, mit der geplanten Anlage hergestellten Produkte positiv nieder. Das LCA ist dabei die systematische Analyse der Umweltwirkungen von Produkten während des gesamten Lebensweges.

Die Analyse und Bewertung der Umwelt- und Ressourceneffizienz setzt an den Lebenswegabschnitten der Produktion und der Anwendung von HSD®-Stählen mit dem Bandgießverfahren an.

Dabei sind die rein auf die Herstellungsprozesse bezogenen Systemgrenzen (gate-to-gate), die auf die Prozesskette bezogenen Grenzen (cradle-to-gate) sowie die vollständige Umweltbetrachtung (cradle-to-grave) zu unterscheiden (Abbildung 2).

Die Primärenergieaufwendungen beim Bandgießen sollen mit 824 MJ je Tonne hergestellten Stahls nur ca. ein Viertel der Energieaufwendungen für die Produktion mit dem konventionellen Stranggießverfahren betragen [6]. Ein weiterer wesentlicher Vorteil des Bandgießverfahrens ergibt sich aus dem Kühlprinzip. Das Gießband wird von der Unterseite mit Wasser gekühlt, wobei sich das Wasser dabei in einem geschlossenen Kreislauf befindet. Im Vergleich zu den beiden Stranggießverfahren kommt das Wasser dabei nicht in direkten Kontakt zu dem zu kühlenden Vorband. Das Kühlwasser wird somit nicht mit Zunder verunreinigt und kann nach dem Wärmetauschprozess wieder zur Kühlung verwendet werden. Beim Stranggießverfahren hingegen verdampft ein großer Teil des verwendeten Kühlwassers, wobei der andere Teil aufwendig aufbereitet werden muss.

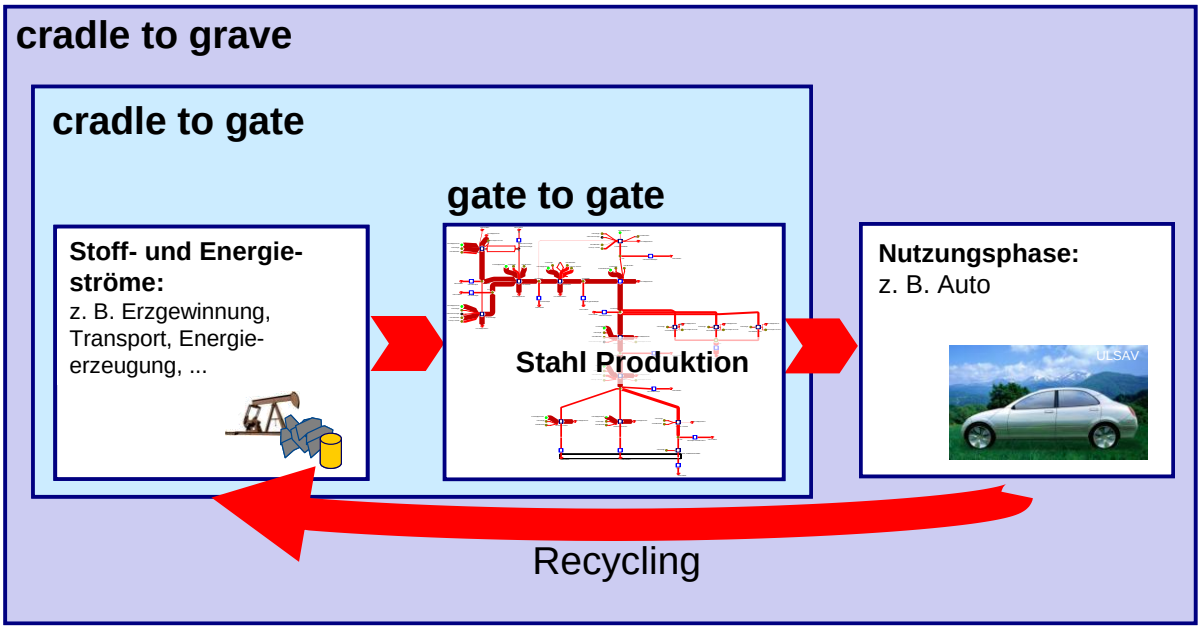

Abbildung 2: Umweltbetrachtung bei unterschiedlichen Systemgrenzen

2.2 Technische Lösung

Die Bandgießanlage besteht aus einem umlaufenden Transportband, welches von der Unterseite intensiv mit Wasser gekühlt wird. Zusammen mit der mitlaufenden Seitenbegrenzung wird daraus die „Kokille“ gebildet. Durch ein Unterdrucksystem und die Anordnung der Stützrollen unter dem Gießband wird die Ebenheit des Systems sichergestellt (Abbildung 3).

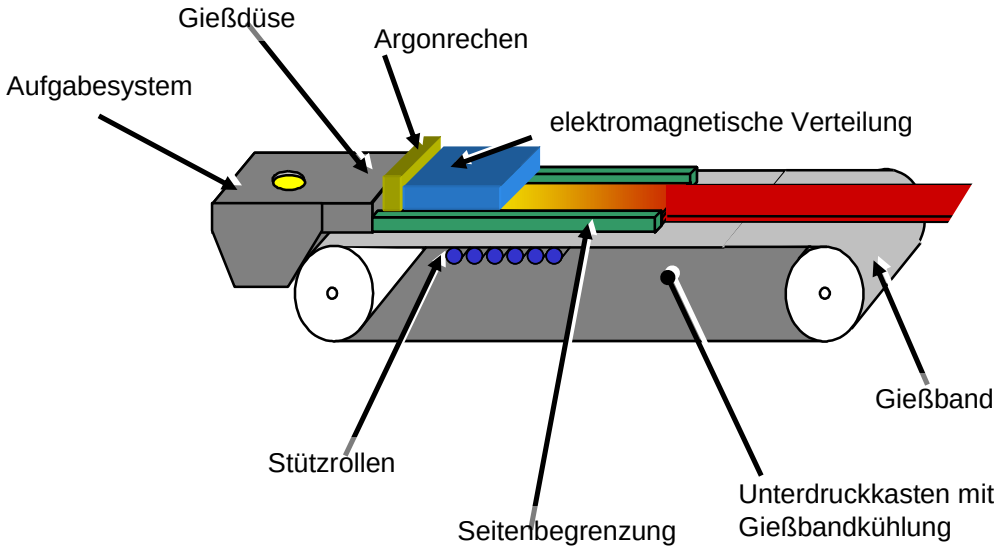

Abbildung 3: Schema einer Bandgießanlage mit wesentlichen Komponenten

Der Zufluss in das Schmelzenaufgabesystem erfolgt aus der Verteilerrinne gesteuert durch die Stopfenposition. Durch einen Siphon und ein Wehr wird die Schmelze beruhigt und das Strömungsgeschwindigkeitsprofil vergleichmäßigt. Konstruktionsbedingt muss das Aufgabesystem zwischen die Seitenbegrenzungen des Gießbandes passen, d.h. die Auslassöffnung des Casters ist schmaler als die Gießbreite. Hilfssysteme wie Argonrechen, elektromagnetische Quer- und Längsrührer verbessern die Produktqualität im Hinblick auf Geometrie und Oberflächenausbildung insbesondere an der frei erstarrenden Oberseite entscheidend.

Der komplette Prozessweg während des Gießens aus der Pfanne bis zum erstarrten Band muss aufgrund der hohen Aluminiumgehalte unter Schutzgasatmosphäre stehen. Bis zur beginnenden Erstarrung ist eine Argon (Ar)-Atmosphäre notwendig.

Idealerweise wird hinter der Bandgießanlage das Produkt inline gewalzt, um energieaufwändiges Wiedererwärmen zu vermeiden und die Prozesskette kurz zu halten. Aufgrund der dafür notwendigen hohen Investitionen für eine Inline-Walzeinrichtung soll im Demonstrationsmaßstab zunächst darauf verzichtet werden.

Das Layout der geplanten Bandgießanlage für den Standort Peine zeigt Abbildung 4. Bei der Demonstrationsanlage wird zunächst der Stahl im Einzelguss aus der im Kran hängenden Pfanne gegossen. Über einen Verteiler wird unter Schutzgasatmosphäre der flüssige Stahl in das Aufgabesystem geleitet, welches den Stahl auf das umlaufende Gießband aufbringt. Durch die Intensivkühlzone mit einer Länge von 11 m sind legierungsabhängige

Gießgeschwindigkeiten von bis zu 30 m/min zu erzielen. Der erstarrte Stahl verlässt das Gießband über ein Multirollenglättsystem und eine Ausgleichsstrecke, in der sich die Temperaturverteilung im Produkt vergleichmäßigt. Die anschließende Kombination aus Treiber, Looper und Treiber spannt den erstarrten Strang mechanisch ein, um eventuell auftretende Rückwirkungen der Schere auf den erstarrenden Strang zu vermeiden. Hinter der Schere werden die Vorbandtafeln quer verschoben und gestapelt, um mit einem Eisenbahnwagon nach Salzgitter zum Warmwalzen transportiert zu werden.

Die bei dieser Demonstrationsanlage nicht realisierte Nutzung des Inline-Walzens ist auf die um ein Vielfaches höhere Investition zurückzuführen. Sollte die Demonstrationsanlage in der vorgestellten Konfiguration den Nachweis erbringen, dass das Upscaling in Gießbreite und Gießdauer realisiert werden kann, wird in einer weiteren Ausbaustufe das Inline-Walzen umgesetzt, um das volle Ressourcen-Einsparpotenzial zu nutzen.

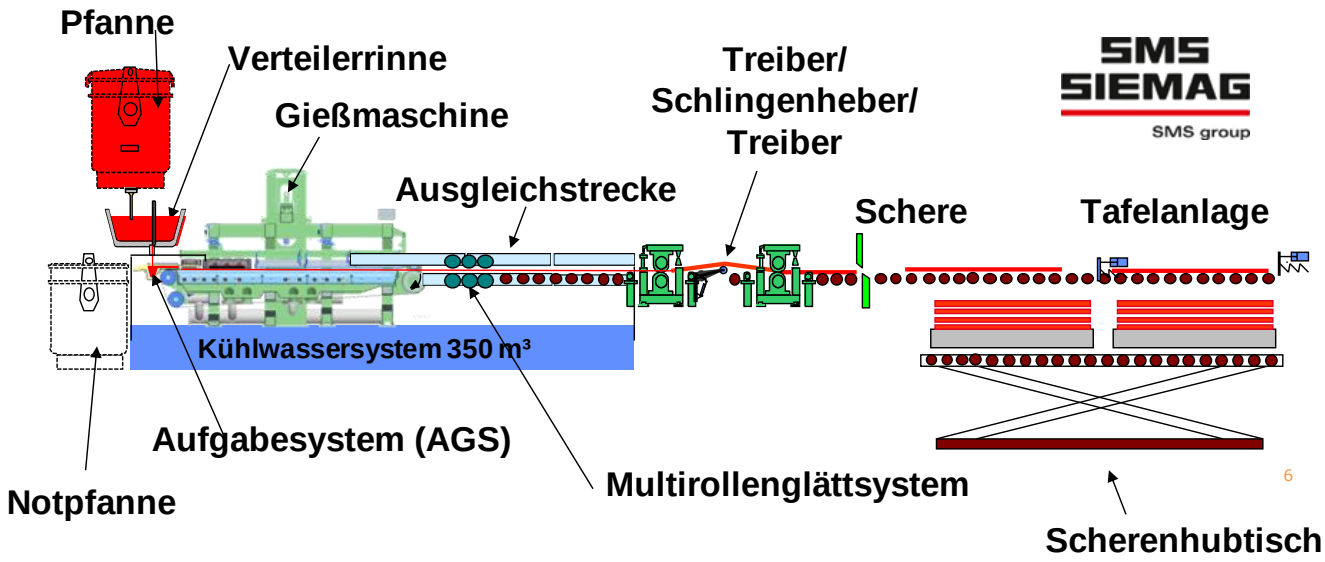

Abbildung 4: Layout der Bandgießanlage am Standort Peine

Abbildung 5 zeigt die Gießmaschine für die Bandgießanlage in Peine im Schnitt. Anhand der Details ist zu erkennen, dass die wesentlichen Komponenten in ihrer Ausführung an die Laboranlage in Clausthal angelehnt sind (siehe hierzu [5]). Insbesondere die Ausführung der mitlaufenden Seitenbegrenzung, des Argonrechens und der elektromagnetischen Schmelzenverteilsysteme sind analog zur Laboranlage aufgebaut. Wesentliche Fragestellungen hinsichtlich des Upscalings ergeben sich aus

- der Gießbandbreite
  (gleichmäßige Schmelzenverteilung, Bandstabilität, Gießprofil, etc.),
- der Gießbandlänge
  (Abkühlgeschwindigkeit, Gießbandvorspannung, etc.) und
- der Gießbandwechselmöglichkeit.

Die Gießbandbreite wurde zunächst um den Faktor 3 gegenüber der Laboranlage vergrößert. Die Länge der Intensivkühlzone wurde um den Faktor 4 verlängert, die Gießgeschwindigkeit lässt sich somit auf eine produktionsrelevante Leistung von bis zu 200t/h (107t/h für HSD®-Stahl) steigern (Vergleich: Brammenstrangguss ca. 130 t/(h $m_{Gießbreite}$). Da in den Laborversuchen mit Gießzeiten von ca. 4 Minuten keine genaue Kenntnis über die Langzeithaltbarkeit des Gießbandes getroffen werden konnte, wurde ein einfacherer Gießbandwechsel ermöglicht. Dieses wurde konstruktiv über die an der Gießmaschine vorgesehene Hubvorrichtung erreicht. Durch Betätigung der Hubvorrichtung werden alle oberhalb des Gießbandes installierten Aggregate zeitgleich angehoben. Mit einer entsprechenden Montagevorrichtung ist es anschließend möglich, einen Gießbandwechsel innerhalb kürzester Zeit (zurzeit ca. 2 h) vorzunehmen.

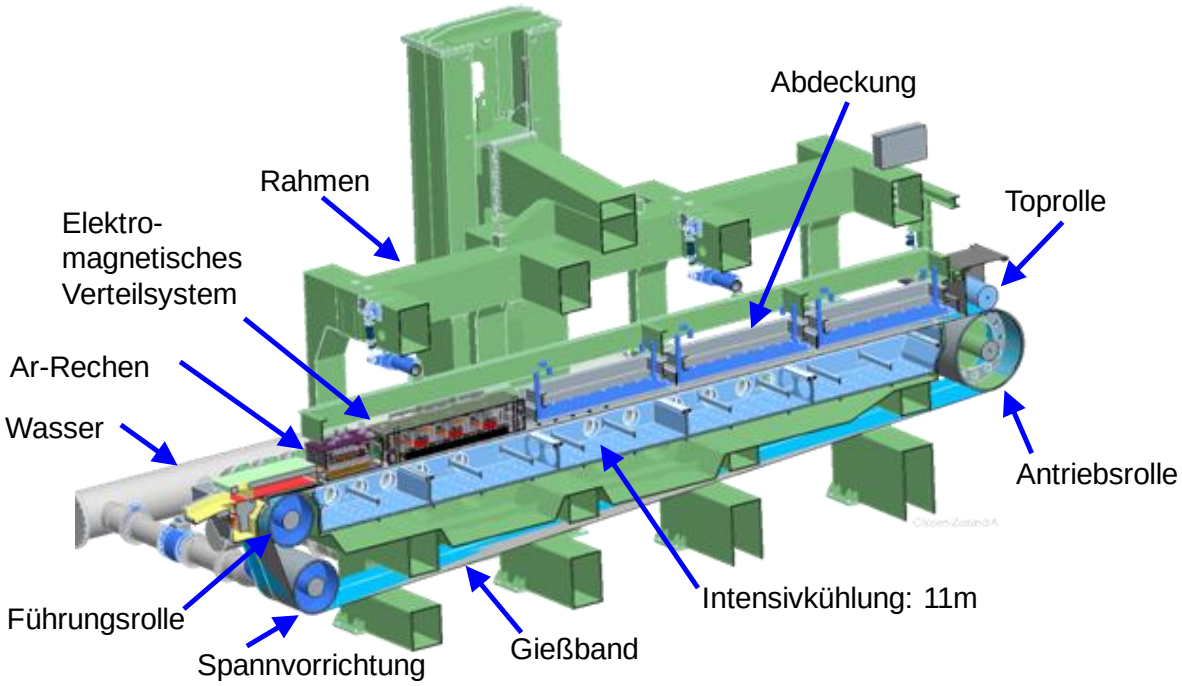

Abbildung 5: Bandgießanlage im Schnitt

Unterhalb der Gießmaschine ist im Fundament der Vorratsbehälter für ca. 350m³ Kühlwasser untergebracht. Im Gegensatz zu konventionellen Gießanlagen befindet sich das Wasser in einem geschlossenen Kreislauf und kommt nicht in direkten Kontakt mit dem Produkt. Hieraus resultiert neben dem Qualitätsvorteil am Produkt (keine Korrosion) der Vorteil, dass nur minimale Mengen an Brauchwasser verdampfen und somit nachgeführt werden müssen. Außerdem entfällt die Reinigung des Kühlwassers.

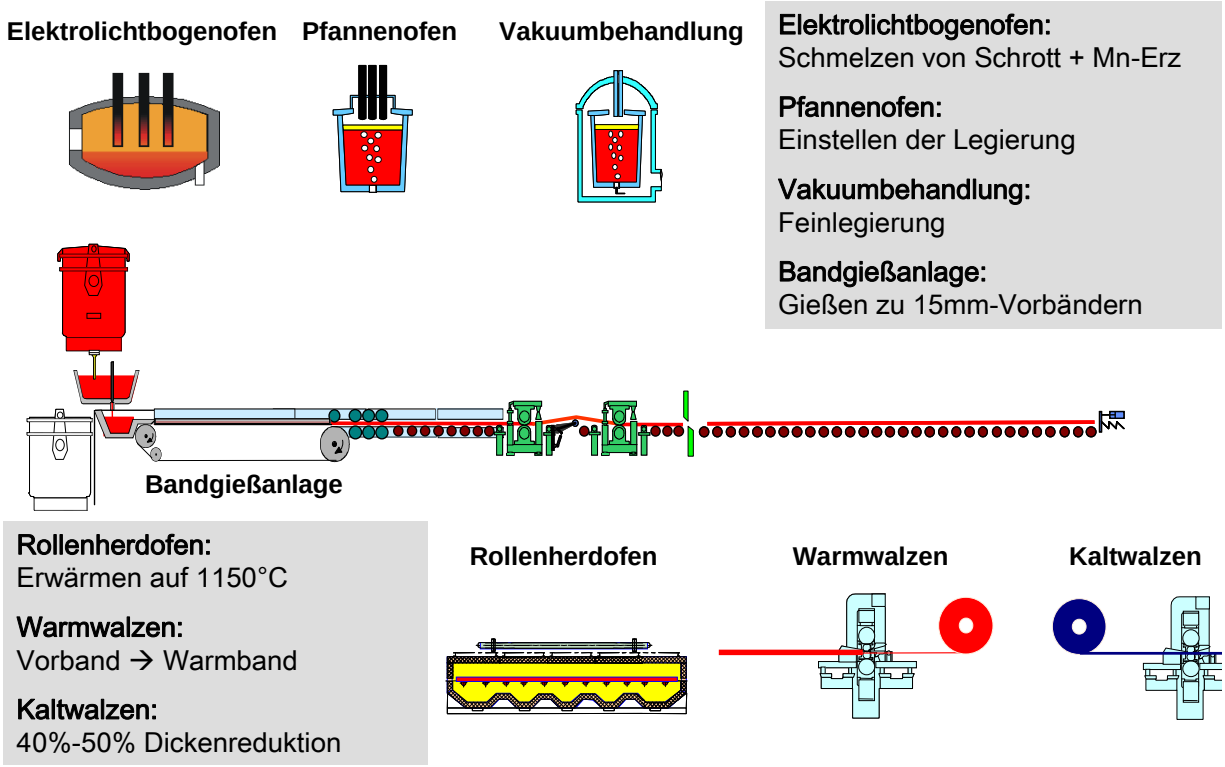

Abbildung 6: Zukünftige Prozessroute HSD®-Stahl

In Abbildung 6 ist die Einbindung der Bandgießanlage in die gesamte Prozesskette dargestellt. Der Bandgießanlage vorgelagert befindet sich das Stahlwerk. Mittels Elektrolichtbogenofen ist zunächst der Rohstahl herzustellen. Dieser wird größtenteils durch den Einsatz von Schrott gewonnen. Um die hochmanganhaltigen Stähle ressourceneffizient erzeugen zu können, ist es vorteilhaft, hohe Mangangehalte bereits im Elektrolichtbogenofen einzubringen. Abbildung 7 zeigt schematisch, dass in einem Gleichstromofen eine Restschmelze verbleibt, um die Bodenelektroden zu schützen. Bei der Erzeugung von hochmanganhaltigen Stählen würde diese Restschmelze die jeweils folgende Schmelze mit Mangan kontaminieren. Zusätzlich stellt das Mangan und die Schlacke ein für die Elektroden und die Ausmauerung aggressives Medium dar, welches zusätzlich Verschleiß verursacht.

In einem Wechselstromofen (AC) wie dem EAF 2 in Peine sind keine Bodenelektroden erforderlich, weswegen der Ofen restentleert und die feuerfeste Ausmauerung angepasst werden kann. Zur Einbringung hoher Mangangehalte ist demnach ein Wechselstromofen vorteilhaft, wie er im Rahmen der Stahlwerkserweiterung in Peine (PTG 2010) gebaut wurde.

Die weitere Behandlung des Stahls findet zunächst im Pfannenofen statt. Die Behandlungszeiten zum Einbringen der Aluminiumgehalte und zur Einstellung des Mangangehaltes werden über die für konventionelle Stähle üblichen Zeiten hinausgehen. Die spätere Legierungsfeineinstellung kann im Vakuumofen stattfinden, um geringe Stickstoff- und Wasserstoffgehalte zu gewährleisten.

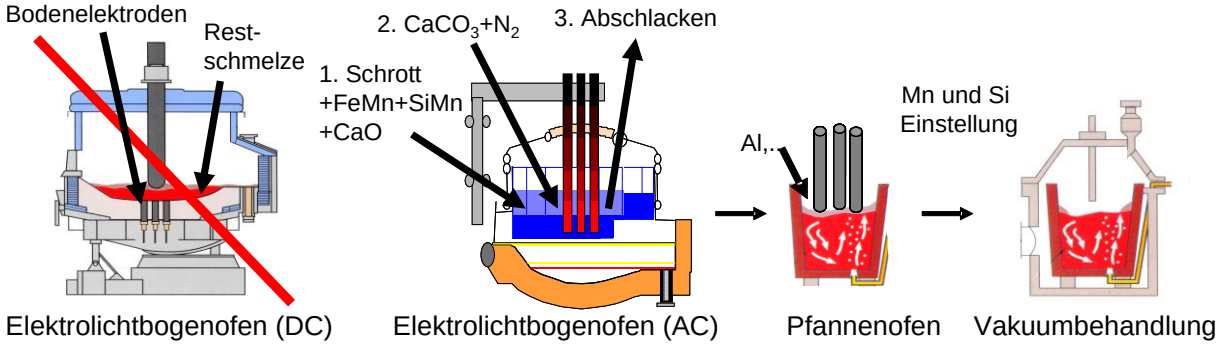

Abbildung 7: Prozesskette im Stahlwerk

Nachdem der Stahl mit Hilfe der Bandgießanlage zu Vorbändern in 15 mm Dicke und 1000 mm Breite vergossen wurde, werden diese nach Salzgitter zum Warmwalzen transportiert. In Salzgitter wurde ein vorhandenes Walzgerüst erweitert und modifiziert, um den Warmwalzprozess für HSD®-Stähle zu ermöglichen.

