

Abschlussbericht

zum Vorhaben:

„Modulare Fertigungslinie zur energieeffizienten und ressourcenschonenden Produktion von Stahlgussteilen (Modulcast)“

002117

Fördernehmer/-in:

Friedr. Lohmann GmbH

Umweltbereich

(Ressourcen Klimaschutz)

Laufzeit des Vorhabens

26.11.2014 – 31.07.2017

Autor

Thorsten Kutsch

Dr. Claus Michael Rogall, Marcus Lodde

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

Datum der Erstellung

21.09.2017

Berichts-Kennblatt

Aktenzeichen UBA	Vorhaben-Nr. 002117										
Titel des Vorhabens / Report Title „Modulare Fertigungslinie zur energieeffizienten und ressourcenschonenden Produktion von Stahlgussteilen (Modulcast)“											
Autor(en), Name(n), Vorname(n) Thorsten Kutsch, Friedr. Lohmann GmbH Dr. Claus Michael Rogall, Metatech GmbH Marcus Lodde, prisma consult GmbH / Effizienz-Agentur NRW	Vorhabensbeginn 26.11.2014										
	Vorhabenende (Abschlussdatum): 31.07.2017										
Fördernehmer / -in (Name, Anschrift) Friedr. Lohmann GmbH Brauckstrasse 37 58454 Witten, Herbede	Veröffentlichungsdatum 21.09.2017										
	Seitenzahl 65										
Gefördert im Rahmen des Umweltinnovationsprogramms des Bundesumweltministeriums											
Kurzfassung Die bei Fa. Lohmann gefertigten Produkte aus hitze- und verschleißbeständigem Guss verdanken Ihre Stellung im Markt insbesondere auch der individuellen Anpassung an die speziellen Kundenforderungen. Mit dieser Vorgehensweise verbunden ist die Erzeugung von kleinen bis mittleren Losgrößen. Gegenüber einer Großserienfertigung ist die Fertigung von kleinen bis mittleren Losgrößen insbesondere deshalb herausfordernd, da sich die Anforderungen an die Schmelzen, die Gießrandbedingungen und die Gießfolgezeiten je nach gefertigtem Produkt fortlaufend ändern. Durch die Realisierung einer weltweit einzigartigen Fertigungslinie (Modulcast) für das ressourceneffiziente Formen und Gießen hochwertiger Sandguss-Bauteile in kleinen und mittleren Serien (Losgrößen 1 bis 500) konnte nachgewiesen werden, dass zum einen deutlich energieeffizienter und ressourceneffizienter gefertigt werden kann. Die Ergebnisse des Vorhabens wurden über ein jeweils sechsmonatiges Messprogramm ermittelt, welches ressourcenrelevante Daten im bestehenden Fertigungsprozess und im neuen Verfahren erhoben hat. Auf Basis einer Durchsatzleistung von 4.500 t/a ergeben sich nachfolgende Ressourcenminderungen gegenüber der bisherigen Fahrweise: <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td>• Reduktion des Ausschusses</td> <td style="text-align: right;">39.150 kg/a</td> </tr> <tr> <td>• Reduktion des Abbrandes</td> <td style="text-align: right;">60.975 kg/a</td> </tr> <tr> <td>• Reduktion des Stromverbrauchs</td> <td style="text-align: right;">1.021.500 kWh/a</td> </tr> <tr> <td>• Reduktion des CO₂-Ausstoßes</td> <td style="text-align: right;">594.000 kg/a</td> </tr> <tr> <td>• Reduktion von diffusen, in die Umgebung abgegebenen Stäuben</td> <td style="text-align: right;">50.490 kg/a</td> </tr> </table> Der ursprünglich budgetierte Investitionsansatz in Höhe von 4.345.471,54 € wurde für das Projekt durch die tatsächlichen Kosten in Höhe von 5.048.445,76 € überschritten. Die im Bericht dargestellten über der Planung liegenden Einsparmöglichkeiten (142.591 €) stehen dieser		• Reduktion des Ausschusses	39.150 kg/a	• Reduktion des Abbrandes	60.975 kg/a	• Reduktion des Stromverbrauchs	1.021.500 kWh/a	• Reduktion des CO ₂ -Ausstoßes	594.000 kg/a	• Reduktion von diffusen, in die Umgebung abgegebenen Stäuben	50.490 kg/a
• Reduktion des Ausschusses	39.150 kg/a										
• Reduktion des Abbrandes	60.975 kg/a										
• Reduktion des Stromverbrauchs	1.021.500 kWh/a										
• Reduktion des CO ₂ -Ausstoßes	594.000 kg/a										
• Reduktion von diffusen, in die Umgebung abgegebenen Stäuben	50.490 kg/a										

Überschreitung aber positiv entgegen.