Abbildung 8 zeigt das Layout des realisierten Walzwerks. Die Vorbänder werden im Rollenherdofen zunächst auf die benötigte Walztemperatur erwärmt. Das Walzen findet reversierend, d.h. durch mehrmaliges Vor- und Zurückwalzen im selben Gerüst statt (Steckelprozess). Aktuellen Berechnungen zufolge werden fünf Walzstiche benötigt, um die notwendigen Blechdicken von 2-3 mm zu erreichen. Zwischen den Stichen ist eine Abkühlung des Produktes unterhalb der minimalen Walztemperatur von ca. 900°C zu erwarten. Ein Wiedererwärmen kann gegebenenfalls im Rollenherdofen erfolgen. Nach dem letzten Stich, bei erreichter Endwalzdicke und einer Bandlänge von ca. 55 m, wird eine Kühlstrecke mit laminarer Bandkühlung durchlaufen, die eine Schnellabkühlung auf unter 450°C ermöglicht. Auch auf diesem Gebiet wird im Rahmen des Vorhabens Neuland betreten, da reversierendes Walzen mit der Möglichkeit zum Zurückfahren in den Ofen sonst nur bei Grobblechen bekannt ist. Die Temperaturführung im Zusammenhang mit der Gefügeentwicklung ist hierbei entscheidend.

Nach der Abkühlung wird eine Schweißanlage durchfahren, um ein Band aus mehreren hintereinander gewalzten Tafeln zu erzeugen und diese dann konventionellen Prozessen zuführen zu können. Eine Bandlänge von mindestens 140 m ist erforderlich, damit die nachgelagerten Prozessschritte (Beizen, Kaltwalzen, Glühen, Oberflächenveredelung) auf konventionellem Wege beschritten werden können.

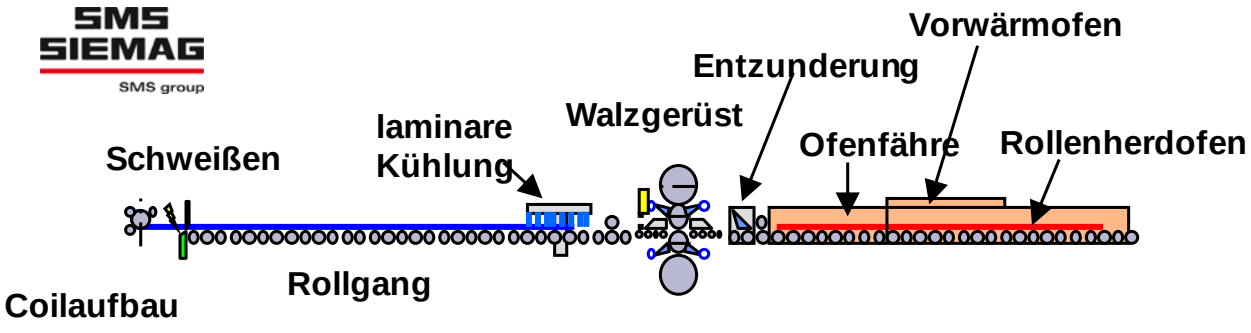

Abbildung 8: Layout des Steckelwalzwerks

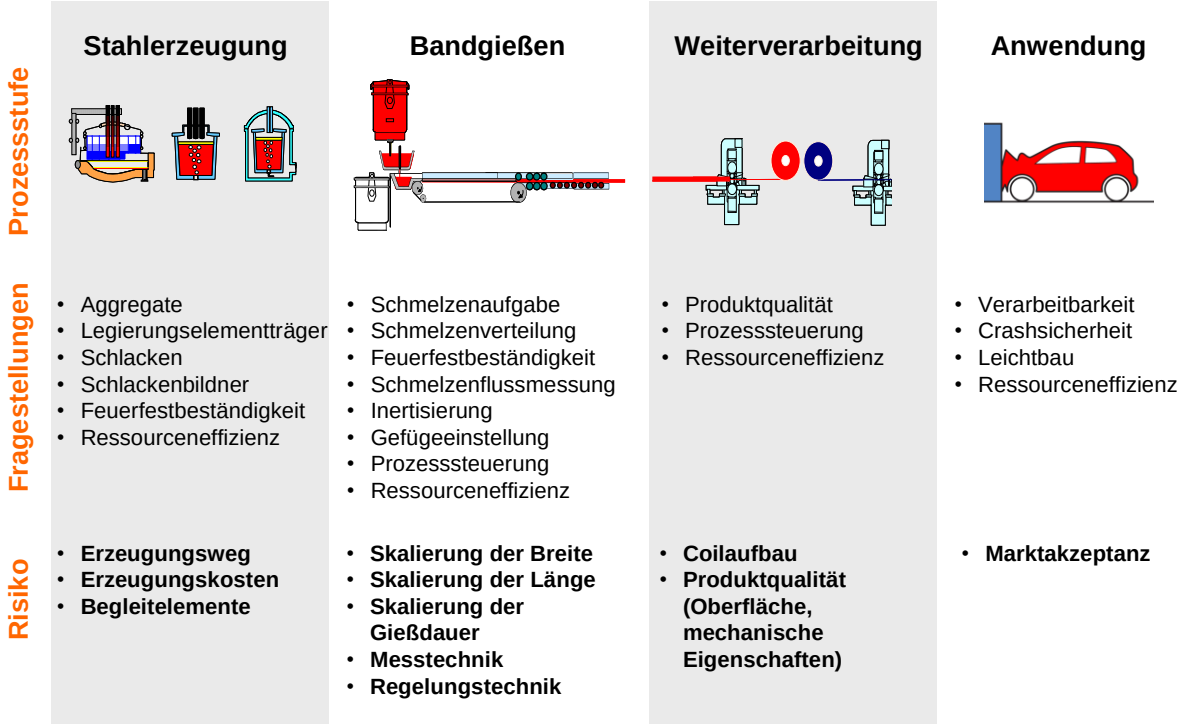

Abbildung 9: Darstellung der Prozessstufen mit zugehörigen Fragestellungen und Projektrisiken

Da im Rahmen dieses Vorhabens neue Wege in den Bereichen Produkt (HSD®-Stahl), Prozess (Bandgießen) und Markt (HSD®-Stahl) beschritten wurden, liegen besondere Projektrisiken vor. Abbildung 9 zeigt den Zusammenhang zwischen den Prozessschritten, den resultierenden Fragestellungen und den zugehörigen Risiken.

2.3 Umsetzung des Vorhabens

2.3.1 Planungsphase

Die Zustimmung des Vorstandes zu dem Projekt erfolgte am 18.08.2009 vorbehaltlich der Unterstützung durch die Förderung durch das BMU. Nachdem im April 2010 die EU-Kommission dieser Förderung zustimmte, konnten die konkreten Planungen für das Projekt erfolgen. Durch die Vorgängerprojekte, die durch das BMBF und RFCS gefördert worden waren, konnte auf das Know-How von SMS-Siemag und der TU-Clausthal zurück gegriffen werden. Insbesondere die Nutzung der Erkenntnisse der gemeinsam betriebenen Laboranlage stand im Vordergrund. In vielen gemeinsamen Diskussionen wurden zunächst die Anforderungen an eine Demonstrationsanlage im Industriemaßstab festgelegt. Die Hauptanforderungen, die auch in entsprechenden Lastenheften festgehalten wurden, sind für die Bandgießanlage:

- Gießbreite 1025 mm, erweiterbar auf 1640 mm
- Abgießen von einzelnen Pfannen aus dem Kran
- Jahresleistung Ausbringung Gussprodukt max. ca. 35.000 t (bei Betrieb in 3 Schichten)
- Aufgrund des Demonstrationscharakters kann von den sonst üblichen Hütten-standards aus Kostengründen abgewichen werden. (dies betrifft z.B. Reserveplätze

in Schaltschränken, Zugänglichkeit für Wartung und Instandsetzung, Anlagenverfügbarkeit, Klimatisierung, Redundanzen, etc.)
- Zur Erfassung und Beurteilung der Prozessdaten sollen alle relevanten Messeinrichtungen zur Verfügung stehen.
- Soweit an der Laboranlage in Clausthal funktionierende Baugruppen existieren, sollen die Konstruktionen für die größere Gießbreite adaptiert werden.

Die Hauptanforderungen für das Steckelwalzwerk sind:

- Wiederverwendung möglichst vieler Komponenten aus einem vormaligen Magnesium- Walzwerk
- Jahresleistung Ausbringung Warmband max. ca. 25.000 t (bei Betrieb in 5 Schichten)
- Aufgrund des Demonstrationscharakters kann von den sonst üblichen Hütten-standards aus Kostengründen abgewichen werden. (dies betrifft z.B. Reserveplätze in Schaltschränken, Zugänglichkeit für Wartung und Instandsetzung, Anlagenverfügbarkeit, Klimatisierung, Redundanzen, etc.)
- Erzeugung von Coils, die in den Folgebetrieben oder bei Kunden wieder eingesetzt werden können.
- Abgleich der Fertigungstakte für die Teilprozesse „Wiedererwärmen“, „Walzen“ und „Coilaufbau“, um einen kontinuierlichen Prozess zu gewährleisten.

Prozessübergreifend:

- Aufbau einer logistischen und datentechnischen Durchgängigkeit von Schmelzebestellung bei der Peiner Träger GmbH bis zur Übernahme des Coils in eine Beizlinie.
- Aufbau einer Schrottlogistik
- Gründung eines neuen Betriebsbereichs innerhalb der Salzgitter Flachstahl GmbH

2.3.2 Bau der Bandgießanlage und des Steckelwalzwerks (2011-2012)

Die Projektierungsarbeiten und die Bauarbeiten verliefen an beiden Standorten ohne nennenswerte zeitliche Verzögerungen. Die folgenden Fotos zeigen einige Meilensteine während der Bauphase.

Abbildung 10 und Abbildung 11: Ehemalige Mischerhalle am Stahlwerk Peine nach Fertigstellung der Fundamente der Bandgießanlage sowie der Schalthäuser und des Leitstandes.

Im November 2011 wurden die Fundamente vermessen und das Baufeld pünktlich an den Anlagenbauer SMS-Siemag übergeben. Die Montage des Stahlbaus wurde begonnen. Teilweise erfolgte bereits die Anlieferung von Maschinenkomponenten.

Abbildung 12: Blick auf die montierte Ausgleichsstrecke

Im März 2012 wurden bereits die Nebenaggregate der Bandgießanlage montiert. Das Kernstück, die Gießmaschine, fehlt im Vordergrund der Abbildung 12 noch. Diese befand sich zum damaligen Zeitpunkt noch in der Werkstattmontage in Hilchenbach bei SMS Siemag.

Abbildung 13: Übersicht über die Bandgießanlage nach abgeschlossener Montage des Kernstücks, der Bandgießmaschine

Zur Erstellung des Steckelwalzwerks in Salzgitter wurde ein bestehendes Walzgerüst umgebaut. Insbesondere um das Walzgerüst herum wurde eine Vielzahl von Anpassungsarbeiten vorgenommen, um die notwendige Wasserwirtschaft zur Entzunderung, Walzenkühlung und laminarer Bandkühlung zu installieren.

Abbildung 14: Blick in die Walzwerkshalle Z1 in Salzgitter während der Fundamentarbeiten.

Das Foto zeigt den Aushub im Gerüst-Einlaufbereich. Bestehende Ständerfundamente wurden wie im Auslaufbereich aufgeschnitten.

Abbildung 15: Blick in die Walzwerkshalle Z1; im Vordergrund entsteht die Ofenanlage (April 2012)

Abbildung 16: Übersicht über das montierte Steckelwalzwerk im September 2012

2.3.3 Inbetriebnahme der Bandgießanlage und des Steckelwalzwerks (ab Dezember 2012)

Abbildung 17: Bandgießanlage am Standort Peine während der Kaltinbetriebnahme (Foto: SMS Siemag)

Abbildung 18: Bandgießanlage während des ersten Gießversuchs am 19.12.12

Bevor die Anlage mit flüssigem Stahl in Betrieb genommen wurde, wurde die Funktion der einzelnen Kühlwasserdüsen unter dem Transportband überprüft. In Anlehnung an Test aus Clausthal wurden dafür Plexiglasplatten an Stelle des Transportbandes in der Anlage montiert. Auf diese Weise werden die durch die Anordnung der Spritzdüsen entstehenden Kühlmuster sichtbar. Als Ergebnis dieses Tests wurde festgestellt, dass die Anordnung der Düsen ein gleichmäßiges Kühlmuster ergibt, die Kühlwassermenge jedoch insbesondere im mittleren Bereich der Kühlzone 1 nicht ausreichend schnell abläuft. Zunächst stand die Schaumbildung des Kühlwassers in Verdacht, das Abfließverhalten negativ zu beeinträchtigen, die Situation konnte jedoch durch eine Kombination unterschiedlicher anderer Maßnahmen, wie die Schaffung zusätzlicher Ablaufbohrungen, deutlich verbessert werden.

Seit Ende 2012 erfolgte die Warminbetriebnahme der Bandgießanlage und des Steckelwalzwerkes. Zur Warminbetriebnahme der Bandgießanlage wurden zunächst konventionelle Stähle aus dem laufenden Produktionsprogramm der Peiner Träger GmbH eingesetzt, bis die volle Funktionalität der Bandgießanlage gewährleistet war. Nach Inbetriebnahme der Hauptkomponenten wurde mit der Herstellung und dem Vergießen von hochmanganhalten Stählen begonnen. 18 Monate nach dem ersten Guss wird mit ca. jedem zweiten Guss ein hochmanganhaltiger Stahl verarbeitet.

Insbesondere nach größeren Reparaturen oder Anlagenänderungen wird die Anlage weiterhin mit Baustahl getestet, bevor hochmanganhaltiger Stahl gegossen wird.

2.3.4 Bisherige Ergebnisse

Bandgießen

Der beschriebene Bandgießprozess konnte in Kooperation mit dem Anlagenbauer SMS Siemag erfolgreich im industriellen Pilotmaßstab mit 1000 mm Produktbreite dargestellt werden. Bis zum 30. Juni 2014 ließen sich 62 Gießversuche realisieren, wobei der Ablauf, die Qualität und die abgegossene Stahlmenge zunehmend verbessert wurden. Tabelle 1 zeigt die Versuchstermine und die abgegossenen Mengen.

Die Bezeichnungen der Schmelzen sind stahlwerksinterne Gütenschlüssel und bedeuten:

- BTxx / BQxx: Baustahl aus dem laufenden Betreib der Peiner Träger GmbH,
- HS01: hochmanganhaltiger Stahl mit reduzierten Al und Si –Gehalten im Vergleich zum geplanten HSD-Stahl,
- HS03: HSD-Stahl mit 15%Mn, 0,7%C, 2,5% Al und 2,5% Si,

zeigt die Hochlaufkurve der ersten Betriebsmonate. Die ersten Heißversuche zielten noch nicht auf den Abguss einer vollen Pfanne ab. Die Versuchsziele lagen zunächst darin, eine steigende Anzahl von Transportbandumdrehungen zu gießen, um die Standfestigkeit und die Sicherheit der Anlage zu überprüfen.

Tabelle 1: Versuchstermine der Bandgießanlage

Nummer	Datum	Güte	abgenommene Stahlmenge ex BCT [t]	Produktlänge [m]	Produktgewicht [t]	Kopf- und Fußschrott [t]
1	19.12.2012	BT32	11,0	1,0	0,1	0,00
2	15.01.2013	BT40	15,0	22,7	1,5	0,50
3	23.01.2013	BT32	0,0	0,0	0,0	0,00
4	29.01.2013	BT32	15,0	12,7	1,0	1,00
5	13.02.2013	BT32	15,0	76,0	2,0	3,00
6	21.02.2013	BT32	24,0	94,0	7,5	1,50
7	27.02.2013	BT32	26,0	194,0	19,0	1,00
8	07.03.2013	BT32	35,0	169,0	16,5	1,50
9	19.04.2013	BT40	28,0	112,0	10,0	1,00
10	30.04.2013	BT32	33,0	155,0	16,0	1,00
11	22.05.2013	BT40	30,4	194,4	21,1	1,00
12	28.05.2013	BT32	39,0	201,5	23,1	1,30
13	04.06.2013	BT32	2,0	0,0	0,0	0,00
14	06.06.2013	BT40	26,0	91,3	9,3	1,20
15	12.06.2013	BT32	22,5	63,7	3,0	3,70
16	19.06.2013	BT32	23,0	65,1	4,0	2,50
17	26.06.2013	BT32	30,0	195,8	23,6	0,62
18	02.07.2013	BT40	50,4	368,9	43,7	0,81
19	08.08.2013	BT40	67,3	467,9	53,6	1,28
20	15.08.2013	BT32	66,8	478,6	52,0	1,00
21	20.08.2013	BT32	59,7	349,0	41,5	1,60
22	23.08.2013	BT32	64,0	401,4	48,0	1,50
23	29.08.2013	BQ32	38,8	196,8	21,9	1,08
24	03.09.2013	BQ32	50,0	378,0	43,4	0,71
25	11.09.2013	BQ32	67,3	421,4	48,3	1,42
26	17.09.2013	BQ32	66,9	517,5	59,8	1,10
27	25.09.2013	BQ32	17,0	9,5	0,0	1,00
28	01.10.2013	BT40	23,0	45,8	5,9	0,54
29	09.10.2013	BT40	69,6	527,0	62,5	1,08
30	17.10.2013	BQ32	55,2	339,9	38,0	1,65
31	24.10.2013	HS01	39,4	217,5	22,3	1,65
32	31.10.2013	BQ32	68,2	545	61,1	1,07
33	06.11.2013	HS01	46	237,5	29,3	1,74
34	12.11.2013	BQ32	66,9	537,4	60,1	0,85
35	21.11.2013	HS01	18,2	0	0,0	0,00
36	26.11.2013	BT32	38,3	246,6	22,2	1,59
37	12.12.2013	BQ32	17,2	0	0,0	0,00
38	18.12.2013	BQ32	72,7	537,7	60,3	1,00
39	08.01.2014	BT34	69,9	460,8	56,3	0,50
40	15.01.2014	HS01	66,4	520,9	59,1	1,26
41	24.01.2014	BT34	70,2	533,3	62,7	1,62
42	11.02.2014	HS01	52,4	339,9	35,5	1,91
43	13.02.2014	BT34	22	55,7	5,7	1,40
44	20.02.2014	HS03	70,3	561	63,5	0,93
45	25.02.2014	BT34	68,4	482,8	61,5	0,69
46	28.02.2014	HS01	19,3	56,5	3,2	1,41
47	05.03.2014	BT34	46,1	268,9	30,1	1,00
48	11.03.2014	BT34	62,1	453,6	55,5	0,72
49	14.03.2014	BT34	68,3	509,9	61,5	0,90
50	19.03.2014	BT34	69,4	543,6	62,9	0,58
51	27.03.2014	HS03	71,4	562,4	64,7	0,87
52	16.04.2014	BT34	67	515,5	60,2	0,76
53	24.04.2014	HS03	18,9	36,5	1,0	2,78
54	06.05.2014	BT34	70,8	529,5	63,5	1,42
55	09.05.2014	BT34	67,9	498,2	61,3	0,72
56	14.05.2014	HS03	68,6	512,2	61,8	0,94
57	20.05.2014	HS01	71,4	519,2	64,8	0,68
58	03.06.2014	BT34	68,3	515,8	61,6	0,82
59	06.06.2014	HS03	58,5	481,3	51,1	1,47
60	17.06.2014	HS03	84,2	655,7	77,1	1,18
61	20.06.2014	HS03	79,6	631,4	72,3	1,50
62	25.06.2014	HS03	59,5	363,2	43,1	1,15

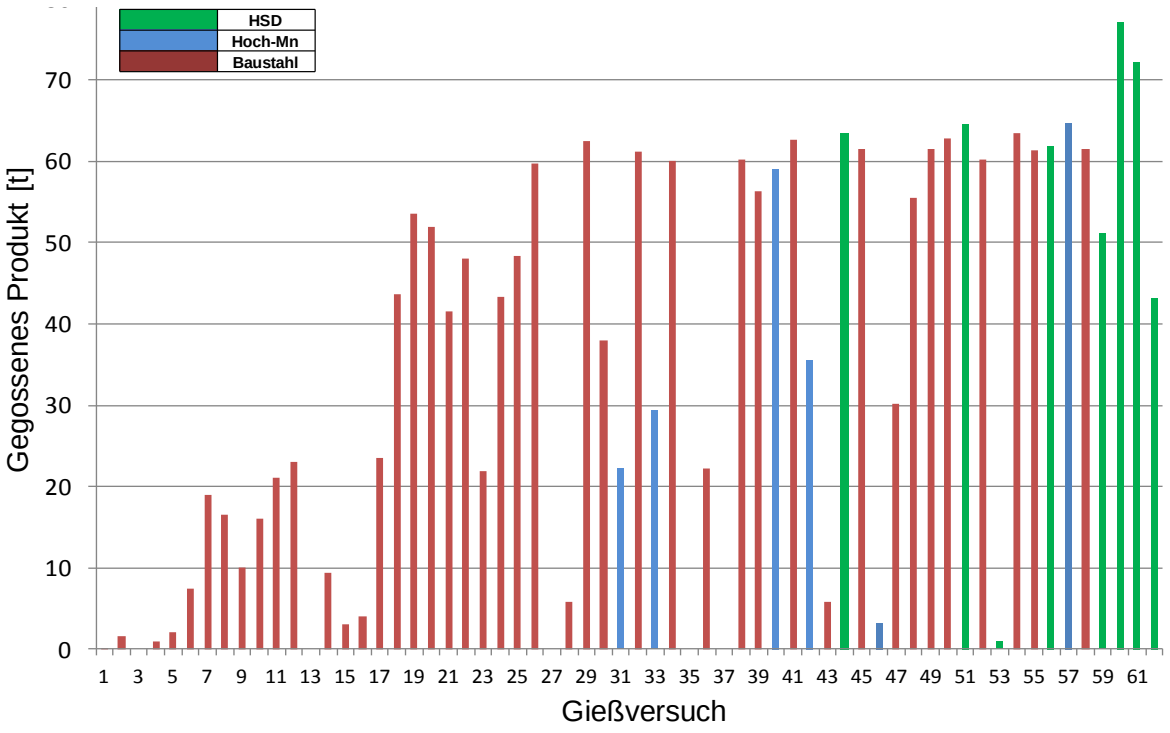

Abbildung 19: Hochlaufkurve der BCT®-Bandgießanlage

Die ersten Gießversuche führten zu Abbrüchen aufgrund der automatischen Sicherheitsabschaltung durch Meldung der Überfüllungskontakte. Da keine realen Überfüllungen der Maschine vorlagen, musste die Meldeschwelle der Alarme angepasst werden.

In folgenden Versuchen kam es zu diversen Gießabbrüchen, die auf die noch geringe Produktqualität zurückzuführen waren. Nicht ausgefüllte Produktkanten oder Löcher im Produkt führten regelmäßig zu Fehlern in der Materialverfolgung, wodurch ein zuverlässiges Schneiden und Abschieben der erzeugten Tafeln nicht möglich war (Abbildung 20). Bei dem realisierten Anlagenaufbau führen Störungen im Tafelabtransport unweigerlich zum Gießabbruch.

Abbildung 20: Löcher im Produkt führten zu Trackingfehlern (z.B. am 19.04.2013)

Nachdem die Produktqualität und das Tafeltracking signifikant verbessert wurden, steigerte sich die Zuverlässigkeit der Anlage. Durch die einhergehende Verlängerung der Gießdauer stellten sich Defizite in der Abdichtung an der Gießdüse heraus. Die Gießdüse wird vor dem Guss auf ca. 1000°C vorgeheizt und anschließend mit dem Aufgabesystem (AGS) in die Gießmaschine eingeschwenkt. Dabei werden die Dammblockketten anschließend auf das

Eingießmaß an die Gießdüse geschwenkt. Möglichkeiten zur Verbesserung der Situation ergaben sich durch eine andere Werkstoffwahl für die Gießdüse, um Effekte der Wärmeausdehnung zu reduzieren, andere Materialien für die Abdichtung zwischen Gießdüse und Dammblockkette, bzw. Transportband und eine Verbesserung der Positioniergenauigkeit der Dammblockketten beim Anfahren der Gießbreite. Da diese Möglichkeiten unterschiedliche Vorbereitungs- und Umsetzungszeiten benötigten, konnten kurzfristig mit anderen Abdichtmaterialien Erfolge erzielt werden, ein Umbau der Gelenkpositionen zur Breitenverstellung und die Erhöhung der Steifigkeit konnten jedoch erst die hohe Zuverlässigkeit der Abdichtung durch reproduzierbare Spalteinstellungen gewährleisten.

Sowohl die Produktqualität als auch die Prozessstabilität wurden durch Kantenfehler, verursacht durch die mitlaufende Seitenbegrenzung, beeinflusst. Die Übertragung der Konstruktion der Seitenbegrenzung von der Laboranlage aus Clausthal auf die Demonstrationsanlage erfüllte die Erwartungen bezüglich Geradeauslauf nicht (Abbildung 24). Einzelne Glieder konnten sich minimal in das Produkt bewegen und so die Kanten beschädigen. Da die Dammblockketten mit im Vergleich zum Transportband erhöhter Geschwindigkeit laufen, führte dieses gleichzeitig zur Überbeanspruchung der Antriebe der Seitenbegrenzung. Zur Optimierung der Dammblockketten und der zugehörigen Linearführung wurden kleinere Dammblockkettenabschnitte zunächst als Prototypen in Kalt- und Heißversuchen erprobt. Nach der Auswahl der besten Konstruktionsvariante wurde die Bandgießanlage in drei Bauabschnitten umgebaut. Seit der vollständigen Umsetzung der neuen Konstruktion treten kaum Kantenfehler und keine Gießabbrüche aufgrund überlasteter Antriebe auf.

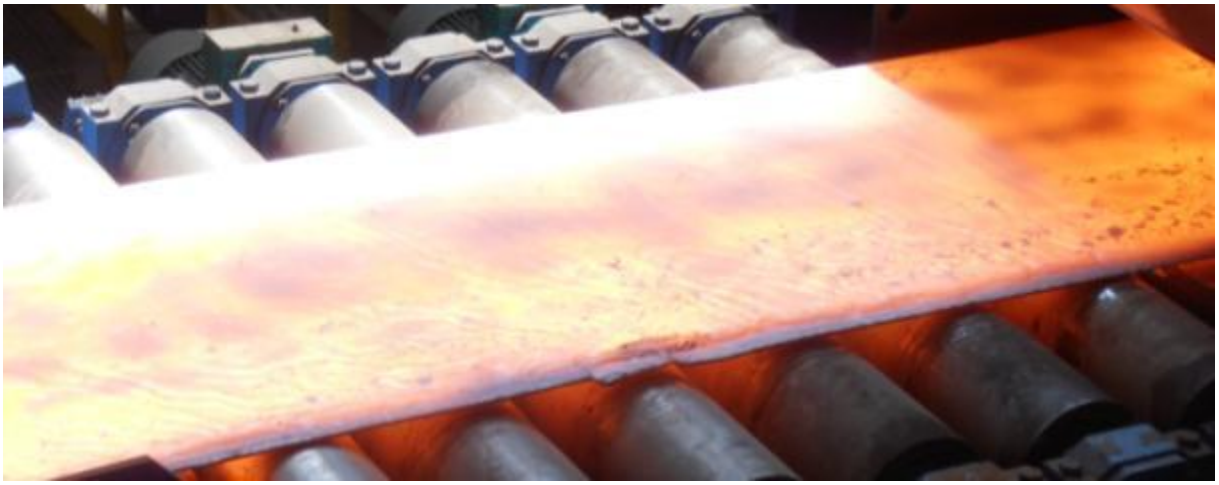

Abbildung 21: Gußprodukt zwischen den Treibern mit Kantenfehler

Abbildung 22: Gußprodukt zwischen den Treibern mit schwankender Gießdicke

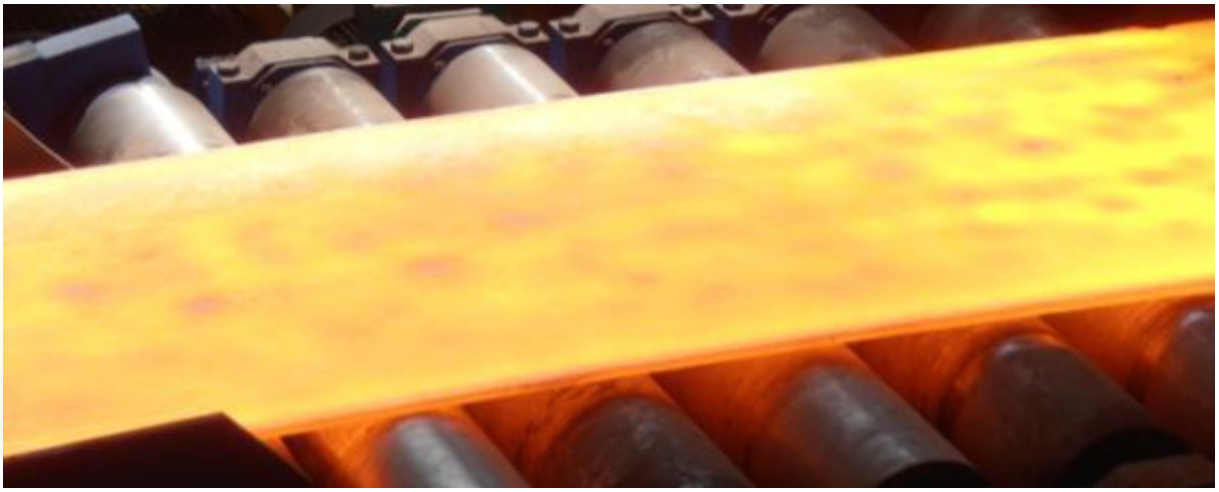

Abbildung 23: Gußprodukt zwischen den Treibern mit guter Schmelzenverteilung

Beschädigungen der Dammblockketten-
glieder durch Unterlaufungen

Abbildung 24: Beschädigungen am Produkt und an der Dammblockkette durch Versatz der Glieder

Parallel zur Verbesserung der Prozesssicherheit konnte an der Erzeugung der hochmanganhaltigen Stähle gearbeitet werden, so dass bei dem 31. Gießversuch zum ersten Mal hochmanganhaltiger Stahl vergossen wurde. Durch ein anderes Abkühlverhalten der Tafeln als beim Baustahl wölbten sich die Vorderseiten der Tafeln derart auf, dass die Lichtschranken zur Materialverfolgung diese nicht rechtzeitig erkennen konnten, wodurch ein Gießabbruch erfolgte. Das thermische Aufbiegen der Tafeln wurde zudem durch einen relativ dünnen Guss begünstigt.

Nach wiederholten Güssen von hochmanganhaltigen Stählen wurde deutlich, dass die gleichmäßige Schmelzeverteilung deutlich anspruchsvoller ist als bei Baustählen. Dünne Bereiche im Guss können sowohl mit der Gießdüse also auch mit der Stützrollenkonstruktion der Transportbandkühlung in Zusammenhang gebracht werden. Durch geeignete Versuche wurden die Effekte voneinander getrennt und geeignete Abstellmaßnahmen definiert.

Steckelwalzen

Die Prozessstufe des Steckelwalzens wurde mit Baustahltafeln idealer Geometrie erfolgreich in Betrieb genommen und die Funktionalität der Anlagenkonfiguration nachgewiesen. Im Rahmen der Warminbetriebnahme konnten so Coils aus Baustahl erfolgreich weiterverarbeitet werden.

Größte Herausforderungen beim Steckelwalzen liegen in der Einstellung der Planlage und des Geradeauslaufs des Produktes sowie in der Entfernung des Zunders.

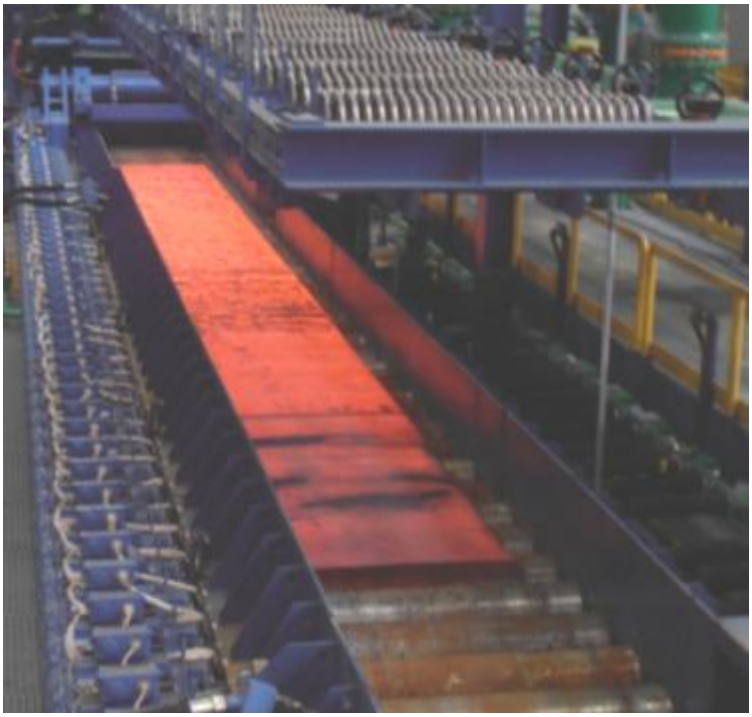

Abbildung 25: Gewalzte Tafel im Steckelwalzwerk im September 2012

Abbildung 26: Bandgegossene Tafel im Walzprozess des Steckelwalzwerks

Abbildung 27: Das erste Coil aus dem Steckelwalzwerk im September 2012

Abbildung 28: Der Entwicklungsstand am 12.12.2012

Abbildung 27 verdeutlicht, dass nach dem erfolgreichen Walzen einer Tafel der Coilaufbau weiter optimiert wurde. Hierbei war das Erstellen von fehlerfreien Schweißnähten zwischen den gewalzten Tafeln entscheidend. Das fluchtende Aneinanderschweißen der Tafeln ohne seitlichen Versatz zueinander war Voraussetzung für den Aufbau eines Coils mit einem guten Wickelzustand (Abbildung 28).

Ab dem 12. Gießversuch der Bandgießanlage zeigten die Tafeln eine verbesserte Qualität, so dass erste ausgewählte Tafeln versuchsweise auf dem Steckelwalzwerk warmgewalzt werden konnten.

Abbildung 29 zeigt eine Tafel aus dem 17. Gießversuch, die mit 2 Stichen von 16 mm auf ca. 8 mm gewalzt wurde. Während der vorhergehenden Tafelinspektion festgestellte Kantenfehler wurden vor dem Walzversuch herausgeschnitten.

Durch die sich stetig verbessernde Bandgussqualität wurden die Tafeln später nicht mehr nachgearbeitet. Fehlerhafte Tafeln wurden direkt verschrottet. Abbildung 30 zeigt eine Tafel mit der Dicke von 2,5 mm am Auslauf des Steckelwalzwerks vor dem Anschweißen an das Coil.

Bis September 2014 wurden ca. 45 Warmbandcoils in Dicken von 2,5 bis 5 mm über die BCT-Route erzeugt.

Erste bandgegossene Tafeln aus hochmanganhaltigem Stahl, insbesondere aus den Versuchen 59 bis 62 konnten auf bis zu 4 mm Dicke ausgewalzt werden, entsprachen jedoch noch nicht den Qualitätsanforderungen zur Weiterverarbeitung.

Abbildung 29: Im Steckelwalzwerk in 2 Stichen gewalzte BCT®-Tafel

Abbildung 30: BCT-Baustahltafel auf 2,5 mm gewalzt.

2.4 Behördliche Anforderungen (Genehmigungen)

Die für den Betrieb der beiden Anlagenteile in Peine und Salzgitter erforderlichen Genehmigungen nach BImSchG wurden beantragt und genehmigt.

„Errichtung und Betrieb einer neuen Bandgießanlage“ wurde am 06.05.2011 durch das Staatliche Gewerbeaufsichtsamt Braunschweig genehmigt. (G/10/051-320 rh)

Zum Immissionsschutz gelten folgende Nebenbestimmungen:

- Die Abluft aus dem Plasmaschneidverfahren während des Brennens von Schrott darf gefiltert in die Halle geleitet werden, wenn die Konzentrationen für einatembare Stäube von 10 mg/m³ und alveolengängige Stäube von 3 mg/m³ nicht überschritten werden.
- Die Schalleistungspegel während des Betriebes sind gemäß dem Schalltechnischen Gutachten einzuhalten.
- Das Rangieren mit dem Waggon ist nur zwischen 6:00 Uhr und 22:00 Uhr zulässig.

Die Änderung der Walzanlage zu einer „Anlage zum Walzen von Stahl …“ wurde am 11.11.2011 durch das Staatliche Gewerbeaufsichtsamt Braunschweig genehmigt (G/11/002-1059 zb/rh).

Zum Immissionsschutz gelten folgende Nebenbestimmungen:

- Die Emissionen der Emissionsquelle Rollenherdofen dürfen die folgenden Massenkonzentrationen
    - Gesamtstaub 20 mg/m³
    - Stickoxide, angegeben als Stickstoffdioxid 0,50 g/m³

  nicht überschreiten.
- Die Einhaltung dieser genannten Emissionsbegrenzungen ist nach Erreichen des ungestörten Betriebs, jedoch frühestens 3 Monate und spätestens 6 Monate nach Inbetriebnahme der Anlage, durch eine nach § 26 Bundes-Immissionsschutzgesetz bekannt gegebene Messstelle überprüfen zu lassen.
- Die Schalleistungspegel während des Betriebes sind gemäß dem Schalltechnischen Gutachten einzuhalten.
- Die Anlieferung des Vormaterials der Walzanlage (BCT®) darf nur mit täglich zwei Zügen, bestehend aus Lokomotive und jeweils zwei Waggons mit jeweils 14 m Länge, erfolgen.

2.5 Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten

2.5.1 Bandgießanlage

Elektrischer Strom

Für die Bandgießanlage wurde einen neue Niederspannungshauptverteilung mit drei Trafoanlagen errichtet. Die Verteilung der Verbraucher auf die Transformatoren zeigt Abbildung 31. Die Verbraucher sind auf die unterschiedlichen Transformatoren aufgeteilt, um die Lasten möglichst gleichmäßig zu verteilen und die Ausfallsicherheit z.B. der Wasserpumpen zu erhöhen.

Die Verbraucher sind grundsätzlich zu unterscheiden in Dauerlasten während des Betriebs (z.B. Hydraulik, USV, EDV, Licht) sowie Aggregate, die nur während des Gießens betrieben werden, wie HD (Hochdruck)-Pumpen, Nebenaggregate und geregelte Antriebe.

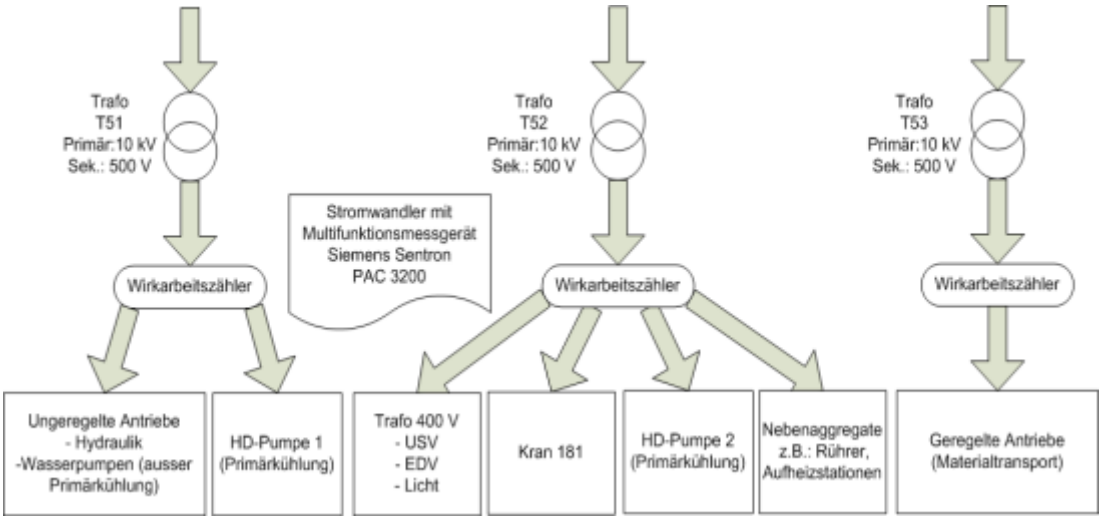

Abbildung 31: Aufteilung der elektrischen Verbraucher auf die drei Transformatoren

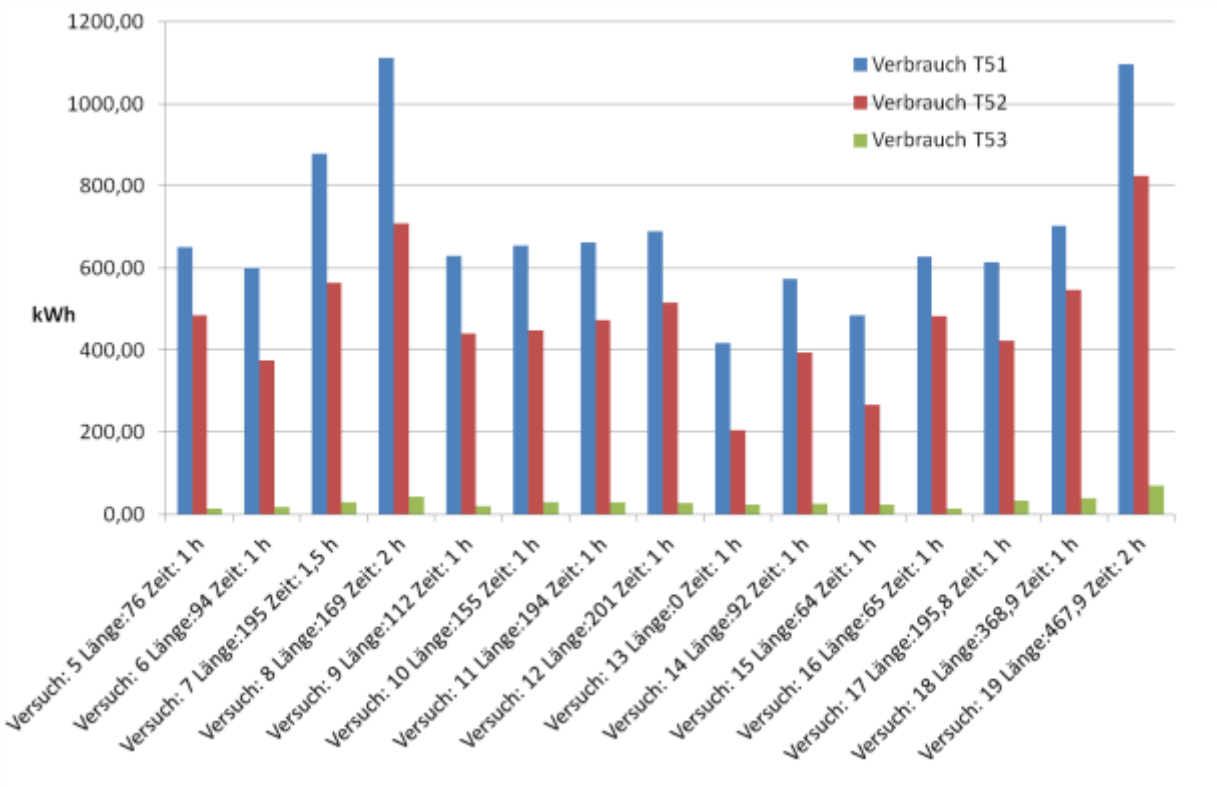

Abbildung 32: Aufstellung der Stromverbräuche bei den ersten Gießversuchen

Abbildung 32 zeigt die Stromverbräuche während der Inbetriebnahme aufgeteilt auf die drei Transformatoren. Trafo T51 (blau) versorgt die ungeregelten Antriebe, also die Hydraulikpumpen und die Wasserpumpen sowie die Hochdruckpumpe 1 für die Primärkühlung. Trafo T52 versorgt die zweite Hochdruckpumpe für die Primärkühlung sowie Nebenaggregate. Von dem Trafo T53 werden die Antriebe für den Materialtransport versorgt.

Anhand des Balkendiagramms ist gut zu erkennen, dass die wesentlichen Verbraucher an T51 und T52 proportional zur Betriebszeit Strom verbrauchen, wie beispielsweise die Hydraulik. Lediglich der Materialtransport an Trafo T53 verbraucht den Strom proportional

zur gegossenen Länge. Die tatsächliche Gießdauer betrug bei Guss 19 beispielsweise 467,9 m / 14 m/min = 33 min. Für die folgenden Auswertungen wurde die Messung der Energieverbräuche exakt mit Anguss und Gießende gestartet bzw. beendet.

Aufgrund der Konstellation als Demonstrationsanlage zur Erzeugung von Einzelgüssen spielt der Energieverbrauch in Nebenzeiten des Betriebes eine große Rolle, dieses verdeutlicht auch die Aufteilung der Stromverbräuche vom Gießversuch am 08.08.13 in Abbildung 33.

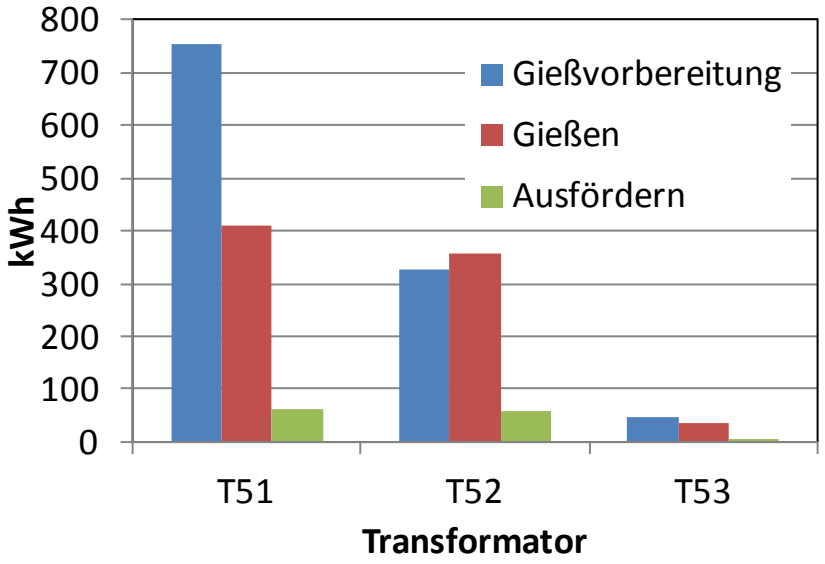

Abbildung 33: Aufteilung des Stromverbrauchs in Betriebszustände der Bandgießanlage beim Gießversuch vom 08.08.2013

Erdgasverbrauch

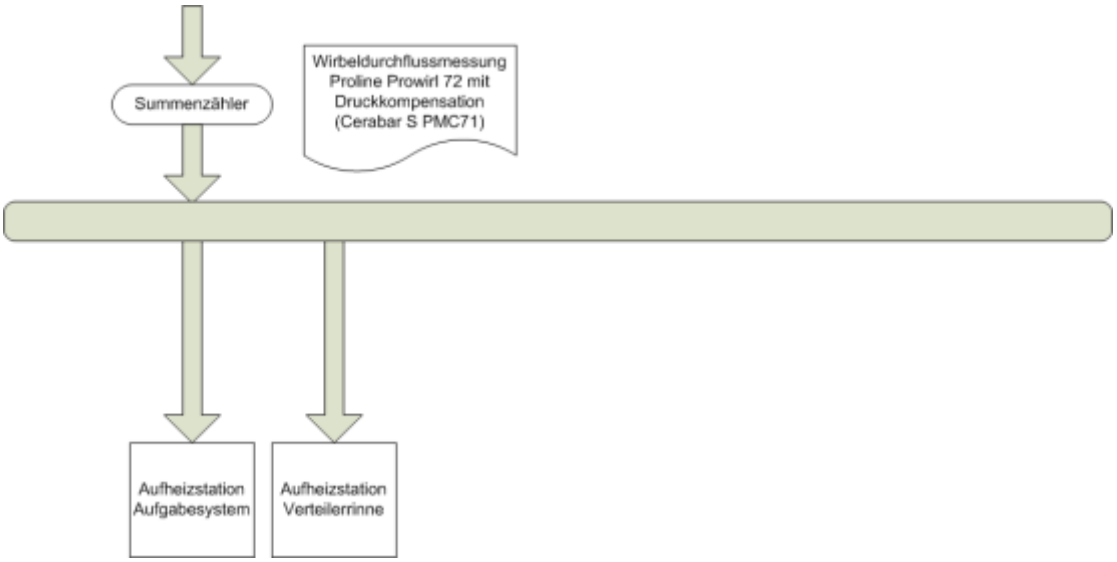

Abbildung 34: Verteilung des Erdgasstroms in der Bandgießanlage

Der Erdgasverbrauch an der Bandgießanlage wird durch die Aufheizfeuer der Feuerfestgefäße (Verteilerrinne, Aufgabesystem) verursacht:

Die Verteilerrinne wird ca. 3h auf 400°C getrocknet, verbraucht dabei ca. 35 Nm³/h, anschließend wird diese für ca. 2h auf >1000°C geheizt. Dabei werden ca. 55 Nm³/h verbraucht.

Das Aufgabesystem wird für ca. 2,5h auf ca. 1000°C aufgeheizt. Der Verbrauch beträgt zurzeit ca. 30 Nm³/h. Der Haubenbrenner, der die Gießdüse aufheizt, wurde bereits einmal umkonstruiert, so dass der Abgasstrom durch das AGS muss und somit zur Beheizung beiträgt. Die Verbrauchswerte sind direkt in der Bedieneroberfläche des Steuermanns ablesbar.

Dabei ist zu bedenken, dass die Feuer während der logistischen Wartezeiten auf die Schmelze weiter laufen müssen. Daher ließe sich bei einer engen Einhaltung der Logistikkette und Zeitplanung der Gasverbrauch theoretisch um ca. ein Drittel reduzieren. Im Falle des Inline-Walzens bei einer Kampagnenfahrweise von 5 Schmelzen wäre der Aufheizvorgang nur bei jeder fünften Pfanne erforderlich.

Argoneinsatz

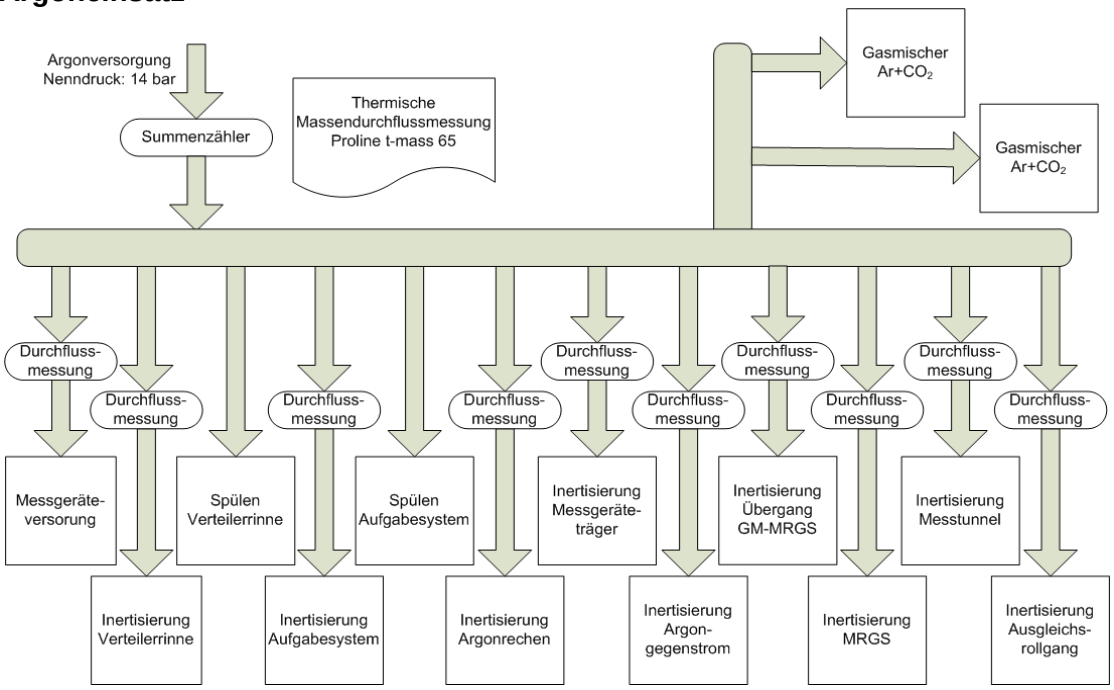

Abbildung 35: Verteilung des Argons in der Bandgießanlage

Insbesondere bei dem Vergießen von HSD®-Stahl ist die Herstellung einer Inertisierung erforderlich. Die Schmelze soll von der Verteilerrinne über das Aufgabesystem, durch die Gießmaschine hindurch bis zum Treiber 1 von Sauerstoff ferngehalten werden. Hierzu wird an diversen Stellen im Stofffluss Argon eingeleitet. Die einzubringenden Mengen werden derzeit ermittelt und zunächst im Hinblick auf Erzielung einer guten Inertisierung optimiert. Um die Mengen regeln zu können, werden die Restsauerstoffkonzentrationen in der Maschine gemessen.
Für HSD®-Stähle kann der Einsatz von Ar/H_2 und Ar/CO_2 an bestimmten Stellen sinnvoll sein. Ar/H_2 wird vor der Gießdüse unterhalb des AGS auf das Transportband gebracht. Durch den Einsatz von Ar/CO_2 kann eine gezielte Oxidation der Stahloberfläche mit kontrollierter Erstarrung von der Oberseite eingeleitet werden.

Wasserwirtschaft

Die Wasserwirtschaft an der Bandgießanlage besteht aus verschiedenen Kühlkreisläufen. Der Kreislauf 1 wird gespeist aus einem ca. 300m³ fassenden Kühlwassertank unterhalb der Bandgießanlage. In diesem Kreislauf befinden sich die drei Hochdruckpumpen, die das Kühlwasser für die Primärkühlung unterhalb des Transportbandes zur Verfügung stellen. Der Kühlwasserkreislauf 2 ist die sogenannte Maschinenkühlung, durch den die Anlagenteile wie Rollen, Deckel, etc gekühlt werden. Zudem besitzen die elektromagnetischen Rührer und die Schere separate Kreisläufe. Der Kreislauf der Schere ist aufgrund der Messerkühlung der einzige offene Kreislauf. Mit Ausnahme dieses Kreislaufs kommt das Wasser in keinen direkten Kontakt zu den zu kühlenden Stahlprodukten und erfährt somit auch keine wesentliche Verunreinigung, bzw. wird nicht verbraucht, da es nicht verdampft.

Der Wassertank der BCT-Anlage heizt sich im Rahmen eines Gießversuchs auf und wird durch eine kontinuierliche Rückkühlung über den Kühlturm des Stahlwerks bis zum nächsten Guss wieder zurückgekühlt. Unter anderem ergibt sich dadurch eine minimale Gießpause von ca. 6h nach jeder Pfanne.

2.5.2 Steckelwalzwerk

Elektrischer Strom

Die bei dem bestehenden Walzwerk existierende Stromversorgung wurde für die Erweiterung des Walzwerks mit Ofenanlage und Coilaufbau ergänzt. Der Energieverbrauch kann nun an 5 Zählern abgelesen werden. Die beiden Gleichstrom-Antriebsmotoren des Walzgerüstes werden jeweils von einem Trafo versorgt, ebenso die elektromotorische Anstellung. Zwei weitere Trafos versorgen die Nebenanlagen, die wie bei dem Bandgießen vor allem durch die Hydraulikaggregate bestimmt werden. Abbildung 36 zeigt die Stromverbräuche in den unterschiedlichen Kreisen an einem exemplarischen Walztag von Baustahlmaterial.

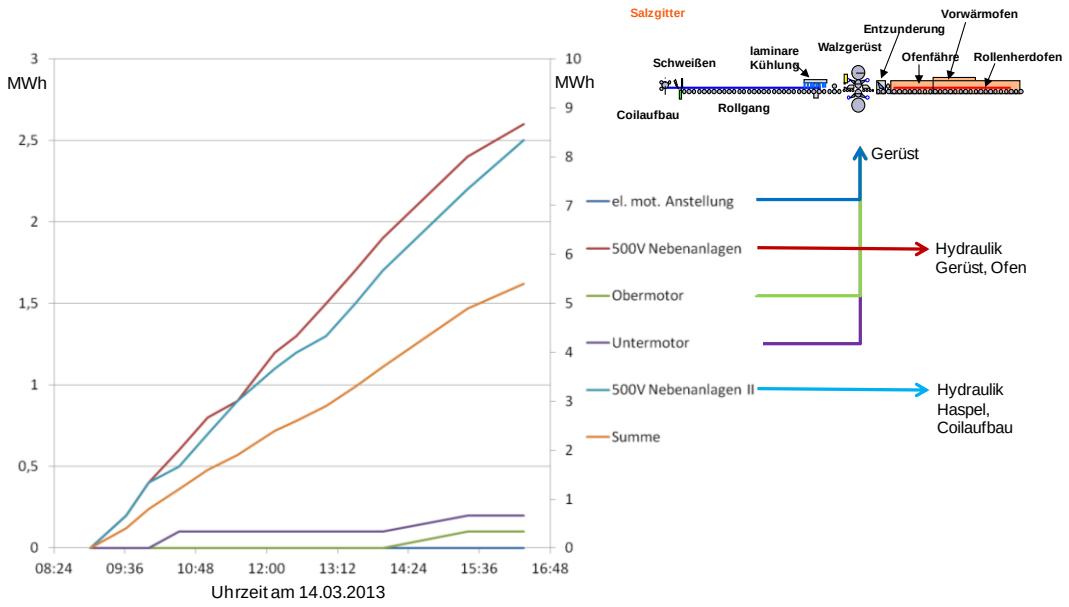

Abbildung 36: Stromverbrauch an einem Walztag

Erdgasverbrauch

Der Erdgasverbrauch am Steckelwalzwerk erfolgt ausschließlich über den Betrieb des Wiedererwärmofens für die in Peine gegossenen Tafeln. Die Wiedererwärmung wird aufgrund der räumlichen Trennung von Gießanlage und Walzanlage erforderlich. Für den Fall des technischen und wirtschaftlichen Erfolgs der Bandgießtechnologie sollte in einer später umzusetzenden Ausbaustufe die Gießhitze direkt für das anschließende Warmwalzen genutzt werden. Aufgrund des Pilotcharakters des Vorhabens war jedoch eine zeitliche und räumliche Entkopplung von Bandgießanlage und Walzwerk sinnvoll, die zudem ermöglichte, die Investitionskosten des Vorhabens durch Weiternutzung vorhandener Anlagenteile in Salzgitter zu begrenzen.
Während der Inbetriebnahme der Walzanlage und im weiteren Verlauf der Hochlaufkurve kann das Steckelwalzwerk nur in einem einschichtigen Betrieb betrieben werden. Die Ofenanlage kann aufgrund des Energieinhalts der Ausmauerung nicht am Schichtende abgestellt und zu Schichtbeginn wieder angestellt werden, da der Energie- und Zeitbedarf zu groß wäre. Der Ofen kann aber ohne Schaden zu nehmen, in Nebenzeiten auf eine Ofentemperatur von 800°C abgesenkt werden (800°C sind ebenfalls erforderlich, um über der Selbstentzündungstemperatur des Erdgases zu liegen). Abbildung 37 zeigt in einem Diagramm die Temperaturen in den einzelnen Ofenzonen (linke Y-Achse) sowie den momentanen und den kumulierten (rechte Y-Achse) Erdgasverbrauch in der betrachteten Zeit. Es ist zu erkennen, dass der Vorwärmofen mit nur 900°C betrieben wird. Dieser Ofenteil befindet sich unterhalb des Abgaskamins und kann somit über das Abgas der folgenden Ofenzonen in der Heizleistung unterstützt werden. Die in der Kurve erkennbaren Einbrüche der Temperatur resultieren aus dem Chargieren des Ofens mit einer kalten Tafel (an den abgebildeten Tagen wurden 8, 14 bzw. 10 Tafeln gewalzt). Die Walztemperatur wurde sowohl für Baustahl als auch für HSD-Stahl auf 1050°C abgesenkt, da die Verzunderung dadurch verringert werden kann.

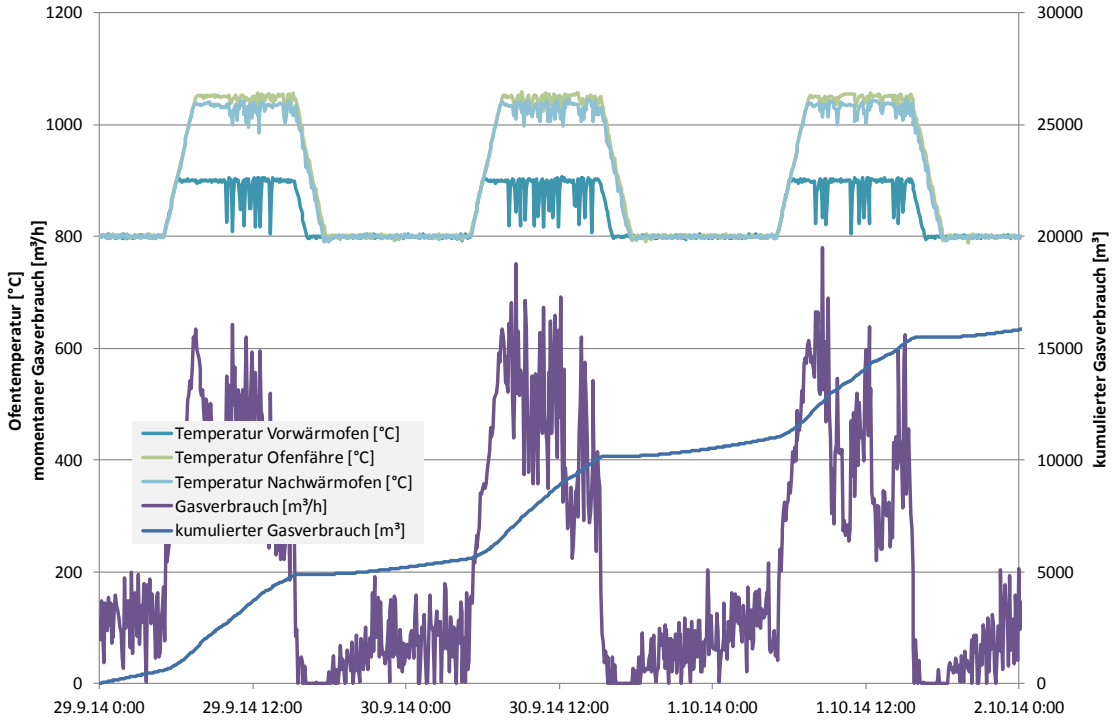

Abbildung 37: Temperaturverlauf und Gasverbrauch über mehrere Walztage

Wasserwirtschaft

Die Wasserwirtschaft des Walzwerkes wird im Wesentlichen für die Aufgaben Walzenkühlung, Entzunderung und laminare Bandkühlung benötigt. Um die Funktionen zu erfüllen, sind verschiedene Kühlwasserkreisläufe aufgebaut worden. Das Wasser läuft grundsätzlich in einem Kreislauf, wobei das durch Zunder verunreinigte Wasser in einer Aufbereitung mit Absetzbecken, Lamellenklärer, Sandfilter, Reinwasserbecken und Kühlturm aufbereitet wird.

Tabelle 2: Wasservolumina der Wasserwirtschaft

Becken/Anlagenteil	Absolutes Volumen	Bemerkung
Gerüstbecken	24m³	Variabel
Laminarwanne	20m³	Variabel
Laminartank	10m³	Variabel
Rohrleitungssysteme	ca. 15m³	Konstant (0m³ oder 15m³)
Absetzbecken	35m³	Konstant
Pumpbecken des Absetzbeckens	20m³	Variabel
Lamellenklärer	24m³	Konstant
2 Filter	40m³	Konstant
Kühlturm	1m³	1m³= Betrieb 0m³= außer Betr.
Reinwasserbecken	80m³	Variabel
Gesamtmenge	ca. 200m³	

Die Tabelle 2 listet die in der Wasserwirtschaft befindlichen Wasservolumina mit den Soll-Füllmengen. Die einzelnen Tanks sind untereinander mit Rohrleitungen verbunden, so dass das Wasser nacheinander die einzelnen Stufen der Reinigung durchlaufen kann. Die Füllhöhen der einzelnen Behälter sind je nach Betriebszustand unterschiedlich. Durch die Walzenkühlung und die laminare Bandkühlung wird während des Betriebes Wasser verdampft wodurch es zu einer Unterschreitung einer Mindestwassermenge kommt. In dem Fall wird aus dem Brauchwassernetz der Salzgitter Flachstahl nachgespeist. Ebenso ergibt sich eine Menge Abstoßwasser aus der erforderlichen Rückspülung des Sandfilters.

Die bei Bedarf aus dem Absetzbecken entnommenen Zunderreste werden der Sinteranlage am Standort Salzgitter zugeführt und gelangen somit in den Hochofen.

3 Ergebnisse

3.1 Darstellung der Energieverbräuche

3.1.1 Bandgießanlage

Elektrischer Strom

Die Aufteilung der Verbraucher auf die verschiedenen Transformatoren wurde in Kapitel 2.5.1 beschrieben. Die Abbildung 38 und Abbildung 39 zeigen konkrete Messwerte des Gusses von HSD®-Stahl vom 17.06.2014 (77,1 t Produkt). Abbildung 38 verdeutlicht nochmals die Abhängigkeit des Energieverbrauchs vom momentanen Betriebszustand der Anlage. Abbildung 39 zeigt die gleichen Verbräuche kumuliert über die Zeit. Bei diesem Guss ergibt sich ein Energieverbrauch von 1032 kWh während der Gießvorbereitung, 1081 kWh während des Gusses und 51kWh für das Ausfördern. Bezogen auf die produzierte Stahlmenge bedeutet das 13,3 kWh/t für die Gießvorbereitung, 14 kWh/t für den Guss und 0,7 kWh/t für das Ausfördern. Diese Werte können als repräsentativ angenommen werden und unterscheiden sich nicht in Abhängigkeit des erzeugten Produktes.

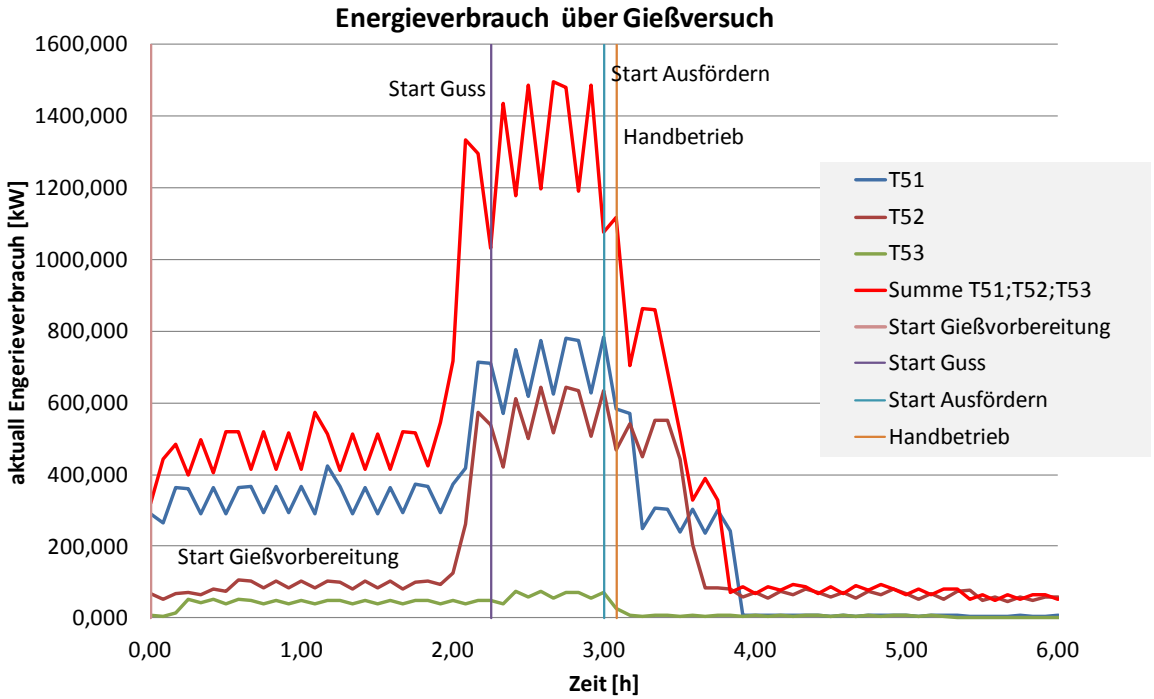

Abbildung 38: Stromverbrauch während des Gusses vom 17.06.2014

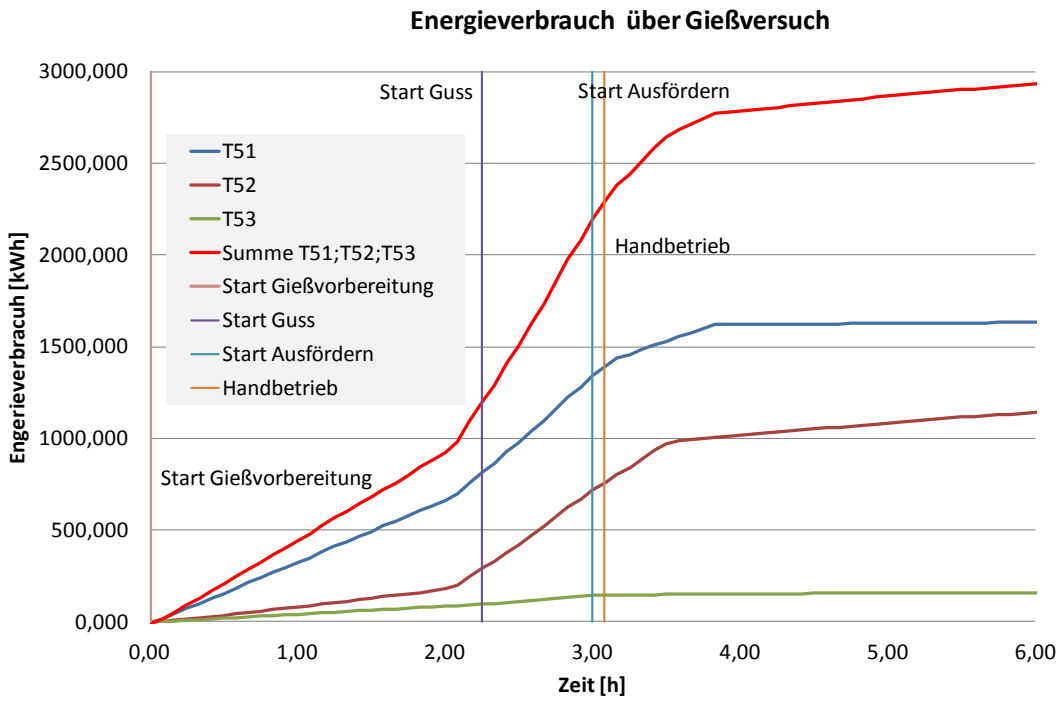

Abbildung 39: Kumulierter Stromverbrauch während des Gusses vom 17.06.2014

Erdgasverbrauch

Der Gasverbrauch an der Bandgießanlage wird durch die Gasbrenner zur Vorheizung für Verteilerrinne, Tauchausguss und Aufgabesystem verursacht. Die minimale Vorheizdauer für die Verteilerrinne und das AGS beträgt 2,5h für den Tauchausguss 0,5h. Längere Aufheizzeiten werden durch die logistischen Wartezeiten verursacht. Um die Wartezeiten zu mitteln wurde der Erdgasverbrauch über 6 Versuche in einem Monat gemittelt. Im Monat Juli 2014 wurden 360 Nm³ Erdgas (3655 kWh) pro Guss gemittelt über 6 Abgüsse verbraucht. Realistisch können zum jetzigen Zeitpunkt rund 4 Nm³ Erdgas bzw. etwa 40 kWh_{th} je Tonne Produkt erreicht werden.

Abbildung 40 zeigt den zeitlichen Verlauf des Erdgasverbrauchs vor einem Gießversuch. Die Vorheizzeiten unterscheiden sich nicht in Abhängigkeit des herzustellenden Werkstoffs.

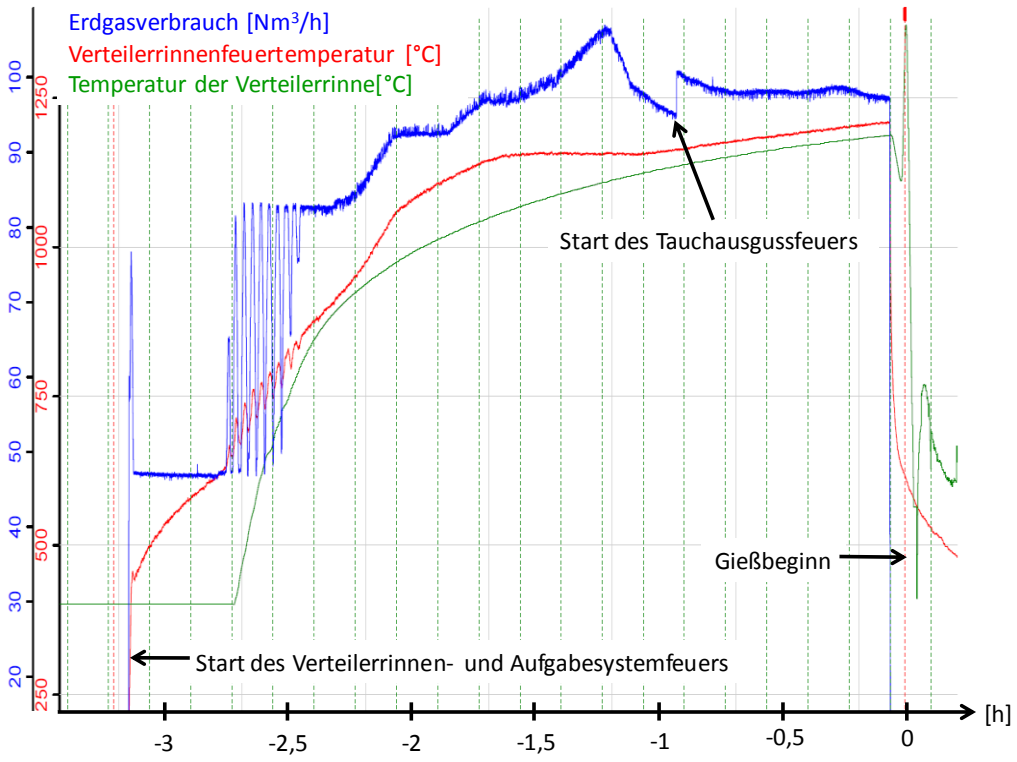

Abbildung 40: Verlauf des Erdgasverbrauchs vor einem Guss

Argon- / Schutzgasverbrauch

Insbesondere beim Gießen von hochmanganhaltigen Stählen wird Argon zur Inertisierung der Gießmaschine sowie Ar/CO2 und Ar/H2 während des Gusses verbraucht. Die Inertisierung mit Ar beginnt ca. 30 Minuten vor Gießbeginn, um den in der Anlage vorhandenen Sauerstoff zu verdrängen (Abbildung 41). Die Mischgase werden erst mit Start der Gießmaschine zugegeben.

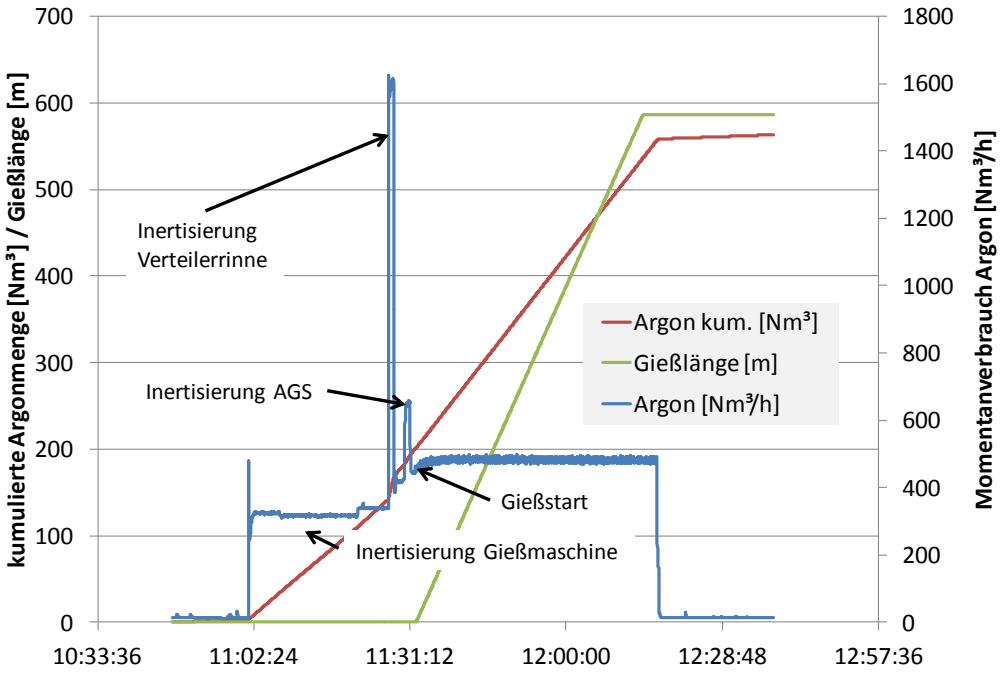

Abbildung 41: Verlauf des Argonverbrauchs vor und während eines Gusses

Der Argoneinsatz über einen kompletten Guss summiert sich zu 560 Nm³, das entspricht ca. 8 Nm³/t. Das Mischgas Ar/CO_2 wird im Bereich des Topcoolers eingesetzt. Bei voller Gießlänge ergibt sich ein CO_2-Einsatz von 13 Nm³. Das entspricht ca. 0,18 Nm³/t. Das Formiergas Ar/H_2 wird auf das Transportband unterhalb des Aufgabesystems gegeben. Für einen Guss ergibt sich ein Einsatz von 1 Nm³ H_2 (0,014 Nm³/t). Die entsprechenden Argonmengen sind in der Gesamtbetrachtung des Argons enthalten, da die Gase vor Ort gemischt werden.

Wassereinsatz

Da nur der Kühlkreislauf der Schere (Messerkühlung) offen ist und Kontakt zu dem Stahl bekommt, beträgt die Nachspeisemenge des Brauchwassers unter 1 m³ pro Guss, so dass die Menge nicht weiter betrachtet wird.

3.1.2 Steckelwalzwerk

Elektrischer Strom

Wie in Abschnitt 2.5.2 erläutert wird der elektrische Strom über verschieden Transformatoren zur Verfügung gestellt.

Tabelle 3 zeigt exemplarisch den Energieverbrauch an einem Walztag; die Ablesung erfolgt hier manuell. Die elektrische Anstellung des Walzgerüstes wird bei den kleinen Blechdicken nicht benutzt und erscheint daher ohne Verbrauch. Die Auflösung der Messung der Verbräuche der Hauptantriebe ist bauartbedingt gering (Gleichstromantriebe Baujahr 1956). Der Energieverbrauch wird aber auch beim Walzen durch die Nebenzeiten bestimmt (vgl. Abbildung 36). Wird der Energieverbrauch während des Walzbetriebes aus Tabelle 3 (grau hinterlegte Zeilen) zugrunde gelegt, dann summieren sich für das Walzen über 4 Stunden 2,9 MWh (entspricht im Mittel 0,725 MWh). Bei einem hier erreichten Walztakt von 3,3 t/h werden ca. 215 kWh/t benötigt. Bei optimierter Auslastung sind auch Werte von 130 kWh/t erreichbar.

Tabelle 3: Energieverbrauch an einem Walztag

Uhrzeit	Bemerkung	el. mot. Anstellung [MWh]	500V Nebenanlagen [MWh]	Obermotor [MWh]	Untermotor [MWh]	500V Nebenanlagen II [MWh]	Summe [MWh]
09:01		0	0	0	0	0	0
09:37	Nebenzeit	0	0,2	0	0	0,2	0,4
10:00		0	0,4	0	0	0,4	0,8
10:31		0	0,6	0	0,1	0,5	1,2
11:00		0	0,8	0	0,1	0,7	1,6
11:30		0	0,9	0	0,1	0,9	1,9
12:08		0	1,2	0	0,1	1,1	2,4
12:30		0	1,3	0	0,1	1,2	2,6
13:00		0	1,5	0	0,1	1,3	2,9
13:30		0	1,7	0	0,1	1,5	3,3
13:58	Walzbetrieb	0	1,9	0	0,1	1,7	3,7
15:24		0	2,4	0,1	0,2	2,2	4,9
16:21	Nebenzeit	0	2,6	0,1	0,2	2,5	5,4

Erdgas

In wiederholten Aufheiz-, Walz- und Abkühlzyklen konnten die in für die unterschiedlichen Betriebszustände spezifischen Erdgasverbräuche ermittelt werden (

Tabelle 4).

Tabelle 4: Gasverbrauch an mehreren Walztagen

Betriebsart	gemittelter Gasverbrauch [m³/h]	
Aufheizen auf 1050°C	391	1. Zyklus
Walzbetrieb 1050°C	426	
Abheizen 800°C	55	
Haltebetrieb 800°C zwischen Walztagen	61	
Aufheizen auf 1050°C	373	2. Zyklus
Walzbetrieb 1050°C	470	
Abheizen 800°C	52	
Haltebetrieb 800°C zwischen Walztagen	73	
Aufheizen auf 1050°C	380	3. Zyklus
Walzbetrieb 1050°C	430	
Abheizen 800°C	35	
Haltebetrieb 800°C zwischen Walztagen	76	
Aufheizen auf 1050°C	381	4. Zyklus
Walzbetrieb 1050°C	473	

Die Betriebszustände der Ofenanlage wurden definiert, um die spezifischen Verbräuche auf Reproduzierbarkeit zu prüfen und um eine Berechnungsgrundlage für eine sparsame Fahrweise zu bekommen. Über die Kenntnis dieser Verbräuche lassen sich „Schichtmodelle“ berechnen und Entscheidungen über das Abstellen der Ofenanlage an langen Wochenenden, z.B. an Feiertagen treffen.

Anhand der in der Tabelle dargestellten Erdgasverbräuche mit den an den Tagen erwärmten Mengen lässt sich ein Berechnungsansatz ermitteln, mit dem der zu erwartende Gasverbrauch bei hochgefahrener Produktion bestimmt werden kann. Anhand dieser Berechnung ist zu erwarten, dass der Gasverbrauch während der weiteren Steigerung der Produktion noch auf 100 Nm³/t reduziert werden kann.

Die in dieser Phase des Projektes ermittelten Gasverbräuche scheinen zur weiteren Bewertung der Projektziele ungeeignet.

Wassereinsatz

Die Funktionalität der Wasserwirtschaft wurde in Kapitel 2.5.2 kurz beschrieben. Etwaige Wasserverluste resultieren aus dem Abstoßwasser bei der Rückspülung des Sandfilters sowie der Verdampfung von Wasser durch die Laminare Bandkühlung und die Walzenkühlung.

Gemessen wurden durchschnittliche 3,5 m³/h Filterspülwasser in das Abwasser sowie eine durchschnittliche Nachspeisung von 4,9 m³/h an Brauchwasser. Bei der aktuellen Walzleistung von ca. 2-3 t/h resultiert daraus ein Wassereinsatz von ca. 0,5 m³/t durch Verdampfung sowie 3,5 m³/h konstant über die Zeit. (Eine Änderung der Spülmenge durch

eine höhere Walzfrequenz ist nicht zu erwarten). Unter der Annahme der Walzung von 5 t/h ergibt sich also Wassereinsatz von 6 m³/h bzw. 1,2 m³/t.

3.2 Bewertung der Vorhabensdurchführung

Die Bandgießanlage und das zugehörige Steckelwalzwerk wurden termin- und kostengerecht geplant und gebaut. Im Rahmen der Kaltinbetriebnahme und somit der Überprüfung der tatsächlichen Funktionalitäten traten erste zeitliche Verzögerungen im Inbetriebnahmeplan auf. Diese Verzögerungen wurden verursacht durch erforderliche Änderungen der Konstruktionen, die durchweg dem Neuheitscharakter, bzw. dem Upscaling des Anlagentyps geschuldet waren. Im Vordergrund stand hier vor allem die Ver- und Entsorgung der Transportbandunterseite mit Kühlwasser für die Primärkühlung.

Nachdem die ersten Gießversuche durchgeführt wurden, traten diverse kleinere Fragestellungen auf, die aber aufgrund des Verfahrens jeweils zu Gießabbrüchen führten.

In den ersten 18 Monaten der Inbetriebnahme wurden vorwiegend Baustähle aus dem Programm der Peiner Träger GmbH vergossen, da die Erzeugung von hochlegierten Stählen erst begonnen wurde, nachdem die Bandgießanlage zuverlässig die Pfannen entleeren konnte. Eine Weiterverarbeitung von Rückläufern von HSD®-Stählen in dem Stahlwerk der PTG ist technisch nicht möglich.

Die Erzeugung von hochmanganhaltigen Stählen begann im Oktober 2013.

Im Rahmen der Projektplanung wurden als technische Risiken die Punkte Gießbreite, Transportbandlänge und Gießdauer identifiziert. Aus heutiger Sicht stellt die Vergrößerung der Gießbreite nicht die große Herausforderung für die Schmelzeverteilung dar, sondern viel mehr das Design der Transportbandunterstützung.

Das Transportband lässt sich mit Hilfe der Wechselvorrichtung trotz der ca. 28 m Umfang gut montieren, die Schweißnahtqualität entspricht den Anforderungen. Bisher wird für jeden Gießversuch ein neues Transportband ausgezogen. Zum einen werden die Versuchsbedingungen dadurch konstant gehalten, zum Anderen zeigte das Transportband zunächst mechanischen Verschleiß, der durch Anpassung von Gleitpaarungen beseitigt werden konnte, sowie auch thermisch bedingte Verformungen, die durch eine Anpassung der Kühlung und Transportbandunterstützung beseitigt werden sollen.

Das Upscaling der Gießdauer von 3 Minuten bei der Laboranlage auf 30-45 Minuten für die Demonstrationsanlage kann als erfolgreich betrachtet werden. Bisher wurde 28 Mal die Pfanne entleert und der Guss regulär bei einem Mindestfüllstand der Verteilerrinne beendet.

3.3 Stoff- und Energiebilanz

Auf Basis der 62 bisher erfolgten Gussversuche (Stand: Ende Juni 2014, vgl. Tabelle 1) an der BCT-Anlage konnten die relevanten Stoff- und Energieströme der beiden Prozesse „Bandgießen“ und „Steckelwalzen“ identifiziert und quantifiziert werden.

Die Werte der Input-/Output-Flüsse sind den prozessbezogenen Sachbilanzen in Tabelle 5 und der

Tabelle 6 zu entnehmen. Die mit „*“ gekennzeichneten Werte beruhen auf Produktionsmesswerten. Darüber hinaus wurden Flüsse entweder massenbilanziell, wie z.B. der Stahl-Schrott, berechnet oder mittels Datensätze der Datenbank EcoInvent 2.2, wie z.B. die prozessbedingten Emissionen, ergänzt.

Neben den Werten des Szenarios (1) „Ist-Stand“ weisen die Tabellen ebenfalls die Sachbilanzen der weiterführenden Szenarien (2) „Produktionsbetrieb“ und (3) „Potenzial“ aus, die in den nachfolgendem Unterkapitel näher beschrieben werden (vgl. Abschnitt 3.4.1). Dabei ist zu berücksichtigen, dass diese auf den derzeitigen Mess- und Produktionsdaten - unter Verwendung unterschiedlicher Prämissen zukünftiger Effizienz- und Produktivitätssteigerungen - beruhen.

Tabelle 5: Sachbilanz „BCT-Anlage“ der betrachteten Szenarien (mit „*“ gekennzeichnete Werte wurden gemessen, die restlichen berechnet)

Input-Fluss	Werte der Szenarien			Einheit
	(1)	(2)	(3)	
Stahl, legiert, flüssig	1.101,6*	1.081,3	1.015,2	kg
el. Energie	28,0*	22,0	14,0	kWh_{el}
Erdgas	36,2*	27,2	7,3	kWh_{th}
Druckluft	9*	5	1	Nm³
Brauchwasser (enthärtet)	28,1*	28,1	28,1	kg
Argon	7,734*	7,734	7,734	Nm³
Argon-Wasserstoff-Gemisch	0,28*	0,28	0,28	Nm³
Kohlendioxid	0,18*	0,18	0,18	kg
Magnesiumoxid (Abdeckmittel)	3*	2	0,5	kg
Output-Fluss	**(1)**	**(2)**	**(3)**	**Einheit**
Dünnbandtafel	1.000,0*	1.000,0	1.000,0	kg
Stahl-Schrott (Reste Pfanne/Verteilerrinne/Aufgabesystem und Kopf-/Fußschrott)	101,62*	81,31	15,15	kg
Schlacke (verunreinigtes Abdeckmittel)	3	2	0,5	kg
Acetaldehyd [Luft/allgemein]	1,3E-07	9,8E-08	2,6E-08	kg
Benzo(a)pyren [Luft/allgemein]	1,3E-09	9,8E-10	2,6E-10	kg
Benzol [Luft/allgemein]	5,2E-05	3,9E-05	1,0E-05	kg
Butan [Luft/allgemein]	9,1E-05	6,8E-05	1,8E-05	kg
Essigsäure [Luft/allgemein]	2,0E-05	1,5E-05	3,9E-06	kg
Formaldehyd [Luft/allgemein]	1,3E-05	9,8E-06	2,6E-06	kg
Kohlendioxid, fossil [Luft/allgemein]	7,3E+0	5,5E+0	1,5E+0	kg
Kohlenmonoxid, fossil [Luft/allgemein]	2,7E-04	2,1E-04	5,5E-05	kg
Lachgas [Luft/allgemein]	1,3E-05	9,8E-06	2,6E-06	kg
Methan, fossil [Luft/allgemein]	2,6E-04	2,0E-04	5,2E-05	kg
PAH, polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe [Luft/allgemein]	1,3E-06	9,8E-07	2,6E-07	kg
Partikel, < 2.5 um [Luft/allgemein]	2,6E-05	2,0E-05	5,2E-06	kg
Pentan [Luft/allgemein]	1,6E-04	1,2E-04	3,1E-05	kg
Propan [Luft/allgemein]	2,6E-05	2,0E-05	5,2E-06	kg
Propionsäure [Luft/allgemein]	2,6E-06	2,0E-06	5,2E-07	kg
Quecksilber [Luft/allgemein]	3,9E-09	2,9E-09	7,8E-10	kg
Schwefeldioxid [Luft/allgemein]	7,2E-05	5,4E-05	1,4E-05	kg
Stickoxide [Luft/allgemein]	5,6E-03	4,2E-03	1,1E-03	kg
TCDD-Äquivalente, als 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin [Luft/allgemein]	3,9E-15	2,9E-15	7,8E-16	kg
Toluol [Luft/allgemein]	2,6E-05	2,0E-05	5,2E-06	kg

Tabelle 6: Sachbilanz „Steckelwalzen/Inlinewalzen“ der betrachteten Szenarien (mit „*“ gekennzeichnete Werte wurden gemessen, die restlichen berechnet)

Input-Fluss	Werte der Szenarien			
	(1)	(2)	(3)	Einheit
Warmband	1.065,0*	1.065,0	1.003,1	kg
el. Energie	136,4*	136,4	80,0	kWh_{el}
Erdgas	1.014,2*	507,1	-	kWh_{th}
Brauchwasser (enthärtet)	1200,0*	1200,0*	1200,0*	kg
Output-Fluss	**(1)**	**(2)**	**(3)**	**Einheit**
Warmband	1.000,0*	1.000,0	1.000,0	kg
Stahl-Schrott (Verschnitt, Kopf-/Fußschrott)	65,0*	65,0	3,1	kg
Zunder	26,62	26,62	8,02	kg
Abwasser	700,0*	700,0	700,0	kg
Acetaldehyd [Luft/allgemein]	3,7E-06	1,8E-06	n/a	kg
Benzo(a)pyren [Luft/allgemein]	3,7E-08	1,8E-08	n/a	kg
Benzol [Luft/allgemein]	1,5E-03	7,3E-04	n/a	kg
Butan [Luft/allgemein]	2,6E-03	1,3E-03	n/a	kg
Essigsäure [Luft/allgemein]	5,5E-04	2,7E-04	n/a	kg
Formaldehyd [Luft/allgemein]	3,7E-04	1,8E-04	n/a	kg
Kohlendioxid, fossil [Luft/allgemein]	2E+02	1,0E+02	n/a	kg
Kohlenmonoxid, fossil [Luft/allgemein]	7,7E-03	3,8E-03	n/a	kg
Lachgas [Luft/allgemein]	3,7E-04	1,8E-04	n/a	kg
Methan, fossil [Luft/allgemein]	7,3E-03	3,7E-03	n/a	kg
PAH, polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe [Luft/allgemein]	3,7E-05	1,8E-05	n/a	kg
Partikel, < 2.5 um [Luft/allgemein]	7,3E-04	3,7E-04	n/a	kg
Partikel, > 10 um [Luft/allgemein]	1,4E-03	1,4E-03	1,4E-03	kg
Pentan [Luft/allgemein]	4,4E-03	2,2E-03	n/a	kg
Propan [Luft/allgemein]	7,3E-04	3,7E-04	n/a	kg
Propionsäure [Luft/allgemein]	7,3E-05	3,7E-05	n/a	kg
Quecksilber [Luft/allgemein]	1,1E-07	5,5E-08	n/a	kg
Schwefeldioxid [Luft/allgemein]	2,0E-03	1,0E-03	n/a	kg
Stickoxide [Luft/allgemein]	6,5E-02	3,3E-02	n/a	kg
TCDD-Äquivalente, als 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin [Luft/allgemein]	1,1E-13	5,5E-14	n/a	kg
Toluol [Luft/allgemein]	7,3E-04	3,7E-04	n/a	kg

Bei den Abfällen handelt es sich entweder um recycelbare Stoffe, die entsprechenden Stoffkreisläufen rückgeführt werden, oder um Reststoffe, die anderen Produktionszweigen (z.B. Bauindustrie) zugeführt werden.

In beiden betrachteten Prozessen fällt Stahlschrott in unterschiedlicher Form an (Gießen: Reste Pfanne/Verteilerinne/Aufgabesystem; Gießen und Walzen: Verschnitt, Kopf- und Fußschrott). Die Beschaffenheit des Stahl-Schrotts bestimmt die spätere Verwendung und steht in starker Abhängigkeit zur jeweiligen Legierung. Im Falle von hochmanganhaltigen Stählen werden diese gesondert gesammelt und als Mn-Legierungsmittelträger für die

Herstellung von Güten mit erhöhtem Mn-Gehalt (bis 1,5 % Mn) eingesetzt. Der restliche Schrott wird dem Elektrolichtbogenofen zugeführt.

Der eisenhaltige Zunder aus dem BCT-Prozess hingegen wird in Salzgitter in der Sinteranlage verwertet und dient somit als Ausgangsstoff der primären Rohstahlerzeugung. Die Schlacke des Prozesses hingegen wird im Straßenbau weiterverwendet.

Das Abwasser des Prozesses „Steckelwalzen“ wird im betriebseigenen Klärwerk geklärt und dem Wasserkreislauf rückgeführt.

Hervorzuheben ist der geringe Wasserbedarf des BCT-Prozesses. Die aktuellen Produktionsmesswerte der BCT-Anlage (vgl. Tabelle 5) ergeben einen spezifischen Wasserbedarf von 0,028 m³/tProdukt. In Relation zum konventionellen Stranggussverfahren bedeutet dies eine Reduzierung des Wasserbedarfs um mehr als 90 %. Über die Herstellroute BCT-Anlage in Kombination mit dem Steckelwalzen bzw. Inlinewalzen hinweg können dadurch rund 40 % des konventionellen Wasserbedarfs eingespart werden.

3.4 Umweltbilanz, Lebenzyklusbetrachtungen

Die Begleitung und ressourceneffiziente Bewertung des Projektes erfolgte in Zusammenarbeit zwischen der Salzgitter Mannesmann Forschung GmbH (SZMF) und dem Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH (IFEU). Mit ihrer langjährigen Erfahrungen und der Erstellung bundesweiter Ökobilanz-Studien zeichnet sich das IFEU als kompetenter und transparenter Projektpartner auf diesem Gebiet aus.

Das Ergebnis dieser Zusammenarbeit ist die komplexe Modellierung aller Wertschöpfungsschritte der Stahlherstellung (Primär- und Sekundärroute) mit Hilfe der LCA-Software Umberto® 5.6 der ifu Hamburg GmbH. Umberto® ist ein professionelles Werkzeug für computergestützte Stoff- und Energiestromanalysen mit integrierter Kostenrechnung, Ökobilanzen und Carbon Footprinting.

3.4.1 Modellierung und betrachtete Szenarien

Nachfolgend werden sowohl das im Rahmen des BMBF-Projektes „Ressourceneffizienz mit dem Bandgießverfahren“ weiterentwickelte Stahlwerksmodell als auch die betrachteten Werkstoffszenarien mit den Ergebnissen näher betrachtet.

Wie eingangs erläutert, erfolgt die ökologische Bewertung der Herstellung des HSD®-Stahls unter Anwendung des Bandgießverfahrens im sognannten Stahlwerksmodell in der LCA-Software Umberto 5.6. Das komplexe Stahlwerksmodell umfasst alle relevanten Wertschöpfungsprozesse und vor- und nachgelagerten Prozesse der eingesetzten Rohstoffe, Hilfs- und Betriebsmittel. Als Orientierung und Primärdatengrundlage der primären und sekundären Stahlherstellung dienen sowohl das integrierte Hüttenwerk in Salzgitter als auch das Elektrostahlwerk in Peine. Dazu werden Produktionsdaten aus dem Jahr 2012, welches von den betrieblichen Daten her als repräsentativ gilt, hinzugezogen. Gerade für die Datenbasis der vor- und nachgelagerten Rohstoff- bzw. Abfallbeseitigungsketten sind Zulieferer und Entsorgungsunternehmen mit eingebunden worden, um die verwendeten Prozessdatensätze der LCA-Datenbank EcoInvent® 2.2 den realen und lokalen Bedingungen anzupassen. Eine Validierung des Modells hinsichtlich der CO_2-Emissionen ist über die betriebliche Kohlenstoffbilanzierung aller emissionshandelspflichtigen Anlagen der Hütte in Salzgitter im Jahr 2012 erfolgt.

Als Ergebnis liefert das Stahlwerksmodell die Erstellung von Sachbilanzen (engl. LCI – Life Cycle Inventory) aller Zwischen- und Endprodukte von der Roheisenherstellung bis hin zur Oberflächenbehandlung, wie z.B. der Feuerverzinkung und der Bandbeschichtung von Feinblech. Möglich ist dies durch den modularen Aufbau des Modells. Über eine angepasste Methodik der Wirkungsabschätzung (engl. LCIA – Life Cycle Impact Assessment) erfolgt im Anschluss die ökologische Produktbewertung mittels verschiedener Wirkungskategorien, vornehmend der Kategorien Treibhausgaspotenzial (engl. GWP – Global Warming Potential) und kumulierter Primärenergieaufwand (KEA) als wesentliche Kenngrößen für die Ressourceneffizienz.

HSD®-Szenarien

Anhand von drei HSD®-Szenarien für unbeschichtetes Feinblech, die sich vorrangig durch den unterschiedlichen Entwicklungsstand der Prozesse Bandgießen und Walzen unterscheiden, werden die Umweltwirkungen und Ressourceneffizienzpotenziale des HSD®-Stahls mit dem Stahlwerksmodell berechnet. In der Abbildung 42 sind die Annahmen und die Herstellungswege auf Basis von realen Produktionsdaten und realistischen Einschätzungen von Experten dargestellt. Daneben zeigt Abbildung 42 das gewählte Referenzszenario für konventionell erzeugten Stahl (hochfester Stahl), dessen Bilanzierung ebenfalls mit dem Stahlwerksmodell erfolgte.

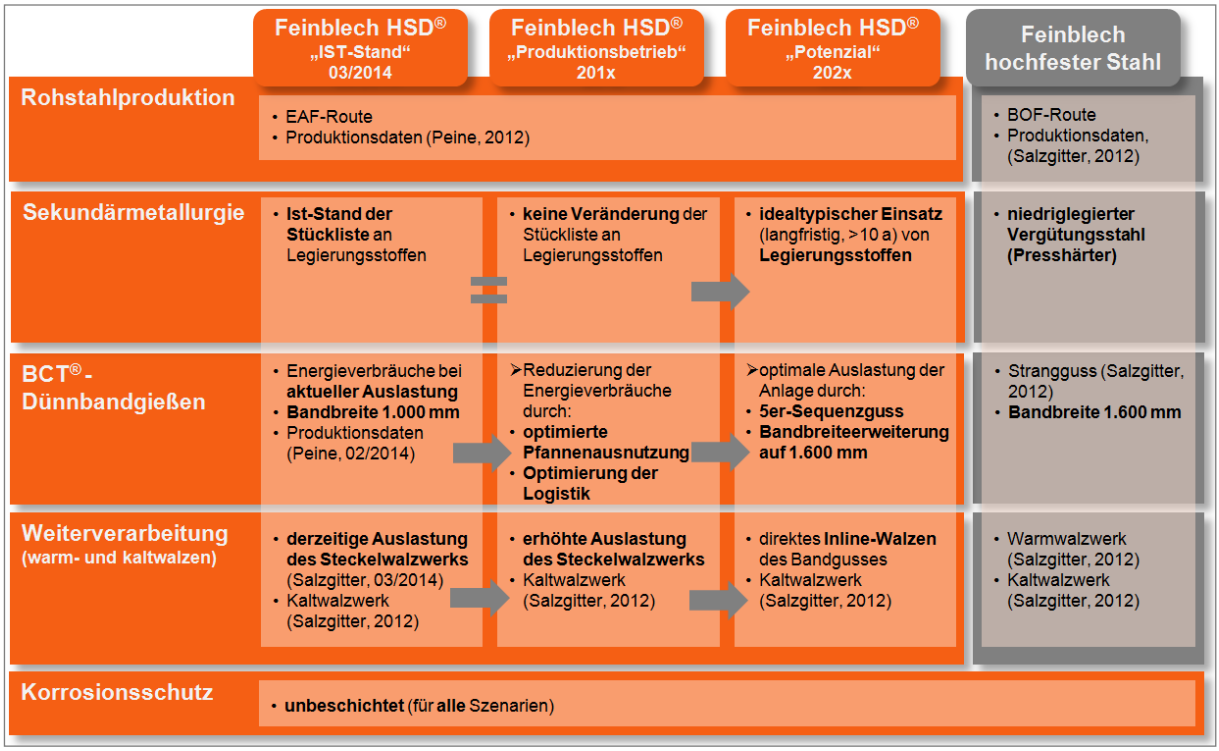

Abbildung 42: Übersicht der Szenarien zur Stahlherstellung (inkl. Aktualität des Datenstandes)

Das erste Szenario ***Feinblech HSD® „Ist-Stand“* verwendet als** Datengrundlage den Stand des Projekts im März 2014. Das Szenario basiert auf geringen Langzeiterfahrungen, die anfänglich noch ineffiziente Prozesseinbindung der BCT®-Anlage in die Produktionsstruktur in Peine und die derzeitig geringe Anlagenauslastung der Verarbeitungsschritte Gießen und Walzen. Dadurch resultieren zurzeit erhöhte energetische Verbräuche und Stahlverluste in Höhe von rund 17 % über die beiden Prozesse Gießen und Walzen. Die Stahlverluste beim Gießen resultieren aus Restbären in der Verteilerrinne und im Aufgabesystem sowie im

Kopf- und Fußschrott des Gusses. Durch das Schneiden der Tafeln und dem Warmwalzprozess von vergleichsweise kurzen Bändern fällt entsprechend der Kopf- und Fußschrott nach dem Walzen an jeder einzelnen Tafel an.

Das Folgeszenario ***Feinblech HSD® „Produktionsbetrieb“*** bildet die fortwährende interne Logistik- bzw. Produktionsoptimierung der nächsten ein bis drei Jahre (Stand 201x) ab. Das Szenario sieht dabei von weiteren Neuinvestitionen ab und stellt damit den realistischen Stand zum Markteintritt des HSD®-Stahls dar. Die Optimierung basiert größtenteils auf den ersten Erfahrungen mit der BCT®-Demonstrationsanlage im Industriemaßstab in Peine und dem Steckelwalzwerk in Salzgitter. Die Abbildung 43 zeigt die Auswirkung der Optimierung des elektrischen Verbrauchs der BCT-Anlage (Bsp.: Übergang von „Start Gussvorbereitung“ aus dem Ist-Stand zu „Start Gussvorbereitung Produktionsbetrieb“). Durch die Optimierung der Logistik zwischen den einzelnen Prozessschritten wird unter anderem die Verringerung von Wartezeiten bei der Gießvorbereitung erreicht. Darüber hinaus erfolgt eine Steigerung der Anlagenauslastung, wodurch der spezifische elektrische Energieverbrauch um mehr als 20 Prozent auf ca. 22 kWh_{el} je Tonne HSD®-Stahl (vgl. Abbildung 44) gesenkt wird. Darüber hinaus wird von einer Reduzierung des spezifischen Erdgasverbrauchs um 25 % auf ca. 30 kWh_{th} je Tonne Produkt ausgegangen (vgl. Kapitel 3.1). Die angesprochene Anlagenauslastung wird größtenteils durch eine erhöhte Auslastung der Pfanne beim BCT-Prozess erreicht, wie es z.B. Gussversuch Nr. 60 (vgl. Tabelle 1) bereits angedeutet hat. Durch die erhöhte Auslastung der Pfannenkapazität kann beim BCT-Prozess der relative Stahlverlust auf rund 8 % reduziert werden.

Im Bereich der Sekundärmetallurgie werden keine Veränderungen berücksichtigt, da diese sich voraussichtlich auf Feinabstimmungen beschränken werden.

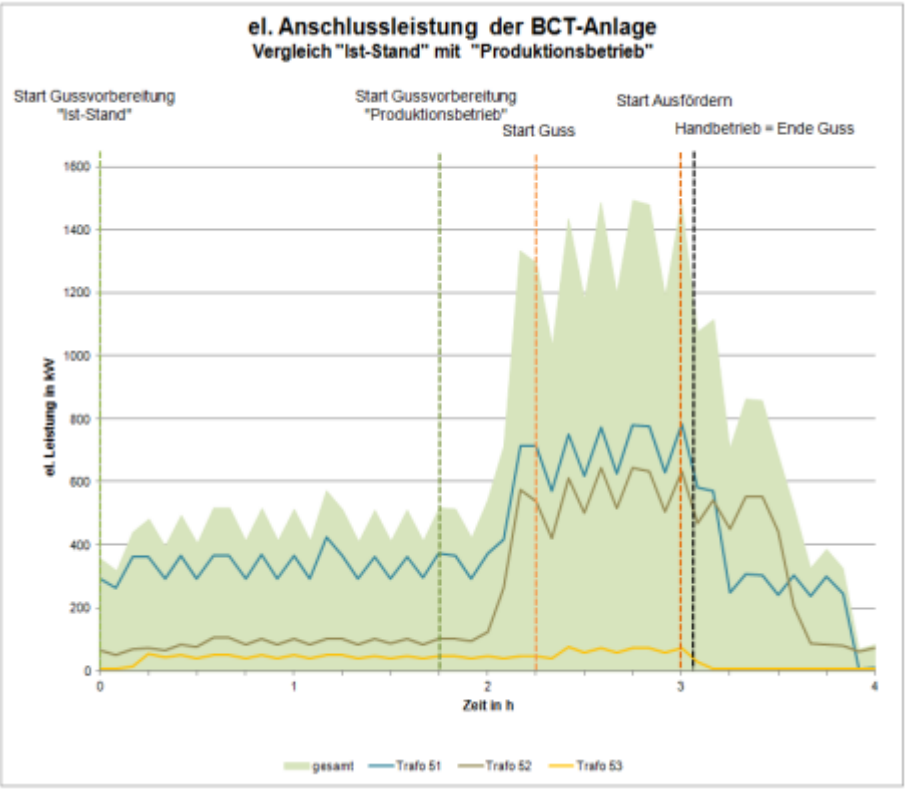

Abbildung 43: Elektrische Anschlussleistung der BCT®-Anlage beim Guss beim Szenario „Ist-Stand“

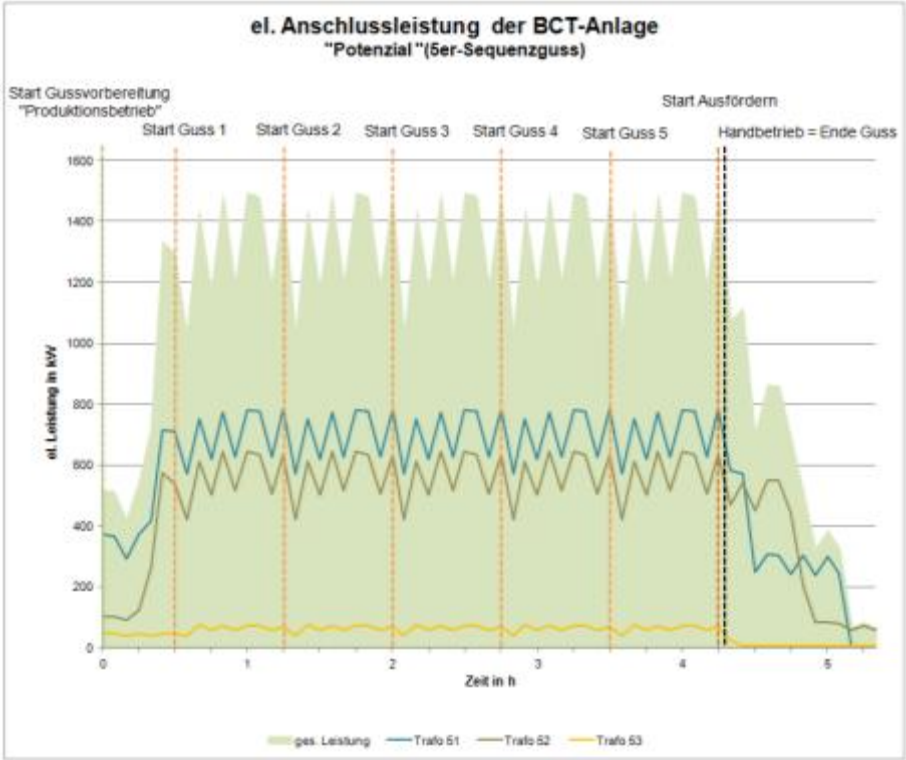

Abbildung 44: Elektrische Anschlussleistung der BCT®-Anlage beim Szenario „Potenzial“ (5er-Sequenzguss)

Im langfristigen Zukunftsszenario ***Feinblech HSD® „Potenzial“*** ergeben sich Optimierungen vor allem durch größere Neuinvestitionen, die einen möglichen Anlagenstand in mehr als zehn Jahren abbilden (Stand 202x). Hierunter fällt sowohl die Überführung der BCT®-Anlage in den industriellen Großmaßstab als auch der Bau des direktanschließenden Inline-Walzwerks. Auf der einen Seite kann durch die Vergrößerung der Bandbreite von 1.000 auf 1.600 mm und die Einführung des 5er-Sequenzgusses (fünf Stahlpfannen in Folge ohne erneute Gussvorbereitungsphase sowie geringere Ausbringungsverluste, da nur einmal die Reste in der Verteilerrinne sowie einmal Kopf- und Fußschrotte anfallen) die HSD®-Ausbringung gesteigert werden, wie in Abbildung 44 zu sehen ist. Die Annahme von einer Sequenz von fünf Pfannen entspricht einem konservativen Ansatz, da die Standzeiten von Transportband und Gießdüse wahrscheinlich geringer sein werden als von Verteilerrinne und Tauchausgüssen beim konventionellen Stranggießen, bei dem Sequenzen von 20 Pfannen möglich sind. Unter der Annahme konstanter absoluter Energieverbräuche und erhöhter Ausbringung durch die Vergrößerung der Bandbreite können die spezifischen Energieverbräuche je Tonne Produkt gesenkt werden. Dadurch und durch den Sequenzguss werden im Vergleich zum Szenario „Produktionsbetrieb“ der spezifische elektrische Verbrauch um weitere 35 Prozent auf 14 kWh_{el} je Tonne HSD®-Stahl sowie der spezifische Gasverbrauch um ca. 80 % gegenüber dem Ist-Stand verringert. Gleichzeitig werden durch das Inline-Walzen und damit durch den Wegfall der Wiedererwärmungsöfen die Energieverbräuche in der Weiterverarbeitung sowie die Stahlverluste (nur noch ca. 2 % über die Prozesse Gießen und Walzen) entscheidend reduziert.

Für die anschließende ökobilanzielle Interpretation der Ergebnisse aus den HSD®-Szenarien wird ein konkurrierender Referenzwerkstoff hinzugezogen. Beim Referenzszenario ***Feinblech hochfester Stahl*** (vgl. Abbildung 42) handelt es sich um einen hochfesten,

borlegierten Vergütungsstahl bzw. presshärtbaren Stahl in kaltgewalzter Ausführung, der aktuell aufgrund seines Leichtbaupotenzials verstärkt in Automobilen eingesetzt wird. Aufgrund der besonders guten Umformbarkeit im weichen Lieferzustand und der hohen Festigkeit nach der Wärmebehandlung (Härten) ist der presshärtbare Stahl ein Konkurrenzwerkstoff bezüglich der typischen HSD®-Anwendungsfälle. Mit dem Härten als zusätzlichen Prozessschritt weist der presshärtbare Stahl einen erhöhten kumulierten Energieaufwand in der Fertigung gegenüber dem HSD®-Stahl auf. Beim anwendungsbezogenen Vergleich mit HSD®-Stahl wurden die Energie bzw. die Emissionen für den Warmumform-Prozessschritt beim presshärtbaren Stahl, der bei ca. 900°C abläuft, nicht mit berücksichtigt.

Für den ökobilanziellen Vergleich der Lebenswege beider Stahlsorten ist zu berücksichtigen, dass der Referenzwerkstoff über die Hochofenroute erzeugt wird. Dieser Herstellungsweg hat sich für hochwertige Stahlprodukte über Jahrzehnte etabliert. Aus diesem Grund kommt fast ausschließlich das Hochofenverfahren für den Referenzwerkstoff zum Einsatz.

3.4.2 Ressourceneffizienzpotenzial des Bandgießverfahrens (BCT®)

Zur Bestimmung des Ressourceneffizienzpotenzial des Bandgießverfahren erfolgte im Rahmen dieses Projektes ein Technologievergleich des DSC-Verfahrens (Direct Strip Casting, BCT®-Verfahren) zum konventionellen CSC-Verfahren (Continuous Slab Casting). Dabei wurden neben den unterschiedlichen Gießverfahren die zugehörigen Warmwalzprozesse bei der Berechnung des kumulierten Energieaufwands berücksichtigt.

Im Falle des CSC-Verfahrens wird im Anschluss ein Warmwalzwerk durchlaufen. Beim DSC-Verfahren findet die Weiterverarbeitung hingegen im Steckelwalzwerk (vgl. Szenario „Produktionsbetrieb“) bzw. durch direktes Inline-Walzen (vgl. Szenario „Potenzial“, siehe Abbildung 45) statt. Dazu wurden, soweit verfügbar, Daten aus dem Produktionsbetrieb der BCT-Anlage und des Steckelwalzwerks verwendet. Die Angaben zum Inlinewalzen wurden auf der Basis vorhandener Anlagendaten abgeschätzt. Da mit dieser Betrachtung der Fokus auf dem Produktionsbetrieb der unterschiedlichen Technologien liegt, wurden die drei Verfahren (CSC, DSC-Produktion, DSC-Potenzial) von den verlustbedingten primärenergetischen Aufwendungen der davorliegenden Herstellungsprozesse bereinigt. Bei den Verfahren wurden in der ökobilanziellen Bewertung folgende Eingangsstoffe und Energieträger inkl. der Vorketten berücksichtigt:

CSC: Erdgas, elektrische Energie, Wasser und Gießmittel

DSC: Erdgas, elektrische Energie, Gießpulver, Abdeckmittel, Wasser, Argon-Wasserstoffgemisch, Kohlendioxid, Druckluft

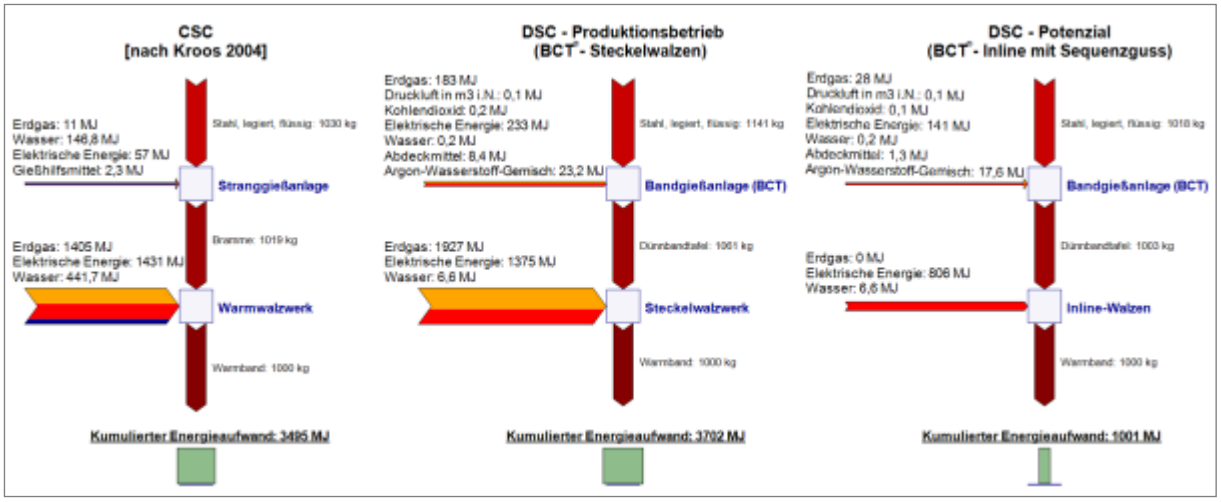

Abbildung 45: Der kumulierte Energieaufwand des DSC-Verfahrens für den Steckel- bzw. Inline-Walzbetrieb (Mitte und rechts) im Vergleich zum konventionellen CSC-Verfahren mit Warmwalzwerk (links)

Folgende Primärenergieaufwände wurden gemäß Abbildung 45 für das konventionelle Stranggießverfahren für das Referenzprodukt 2 mm dickes Warmband im Vergleich zum Bandgießverfahren mit anschließendem Steckel- bzw. Inline-Walzbetrieb ermittelt:

- Stranggießen und Warmwalzen:
  - 3.495 MJ pro t Warmband [Kroos 2004]
- Bandgießen (BCT®) und Steckelwalzen (Szenario „Produktionsbetrieb“):
  - 3.702 MJ pro t Warmband
- Bandgießen (BCT®) und Inline-Walzen (Szenario „Potenzial“):
  - 1001 MJ pro t Warmband

Diese Ergebnisse zeigen zum einen die Konkurrenzfähigkeit des DSC-Verfahrens zum Zeit des Produktionsbetriebes und zum anderen das prozessübergreifende primärenergetische Einsparpotenzial des BCT-Verfahrens in Verbindung mit dem Inline-Walzen. Es ist deutlich zu erkennen, dass durch das Wegfallen der Wiedererwärmungsöfen ein Einsparpotenzial von über 70 % im Vergleich zum konventionellen CSC-Prozess besteht.

Darüber hinaus führt der Einsatz des DSC-Verfahrens zu einer Reduzierung des Wasserverbrauchs. An Stelle des Wasserverbrauches von insgesamt 1,6 m³ Wasser je Tonne Warmband in der konventionellen Herstellung benötigt das DSC-Verfahren mit rund 1,2 m³ etwa 25 % weniger Wasser. Hervorzuheben ist dabei der geschlossene Wasserkreislauf der BCT-Anlage, wodurch hier ein Bedarf von lediglich 0,03 m³/t entsteht. Demgegenüber steht der Prozess des Stranggießens mit einem spezifischen Wasserbedarf von etwa 0,5 m³/t.

3.4.3 Ergebnisse der HSD®-Szenarien und Referenzfall

Das Ergebnis der ökobilanziellen Betrachtung der Szenarien zur HSD®-Herstellung aus dem Stahlwerksmodell erfolgt über die Berechnung des Treibhausgaspotenzials (GWP) in Abbildung 46 und des kumulierten Primärenergieaufwands (KEA) in Abbildung 47.

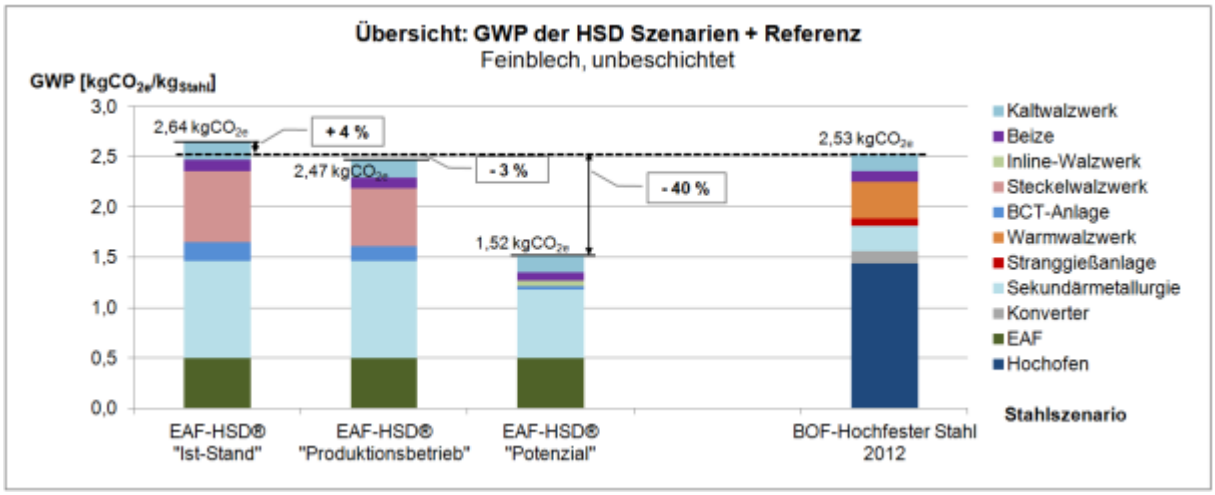

Abbildung 46:Übersicht der GWP-Ergebnisse aus dem Stahlwerksmodell

Wie die GWP-Auswertung in Abbildung 46 zeigt, erreicht der HSD®-Stahl in den ersten beiden Szenarien mit der sekundären Herstellungsroute über den Elektrolichtbogenofen ein ähnliches Treibhausgaspotenzial (GWP) wie der Referenzwerkstoff mit rund 2,5 kg CO_2–Äq je kg Stahl.

Das Szenario „Ist-Stand“ schneidet noch leicht ungünstiger als der Referenzwerkstoff ab. Beim kurz- bis mittelfristig erreichbaren Stand des „Produktionsbetriebs“ werden jedoch weniger CO_2–Äq-Emissionen in der Herstellungsphase emittiert als im Referenzszenario. Zwar profitiert der HSD®-Stahl von den geringen Emissionen in der Rohstahlherstellung der Sekundärroute, jedoch sind es vor allem die Manganträger, welche das GWP-Gesamtergebnis stark prägen. Aufgrund des aufwendigen Gewinnungsprozesses der Manganträger weist der Herstellungsschritt der Sekundärmetallurgie nicht nur das höchste Treibhausgaspotenzial innerhalb des Gesamtprozesses zur Herstellung von HSD-Stahl auf, sondern ist in den ersten beiden HSD®-Szenarien auch um ein Vielfaches höher als im Referenzfall. Durch die derzeit noch vergleichsweise hohen Stahlverluste in dem Bandgießverfahren werden die erhöhten GWP-Ergebnisse dieses Prozessschrittes vornehmlich von den verlustbedingten Emissionen (vgl. geringe Materialeffizienz, Abbildung 45) beherrscht (Multiplikatoreffekt). Beim anschließenden Steckelwalzen beruhen die höheren GWP-Belastungen auf den hohen energiebedingten Emissionen im Anlagenbetrieb und weniger auf den ebenfalls erhöhten Stahlverlusten im Vergleich zum großtechnischen Warmwalzwerk.

Erst mit der Überführung der BCT-Anlage in den industriellen Großmaßstab, der Optimierung der Stückliste der Legierungsstoffe und der durchgehend optimierten Herstellungslogistik und –auslastung kann das vollständige Potenzial zur Reduzierung der Treibhausgase erschlossen werden. Die Betrachtung der Ergebnisse des Szenarios „Potenzial“ zeigt, dass in Zukunft mittels dieser Prozessroute ein CO_2–Äq-Einsparungspotenzial von 40 % für die Herstellung des HSD®-Stahls im Vergleich zum presshärtbaren Stahl zu erwarten ist. Dieses Einsparpotenzial ist als großtechnisch realistische Vergleichsbasis zu dem über Jahrzehnte effizienzoptimierten (v.a. hinsichtlich der Stahlverluste) Referenzfall zu sehen.

Bei der Betrachtung der Ergebnisse für den kumulierten Primärenergieaufwand der insgesamt vier Stahlszenarien ergibt sich ein leicht verändertes Bild. In der Abbildung 47 prägen vor allem die eingesetzten Manganträger, welche mit ihren Vorketten besonders primärenergetisch aufwendig sind, nochmals deutlicher das Ergebnis. Durch den zuvor

erläuterten Multiplikatoreffekt aufgrund der erhöhten, relativen Stahlverluste in den Prozessen Bandgießen und Steckelwalzen kommt es zu einer weiteren, gesamtbilanziellen Erhöhung des kumulierten Primärenergieaufwands je Kilogramm HSD®-Feinblech.

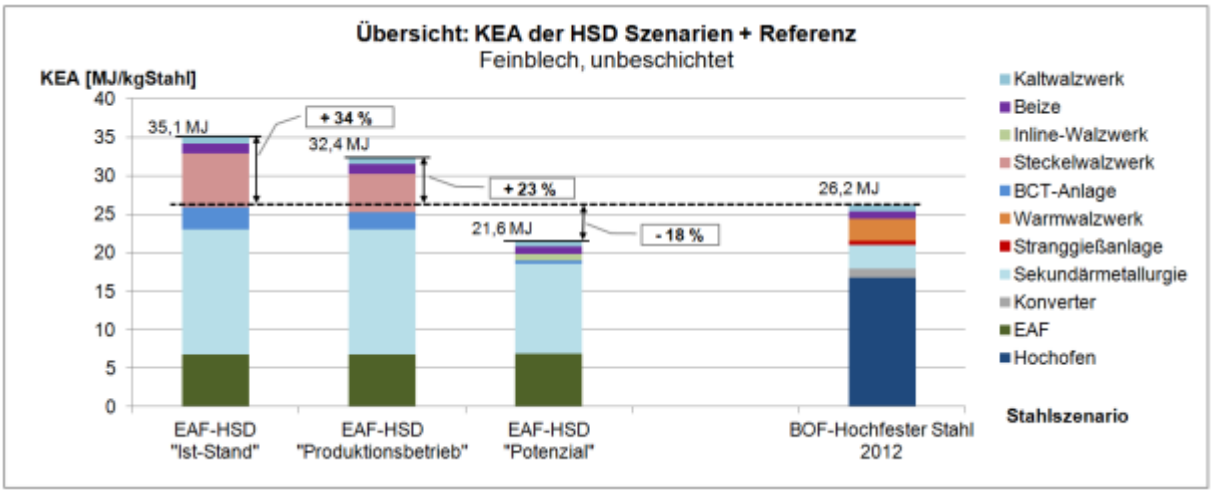

Abbildung 47: Übersicht der KEA-Ergebnisse aus dem Stahlwerksmodell

Immerhin ist es möglich, zum Zeitpunkt des Produktionsbetriebs den zum heutigen Stand um über 30 % erhöhten KEA-Wert im Vergleich zum Referenzszenario auf eine Erhöhung von rund 20 % zu reduzieren. Für die großtechnisch realistische Vergleichsebene „Potenzial“ ergibt sich eine Energieeinsparung.

An dieser Stelle gilt es zu berücksichtigen, dass das Bandgießen mit dem anschließenden Steckelwalzen mit dem Stand der Technik verglichen wird. Die Prozesse des Stranggießens und im Warmwalzwerk werden seit über 30 Jahren im industriellen Großmaßstab eingesetzt und wurden bereits stark optimiert. Im Gegensatz zur betrachteten HSD®-Route mit einer anfänglich zu erwartenden Produktion von wenigen Tausend Jahrestonnen befindet sich der Stahldurchsatz auf der konventionellen Route im einstelligen Millionenbereich bei größeren Anlagen. Entsprechend gering sind daher die Stahlverluste dieser Route, was zurzeit noch zu erhöhten primärenergetischen Aufwänden bei der HSD®-Stahlherstellung führt.

Ebenso wie in der GWP-Betrachtung wird das volle Potenzial erst in Kombination mit der Technologie des Inline-Walzens erreicht. Im Zusammenspiel mit der ausgereiften Bandgießtechnik zeigt der HSD®-Stahl in der Wirkungskategorie des kumulierten Primärenergieaufwands ein relatives Primärenergieeinsparpotenzial von bis zu 20 % im HSD®-Szenario „Potenzial“ auf.

3.4.4 Ökologische Auswirkungen des HSD®-Stahls in der Nutzungsphase

Zur Beurteilung der gesamten realisierbaren Ressourceneinsparungen sowie der Umweltwirkungen ist es erforderlich, zusätzlich zum Stahlherstellungsprozess die Aspekte der Nutzung von Stahlprodukten sowie deren Entsorgung in die Betrachtung mit einzubeziehen. Entsprechend wurden die aus dem BMBF-Vorhaben gewonnenen Erkenntnisse zur Weiterverarbeitung und Anwendbarkeit des HSD®-Stahls genutzt, um Anwendungsbeispiele abzuleiten, für die eine ökologische Betrachtung des gesamten Lebenswegs durchgeführt wurde.

Anwendungsbeispiele und Berechnungsmodell

Die Anwendungsbeispiele beziehen sich auf den Automobilbau als potenziell wichtigem Markt für HSD®-Stähle. Die Beurteilung der Umwelt- und Ressourcenauswirkungen durch den Einsatz von HSD®-Stahl wurde mit Hilfe eines ebenfalls mit der Software Umberto® am IFEU entwickelten Fahrzeugmodells vorgenommen. Dieses Modell erlaubt die detaillierte Analyse von Umwelt- und Ressourcenschutzaspekten über den Gesamtlebensweg eines Fahrzeugs.

Für die vergleichende Betrachtung eines **Gesamtfahrzeuges** wurde von einem aktuellen durchschnittlichen Kompaktwagen (Kompaktwagen-Typ I) ausgegangen. Das Substitutionspotenzial durch HSD®-Stahl und die dadurch erzielbaren Gewichtsreduktionspotenziale wurden durch Einschätzungen von Fachexperten ermittelt. Über diesen Vergleich hinaus wurde zudem das mögliche Substitutionspotenzial und die damit einhergehende Gewichtsreduktion für den gleichen Kompaktwagen-Typ mit hohem Leichtbau-Entwicklungsstand untersucht (Kompaktwagen-Typ II).

Als **Bauteile** wurden die Beispiele Türaufprallträger und Crashboxen gewählt. Für Crashboxen konnten konkrete Versuche zur Umformung und Verschweißung durchgeführt werden. Die Gewichtsreduktionspotenziale für die Bauteile wurden mittels einer FEM-Simulation ermittelt.

Tabelle 7: Substitutions- und Gewichtsreduktionspotenziale der Anwendungsbeispiele

Anwendungsbeispiel	**Referenz**	**Vergleich**	**Reduktion Stahlmasse**	**Absolute Reduktion**
Kompaktwagen-Typ I	862 kg HSS Stahl	535 kg HSS 273 kg HSD®-Stahl	6,25%	54 kg Stahl
Kompaktwagen-Typ II	785 kg HSS Stahl	636 kg HSS 124 kg HSD®-Stahl	3,1%	25 kg Stahl
Türaufprallträger (2 Stück)	2,7 kg HSS Stahl	2,24 kg HSD®-Stahl	16,9%	0,46 kg Stahl
Crashboxen (4 Stück)	3,88 kg HSS Stahl	3,16 kg HSD®-Stahl	18,6%	0,72 kg Stahl

HSS: High Strength Steel (hochfester Stahl)

Die Herstellung der Bauteile bzw. Fahrzeugbestandteile aus Stahl ist mit Verlusten durch Verschnitt verbunden. Die Materialausnutzung ist bei den beiden betrachteten Bauteilen aufgrund der Form und Verarbeitbarkeit höher als bei anderen Fahrzeugkomponenten aus Stahl. Als Verluste durch Verschnitt wurden für die Bauteile Türaufprallträger und Crashboxen 16,3% ermittelt. Für den Bauteilmix im Gesamtfahrzeug wird durchschnittlich von einem Verschnitt von 40% ausgegangen.

In allen betrachteten Anwendungsfällen findet ein Vergleich des Referenzwerkstoffs („BOF-hochfester Stahl 2012“) mit den HSD®-Szenarien „Produktionsbetrieb“ und „Potenzial“ statt. Durch die Verwendung dieser beiden Vergleichsszenarien wird nicht nur der Stand zur Markteinführung, sondern auch das mittel- bis langfristige Entwicklungspotenzial von HSD®-Stahl aufgezeigt.

Das Fahrzeugmodell des IFEU betrachtet die Umwelt- und Ressourcenauswirkungen eines Fahrzeugs über seine Gesamtlebensdauer. Funktionelle Einheit der vergleichenden Betrachtung ist die Dienstleistung „über die Lebensdauer gefahrene Kilometer“. In Deutschland wird ein Pkw im Durchschnitt über 15 Jahre mit einer mittleren Jahresfahrleistung von 10.000 km genutzt. Damit ergibt sich die funktionelle Einheit zu 150.000 vkm („vehicle kilometer“). Der im Modell abgebildete Gesamtlebensweg umfasst die Fahrzeugherstellung, die Nutzungsphase und die Entsorgung des Fahrzeugs. Dabei ist die Fahrzeugherstellung differenziert in die Herstellung des Rumpffahrzeugs (Karosserie, Fahrwerk, Innenraum, etc.), des Motors und von Zusatzbauteilen, wobei sämtliche hierfür benötigten Materialien – neben Stahl auch weitere Metalle, Polymerwerkstoffe, Elektronik, etc. – im Modell abgebildet sind. Die in Tabelle 7 ausgewiesenen Referenzstahlgewichte bedingen etwa 60% des Gesamtgewichts beim Kompaktwagen-Typ I und etwa 57% beim Kompaktwagen-Typ II. Bezogen auf das Gesamtfahrzeug weisen die Szenarien entsprechend nur eine Gewichtsreduktion von 3,7% bzw. 1,8% auf.

Die Nutzungsphase umfasst neben den motorischen Auswirkungen auch Auswirkungen einer durchschnittlichen Kraftstoffbereitstellung (70% Ottokraftstoffe und 30% Dieselkraftstoffe, inkl. Biokraftstoffe) und der Wartung. Die Entsorgung berücksichtigt die Zerlegung und Aufbereitung der Bestandteile bis zu einem wiedernutzbaren Sekundärprodukt sowie die Beseitigung nicht weiter nutzbarer Reste. Der Nutzen aus den Sekundärprodukten ist nicht berücksichtigt. Stattdessen werden umgekehrt im System eingesetzte Sekundärmaterialien wie z.B. Stahlschrott zur HSD®-Stahlherstellung dem System ohne Vorlasten überlassen.

Die Ergebnisse der ökobilanziellen Betrachtung werden nachfolgend beispielhaft für das Gesamtfahrzeug „Kompaktwagen-Typ I“ und das Bauteil „Crashboxen“ gezeigt.

Ergebnisse

Für die Beurteilung der Vergleichsszenarien wurden die wesentlichen Umweltwirkungskategorien und Rohstoffindikatoren ausgewertet. Im Folgenden werden daraus beispielhaft die Ergebnisse für den Treibhauseffekt (Global Warming Potential, GWP) und für die Inanspruchnahme von Energierohstoffen, ausgedrückt über den kumulierten Energieaufwand (KEA gesamt) in MJ, grafisch gezeigt.

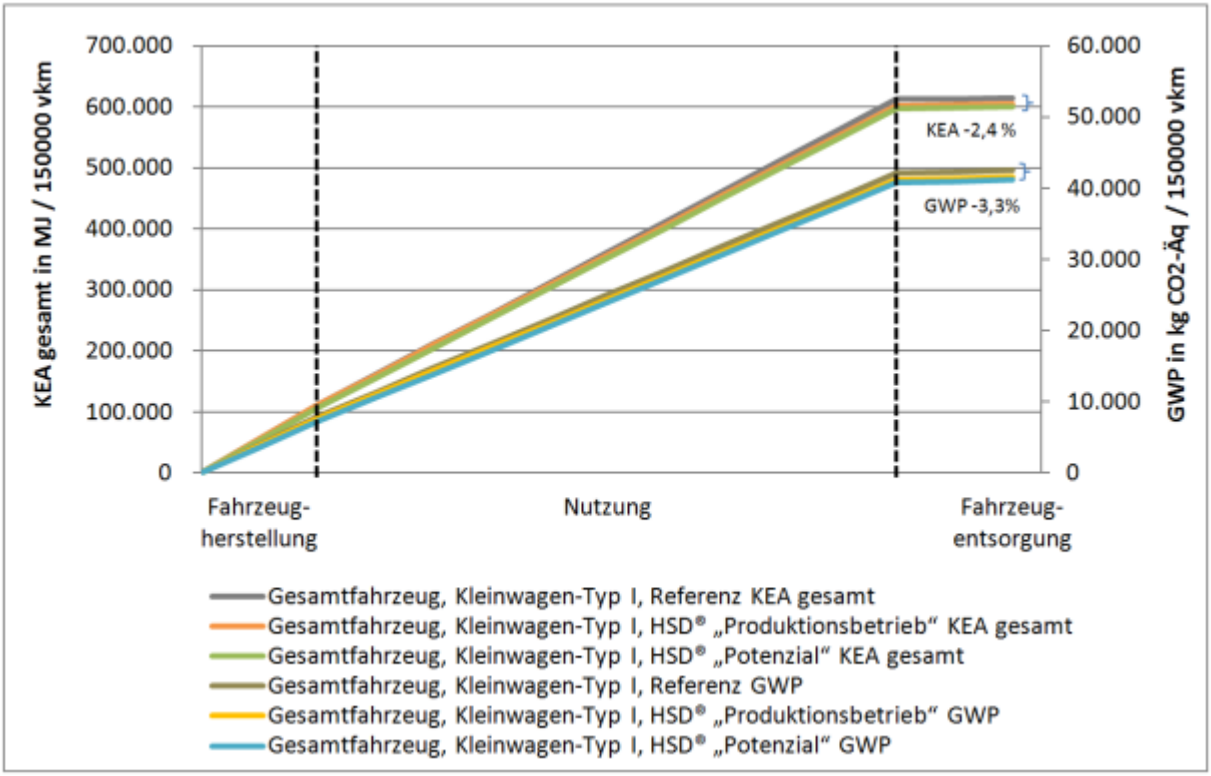

Abbildung 48: Treibhauseffekt (GWP) und kumulierter Energieaufwand (KEA) für das Anwendungsbeispiel Gesamtfahrzeug „Kompaktwagen-Typ I"

Abbildung 48 vermittelt den zeitlichen Eindruck der Ergebnisse über den Gesamtlebensweg des betrachteten Kompaktwagen-Typs I. Die Ergebnisse sind wesentlich durch die Nutzungsphase und die damit verbundenen Treibhausgasemissionen bzw. den damit verbundenen Kraftstoffverbrauch geprägt. Für das Szenario HSD®-Potenzial ergibt sich eine Einsparung von -3,3% beim Treibhauseffekt und -2,4% beim KEA gesamt. Diese vergleichsweise geringe Reduktion ist durch die analog vergleichsweise geringe Reduktion des Fahrzeuggesamtgewichts von 3,7% bedingt (s.o.).

Besser lässt sich das Einsparpotenzial durch den Einsatz von HSD®-Stahl anhand der absoluten Einsparungen (für 150.000 vkm) bzw. anhand daraus abgeleiteter spezifischer Einsparungen aufzeigen. Die Minderung aus Abbildung 48 entspricht absolut einer Minderung von 956 kg CO_2-Äq im Szenario HSD® „Produktionsbetrieb" und 1.387 kg CO_2-Äq im Szenario HSD® „Potenzial" sowie einer Energieeinsparung von 9.743 MJ bzw. 14.632 MJ. Werden diese Minderungen bzw. Einsparungen auf das durch den Einsatz von HSD®-Stahl verminderte Gewicht von rd. 54 kg bezogen ergeben sich die in Tabelle 8 gezeigten spezifischen Einsparungen pro „kg Stahl eingespart". Des Weiteren zeigt Tabelle 8 die spezifischen Reduktionen, die sich in Relation zur jeweils im Fahrzeug eingesetzten Menge an HSD®-Stahl ergeben (vgl. Tabelle 7). Diese Kraftstoffeinsparungen und verringerten CO_2-Emissionen sind in einem Gewichtsbereich für ein konventionelles Fahrzeug unabhängig von der eingesetzten Menge an HSD-Stahl, weil das Verhältnis von eingesetzter Menge HSD®-Stahl zu absolut eingespartem Gewicht bei beiden Kompaktwagen-Typen gleich ist.

Tabelle 8: Spezifische Einsparungen und Kenngrößen für das Anwendungsbeispiel Gesamtfahrzeug „Kompaktwagen-Typ I“

Einsparungen	**Einheit**	**Kompaktwagen-Typ I, HSD® „Produktionsbetrieb“**	**Kompaktwagen-Typ I HSD® „Potenzial“**
GWP spezifisch	kg CO_2-Äq/kg Stahl eingespart	17,75	25,77
	kg CO_2-Äq/kg HSD®-Stahl	3,3	4,8
KEA spezifisch	MJ/kg Stahl eingespart	181	272
	MJ/kg HSD®-Stahl	35,7	53,6
Einsparung Kraftstoff	l/(100km*100kg)	0,316	
verringerte CO_2-Emissionen aus Kraftstoffeinsparung	g/(km*100kg)	6,95	

In Tabelle 8 ist zudem die erzielte spezifische Kraftstoffeinsparung aufgeführt sowie die daraus resultierende CO_2-Einsparung aus der Nutzungsphase. Diese gelten für den im Variantenvergleich zugrunde gelegten durchschnittlichen Kraftstoffmix (s.o.) . Die spezifische Kraftstoffeinsparung ist allein durch das verminderte Gewicht bestimmt und gilt gleichermaßen für die HSD®-Szenarien sowie das Vergleichsszenario „Kompaktwagen-Typ II“. Die resultierende spezifische CO_2-Einsparung der Nutzungsphase geht einher mit einem durchschnittlichen CO_2-Ausstoß in der Nutzungsphase von 2,2 kg CO_2/l.

Abbildung 49 zeigt das Ergebnis für den Treibhauseffekt für das Anwendungsbeispiel „Crashboxen“ (vgl. Tabelle 7). Für diese Auswertung musste das Fahrzeugmodell hinsichtlich der Nutzungsphase modifiziert werden. Dabei werden nur die CO_2-Emissionen berücksichtigt. Für die Anwendungsbeispiele für Bauteile wurden die Emissionen vereinfacht über das Gewichtsverhältnis Bauteil zu Gesamtfahrzeug skaliert [1] . Zudem ist der Kraftstoffverbrauch selbst nicht nur abhängig von der bewegten Masse, sondern auch vom zu überwindenden Luftwiderstand. Dieser Aspekt konnte für ein Bauteil nicht sinnvoll angepasst werden und wurde vereinfacht vernachlässigt. Aus diesen Gründen sind die Ergebnisse für die Bauteile nur eingeschränkt repräsentativ, können aber gut die Tendenz des Gewichtseinflusses aufzeigen.

[1] Im Anwendungsbeispiel Gesamtfahrzeug wurde dieser Aspekt aufgrund der relativ geringen Gewichtsunterschiede konservativ (d.h. „zu Ungunsten“ von HSD®-Stahl) vernachlässigt.

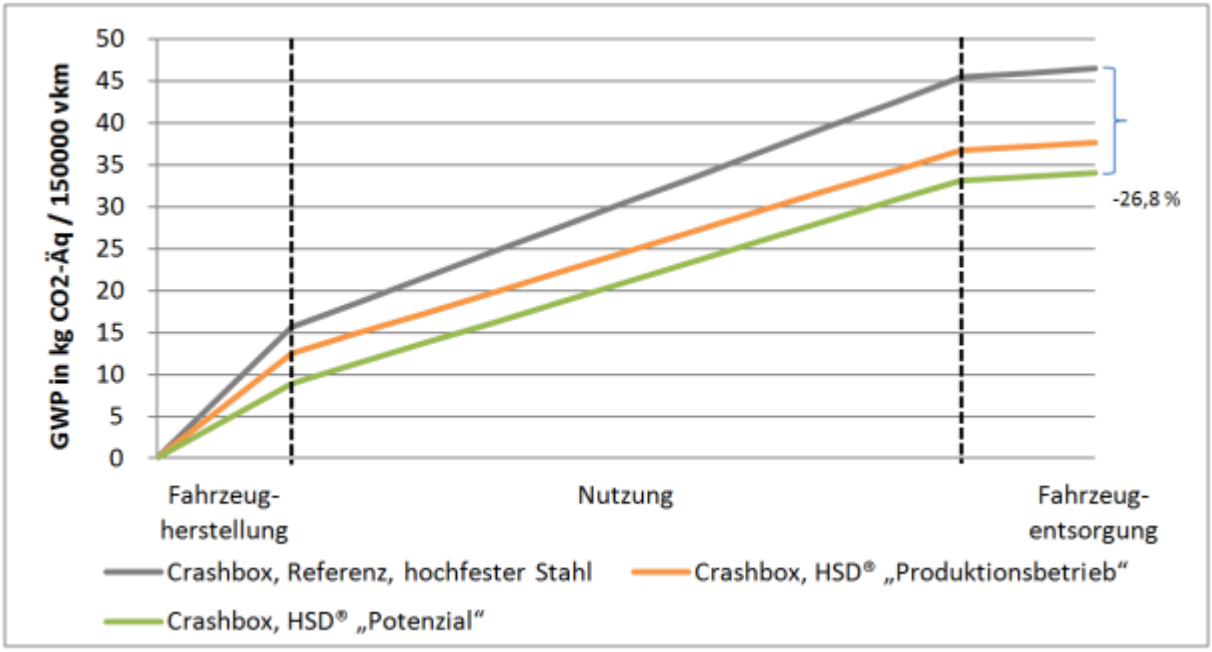

Abbildung 49: Treibhauseffekt (GWP) für das Anwendungsbeispiel „Crashboxen“

Durch das gegenüber dem Gesamtfahrzeug wesentlich geringe Gewicht der Crashboxen von knapp 4 kg und die höhere gesamte Gewichtseinsparung von 18,6% tritt der Einfluss der Stahlherstellung in Abbildung 49 deutlicher in den Vordergrund. Für das Szenario HSD® „Potenzial“ ergibt sich hier eine Einsparung von -26,8%. Für den hier aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht zusätzlich dargestellten KEA gesamt, ergibt sich eine analoge Einsparung von -21,3%. Für das Szenario HSD® „Produktionsbetrieb“ liegen die Einsparungen bei -19,1% für den Treibhauseffekt und bei -14,9% für den KEA gesamt.

3.4.5 Schlussfolgerung aus den Lebenszyklusbetrachtungen

Die Ergebnisse aus den beiden Umberto®-Modellen verdeutlichen nicht nur die ökologische Konkurrenzfähigkeit des HSD®-Stahls und des Bandgießens, sondern auch den signifikanten Nutzen in der Nutzungsphase. Im Vergleich mit der seit über 30 Jahren etablierten Technologie des Strangguss-Verfahrens ist dies ein wertvoller Beitrag die Nachhaltigkeit von Stahl auch langfristig zu gewährleisten.

Aus Sicht der Ressourceneffizienz konnte ein signifikantes Potenzial zur weiteren Umweltentlastung durch den HSD®-Stahl identifiziert werden. So können mit der Herstellung des HSD®-Stahls Treibhausgase um 40 % und der kumulierte Primärenergieaufwand um bis zu 20 % reduziert werden. Auf Basis der ökologischen Bewertung des HSD®-Stahl und der hier betrachteten Herstellungsroute lässt sich schlussfolgern, dass sowohl das Produkt als auch die Technologie bereits zum Zeitpunkt des Produktionsbetriebes marktfähig im Vergleich zu hochfesten Stahlprodukten aus der konventionellen Prozessroute sind. Ebenfalls hervorzuheben ist die signifikante Primärrohstoffschonung durch die Herstellungsroute des HSD®-Stahls über die schrottbasierte Elektrostahlroute. Darüber hinaus wird der Wasserverbrauch mit dem Einsatz des Bandgießverfahrens um mehr als 90 % gegenüber dem Strangguss reduziert. Betrachtet man den gesamten Herstellungsprozess, so spart die HSD®-Herstellung 40 % des konventionellen Wasserbedarfs ein.

Ferner ist explizit noch zu erwähnen, dass in allen Betrachtungen der zum Härten benötigte Wiedererwärmungsschritt in der Fertigung des presshärtbaren Stahls (Referenzwerkstoff) in den hier vorliegenden Anwendungsbeispielen nicht berücksichtigt wurde.

Mit dem Blick auf zukünftige Entwicklungsschwerpunkte gilt es aus Sicht der Ressourceneffizienz den Fokus auf die Themengebiete Upscaling und Inline-Walzen zu lenken (s. Abschnitt 4.2).

Weitere Lebenszyklusbetrachtungen wird der zum 30.09.2017 fällige endgültige Abschlussbericht beinhalten, der den bis dahin erreichten Stand der Demonstrationsanlage und der Marktdurchdringung des HSD®-Stahls berücksichtigen wird.

3.5 Wirtschaftlichkeitsanalyse

Bis zum Juni 2014 konnten diverse Coils aus Baustahl erzeugt werden. Die Prozessroute über die Bandgießanlage in Peine, den Transport nach Salzgitter sowie das Warmwalzen im Steckelwalzwerk erfordern das Schneiden von Tafeln und das anschließende Zusammenschweißen der ausgewalzten Bänder zu Coils. Da eine Vermarktung von Coils mit bis zu 15 Schweißnähten aufgrund der Lieferbarkeit von Coils ohne Schweißnähte (aus konventioneller Fertigung) schwierig ist, ist der Verkauf nur eingeschränkt gegeben.

Obwohl bereits einige Güsse von hochmanganhaltigen Stählen vorgenommen wurden, wurde bisher mit HSD®-Stahl noch kein zufriedenstellendes Walzergebnis (weiterverarbeitbares Warmband) erreicht. Demnach liegen auch keine praktischen Erfahrungen zur Vermarktung des Materials vor.

Da die HSD®-Stähle auf dem konventionellen Wege nicht erzeugbar sind, steht kein Alternativprodukt mit entsprechenden Mangan- und Aluminiumgehalten zur Verfügung. Als alternative Produkte gelten dann hochfeste Stähle nach aktuellem Stand der Technik. Die Vermarktungsfähigkeit des HSD®-Stahls ist demnach abhängig von den erreichbaren Leichtbauvorteilen des Werkstoffs in der Anwendung. Versuche an Prototypen, beispielsweise an Seitenaufprallträgern von Kraftfahrzeugen haben gezeigt, dass Gewichtseinsparungen von bis zu 25% bei verbesserten Crasheigenschaften erreichbar sind. Diese Ergebnisse lassen vermuten, dass im Falle der erfolgreichen Produktion des HSD®-Stahls ein ca. 1,5 bis 2-facher Preis im Vergleich zum hochfesten Stahl aus konventioneller Fertigung erzielbar sein könnte (Preisfindung über Mehrwert des Produktes).

Vor diesem Szenario wird die Wirtschaftlichkeit der BCT®-Anlage zur Herstellung hochmanganhaltiger Stähle maßgeblich von der Verbesserung der Ausbringung und Optimierung der Logistik dieser realisierten Demonstrationsanlage bestimmt. Vor diesem Hintergrund sei hier auf den folgenden Abschlussbericht zum September 2017 verwiesen, in den die Praxiserfahrungen mit der Vermarktung und Anwendung von HSD®-Stahl sowie eine aktuelle Wirtschaftlichkeitsbetrachtung eingearbeitet werden.

3.6 Technischer Vergleich zu konventionellem Verfahren

Untersuchungen an konventionellen Stählen, die auf der Laboranlage in Clausthal gegossen wurden, zeigen, dass der bandgegossene Stahl trotz der leicht unsymmetrischen Erstarrung grundsätzlich die gleichen mechanisch-technologischen Eigenschaften aufweist wie der über die konventionelle Route erzeugte Stahl.

Erste auf der BCT-Anlage erzeugte Warmbänder aus Baustahl wurden durchgehend (an jeder einzelnen Tafel) erprobt und bewertet. Die Schwankung der mechanisch-technologischen Eigenschaften einspricht der DIN für entsprechende Stahlgüten. Die technischen Eigenschaften der Coils erlauben somit eine Vermarktung, die jedoch aufgrund der vorhandenen Schweißnähte und der aufwändigen Herstellung in Einzelgüssen nicht wirtschaftlich sinnvoll ist.

4 Empfehlungen

4.1 Erfahrungen aus der Praxiseinführung

Nachhaltigkeit

Die erhöhte Sensibilität für das Thema Nachhaltigkeit prägt sich nicht nur in dem engeren Projektsinn aus. Beispielsweise wurde durch die Bewertung der Prozesskette die Nutzung von Elektrolytmangan auch bei der Herstellung von konventionellen Stählen im Peiner Stahlwerk eingestellt.

Weiterhin gab es beispielsweise Verbesserungsvorschläge von Mitarbeitern zur Reduzierung des Stromverbrauchs durch eine bessere Steuerbarkeit der Hallenbeleuchtung.

Förderung / Planung

Es konnte ein gutes Zusammenspiel zwischen den Fördermaßnahmen von BMBF und BMU erreicht werden. Das im Rahmen des BMBF-Projekts entwickelte LCA-Modell zur ökologischen Wirkungsabschätzung wurde für das BMU-Projekt verwendet.

Im Rahmen der Beantragung der Fördermittel wurde auf die vorliegenden technischen Risiken bei der Umsetzung des Projektes eingegangen. Bei Innovationsprojekten sind naturgemäß die Zeiträume für Inbetriebnahme und Hochlauf nicht einfach abzuschätzen. Konstruktive und verfahrenstechnische Fragestellungen konnten im Rahmen der Inbetriebnahme nacheinander kurzfristig bearbeitet und abgestellt werden. Erschwerend im Hochlauf ist die Tatsache, dass die unterschiedlichen Werkstoffe unterschiedliche Fragen zum Verfahren aufwerfen. Das erklärt auch, warum der Baustahl bereits zu Coils verarbeitet werden konnte, vom HSD®-Stahl jedoch noch kein weiterverarbeitbares Warmband gewalzt werden konnte.

Durch die Bindung an die Allgemeinen Nebenbestimmungen für Zuwendungen zur Projektförderung (AnBest-P) im Simme des §36 des Verwaltungsverfahrensgesetzes (VwVfG) mussten die Bauleistung über öffentliche Ausschreibungsverfahren vergeben werden. Obwohl im Unternehmen keine Erfahrungen mit dem Verfahren vorlagen, konnten (auch durch professionelle Unterstützung) positive Erfahrungen insbesondere im Bereich Tiefbau gesammelt werden. Basierend auf diesen Erfahrungen werden diverse Baumaßnahmen seit dem auch von nicht geförderten Projekten öffentlich ausgeschrieben.

4.2 Modellcharakter

Die Demonstrationsanlage im Industriemaßstab wurde von der SZFG zusammen mit dem Anlagenbauer SMS Siemag in Peine errichtet. Der Anlagenbauer verfolgt ein kommerzielles Interesse. Bei Erfolg dieses Anlagentyps wird dieser weiterentwickelt und weltweit vermarktet werden. Das Bandgießverfahren hat nach jetziger Einschätzung in Mitteleuropa das Potential, ergänzend zu den konventionellen Produktionseinrichtungen neue Hochleistungs-Sonderstähle zu erzeugen. Eine Ablösung konventioneller Gießverfahren ist abhängig von den wirtschaftlichen Randbedingungen langfristig vorstellbar. Günstigere Voraussetzungen bieten sicherlich kompakte Produktionseinheiten in Ländern, die eine regionale Stahlproduktion neu aufbauen. Der hohe Innovationsgrad zeigt sich auch an der Nominierung zum deutschen Innovationspreis des Bundespräsidenten 2014.

Das Projekt „Belt Casting Technology“ ist im gesamten Salzgitter-Konzern ein sogenanntes Leuchtturmprojekt. Der hohe Stellenwert dieses Projektes wird auch durch die laufende Berichterstattung in den Konzerninternen und -externen Artikeln verdeutlicht. Da zu dem jetzigen Zeitpunkt die Inbetriebnahme noch nicht abgeschlossen ist und der HSD®-Stahl noch nicht vermarktet werden kann, wird bisher eine defensive Veröffentlichungspolitik verfolgt. Insbesondere nach den ersten erfolgreichen Probelieferungen von HSD®-Stahl werden die Bemühungen wachsen, in Zeitschriften und auf Konferenzen aufzutreten. Die steigende Anzahl an Veröffentlichungen, insbesondere durch den Anlagenbauer SMS Siemag unterstreicht die beginnende Vermarktungsphase auch beim Anlagenbauer (vgl. Literatur [13]-[17]). Einige Besuche der Bandgießanlage durch interessierte (nationale und internationale) Stahlexperten haben bereits stattgefunden.

Der HSD®-Stahl ist das erste hochmanganhaltige Produkt, welches von der Salzgitter Mannesmann Forschung entwickelt wurde. Derzeit laufen einige weitere Projekte, die z.B. den Einsatz von größeren Mengen Aluminiums als Legierungselement prüfen und im Erfolgsfall zu neuen Produkten für die Bandgießanlage führen.

Vor einer endgültigen Industrialisierung der Bandgieß-Technologie sind in den folgenden Bereichen noch Entwicklungsanstrengungen notwendig:

Upscaling:

Wie die ökologischen Auswertungen der vorherigen Kapitel bestätigten, bestehen noch erhebliche Umweltentlastungspotenziale beim Upscaling der BCT®-Anlage hin zum industriellen Großmaßstab. Die Zielgröße beim Upscaling ist die Bandbreite von 1.600 mm. Darüber hinaus gilt es die Ausbringung der Anlage durch die Realisierung von Sequenzgüssen mehrerer Pfannen zu steigern, um positive Skaleneffekte zu nutzen.

Inline-Walzen:

Die Pilotanlage im industriellen Maßstab, wie sie am Standort Peine entstanden ist, eignet sich in Kombination mit dem Steckelwalzwerk in Salzgitter als Nachweis der technischen Machbarkeit des Verfahrens und der Realisierung des HSD®-Stahls. Die Umwelteffekte bleiben aufgrund der Trennung der Prozessschritte Gießen und Walzen und der damit verbundenen Wiedererwärmung der Vorbänder allerdings hinter den Möglichkeiten des Verfahrens zurück. Als Konsequenz gilt es, das Potenzial und die Vorteile, welches das Bandgießen mit der Herstellung des endproduktnahen Dünnbandes bietet, mit Hilfe des Inline-Walzens vollständig zu erschließen.

5 Literatur

[1] Schäperkötter, M.; Stehlin, M.; Wans, J.; Spitzer, K.-H.: Hochleistungsstahl am laufenden Band. Vortrag beim Fachpressetag „Fit statt fett in der Fertigung“ (EADS, Ottobrunn) zum Thema Leichtbau, 5. Juli 2007; siehe 3.3 HSD®-Stahl unter http://dlugosch.org/Leichtbau/tabid/62/Default.aspx.

[2] Kwon, O.; Kim, S.; Cho, J.; Kwak, W.; Kim, G.: Development of TWIP steel for automotive application, Posco, Korea, Proceedings 3rd International Steel Conference on New Developments in Metallurgical Process Technologies (METEC InSteelCon) (2007), 11 -15 June, Düsseldorf, S. 690-697.

[3] Gigacher, G.; Bernhard, C.; Krieger, W.: Eigenschaften hochmanganhaltiger Stähle unter stranggießähnlichen Bedingungen; BHM, 149. (2004), 3, pp. 112-117.

[4] Gigacher, G.; Pierer, R.; Wiener, J.; Bernhard C.: Metallurgical Aspects of casting high-Manganese steel grades, Montanuniversität Leoben, Österreich, Advanced Engineering Materials (2006), 8, No. 11, S. 1096-1100.[5] Schäperkötter, M.; Eichholz, H.; Kroos, J.; Niemeyer, M.; Schmidt-Jürgensen, R.; Spitzer, K.-H.: Direct Strip Casting (DSC) – an option for the production of HSD® steel grades. 1st international conference “super-high strength steels”, 02.-04.11.2005, Rom, Italien.

[6] Kroos, J.; Redeker, C.F.; Eichholz, H. et. al.: Energiesparende Herstellung von Leichtbaustählen nach dem DSC Verfahren ; BMWA Schlussbericht, Förderkennzeichen 0327289A; 2004.

[7] Schäperkötter, M.; Eichholz, H.; Otto, M.; John, D.; Spitzer, K.-H.; Stehlin, M.; Boßdorf-Zimmer, B.; Wans, J.; „Energieeinsparung, CO_2-Emissionsvermeidung und Ressourcenschonung bei der Herstellung und Anwendung von (hochfesten und duktilen) HSD®-Stählen“, BMBF-Schlussbericht, fona-Projekt, 2009.

[8] Wans, J.; Bausch, J.; Hecken, H.-J.; Schlüter, J.; Near-Net-Shape Casting of Steel - Belt Casting technology; Thermec; Berlin 2009

[9] Schlüter, J.; Dr. Wans, J.; Bausch, J.; Hecken, H.-J.; Near-Net-Shape Casting of Steel - Belt Casting technology; AISTech 2010; Pittsburgh, USA 2010

[10] Schlüter, J.; Near-Net-Shape Casting of Steel - Belt Casting technology; 25. Aachener Stahlkolloquium 2010

[11] Wans, J.; Near-Net-Shape Casting of Steel - Belt Casting technology; 7th ECCC (European Continuous Casting Conference); Düsseldorf 2011

[12] Geerkens, C.; Bausch, J.; BCT - The revolutionary leap in casting technology; METEC; Düsseldorf 2011

[13] Wans, J.; Belt Casting Technology; VDEh, Ausschuss für metallurgische Grundlagen; Düsseldorf 2014

[14] Rosenthal, D.; Innovative Plant Technologies for Competitive Steel Products; 29. Aachener Stahlkolloquium 2014

[15] Schlüter, J.; Belt Casting Technology – Experiences based on the worldwide first BCT caster; AISTech 2014; Indianapolis, USA

[16] Wans, J.; C. Geerkens, H. Cremers; Belt Casting Technology – Experiences based on the worldwide first BCT caster; 8th ECCC; (European Continuous Casting Conference); Graz 2014

[17] Wans, J.; Belt Casting Technology – Experiences based on the worldwide first BCT caster; International Conference on high Manganese Steels HMnS 2014; Aachen

6 Anhang

AGS	Aufgabesystem (metallurgisches Gefäß, durch das die Schmelze in die Gießmaschine gelangt)
BCT	Belt Casting Technology (Bandgießtechnologie), Markenname der SMS Siemag für das neue Verfahren
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
CO_2-Äqui	Kohlendioxid-Äquivalent als Basiseinheit des Treibhausgaspotenzials
CSC	Continuous Slab Casting (Strangguss)
DSC	Direct Strip Casting (Bandgießen)
EAF	Electric Arc Furnace (Elektrolichtbogenofen)
GWP	Global Warming Potential
HSD	High Strength and Ductility (hohe Festigkeit und hohe Umformbarkeit), Markenname der Salzgitter Flachstahl GmbH für den neuen Stahl
HSS	High Strength Steel (hochfester Stahl)
kJ	Kilojoule
kWh	Kilowattstunde
KEA	kumulierter Primärenergieaufwand
LCA	Life Cycle Assessment (Lebenszyklusanalyse)
MJ	Megajoule
Nm^3	Norm-Kubikmeter
RFCS	Research Fund for Coal and Steel