Die von uns errechnete Amortisationszeit für die innovative Technik konnte von 8,2 Jahren bei der Planung auf aktuell 7,6 Jahre reduziert werden. Dieses Ergebnis untermauert die Sinnhaftigkeit dieser Zukunftsinvestition für unser Unternehmen.

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

Summary

The finished products made from heat-resistant and wear-resistant cast iron at the Lohmann site, attribute their success in the market to individual customization. With this approach, the production of small to medium-sized batch sizes plays a significant role. In contrast to mass scale production, the production of small to medium-sized batch sizes is particularly challenging as the demands on the smelting process, pouring lip condition and the subsequent period following pouring varies constantly according to the product being produced. Through the realisation of the worldwide unique production line of this kind (Modulcast) for resource-efficient moulding and casting of high-quality sand-casting components in small and medium-sized batches (batch sizes from 1 to 500), it could be proven that the production process was considerably more energy and resource efficient.

The project results were examined over a 6 month measuring programme which highlighted resource-relevant data in the existing production process and in the new procedure. On the basis of an output level of 4.500 t/pa, the following resource reductions in comparison to the previous procedure can be seen:

- | | |
|---|------------------|
| • Reduction of rejects | 39.150 kg/pa |
| • Reduction of melting loss | 60.975 kg/pa |
| • Reduction of electricity consumption | 1.021.500 kWh/pa |
| • Reduction of CO ₂ emissions | 594.000 kg/pa |
| • Reduction of various emitted dust types | 50.490 kg/pa |

The originally budgeted investment sum of € 4.345.471,54 was exceeded by the actual project cost of € 5.048.445,76. However, the savings potential (€ 142.591) through the planning process illustrated in the report compensate for this exceedance.

Our calculation regarding the amortisation period for the innovative technology was reduced from the planned 8,2 to the current 7,6 years. This result reinforces the purpose of this future investment for our company.

With the successful operational implementation of the production line, we have managed to realize the large-scale application of the technology for the first time in Germany. The system concept is transferable to the majority of foundries around the world.

Schlagwörter / Keywords

Formanlage, Formkästen, Edelstahlformguss;

Moulding plant, Moulding boxes, Stainless steel moulded cast

Anzahl der gelieferten Berichte

Papierform: 6

Elektronischer Datenträger: 1

Sonstige Medien

Newsletter, EFA-Loseblattsammlung und Veröffentlichung im Internet geplant auf der Homepage: www.ressourceneffiziez.de

Kurzfassung

Ausgangssituation

Die Friedrich Lohmann GmbH ist ein seit über 220 Jahren bestehendes, familiengeführtes Unternehmen und produziert an zwei Standorten in Witten, Nordrhein-Westfalen. Die wesentlichen Produktlinien sind:

- Blech- und Stabstahlprodukte aus Schnellarbeits-, Werkzeug- und Spezialstahl,
- hitzebeständiger und verschleißfester Edelstahlformguss,
- Schweißverbundkonstruktionen.

Die Hauptanwendungen finden sich in den Branchen Automotive, Maschinenbau, Werkzeugbau und Windkraft. Das Umwelt-Management-System der Fa. Lohmann ist nach DIN EN ISO 14001 zertifiziert. Fa. Lohmann hat als eines der ersten Unternehmen in Nordrhein-Westfalen sein Energiemanagementsystem vom TÜV Nord erfolgreich nach dem neuen internationalen Standard ISO 50.001 zertifizieren lassen.

Am Standort Witten-Annen wird eine Edelstahlgießerei betrieben, die auf der Erschmelzungsseite aus zwei Induktionsöfen (1 t und 0,75 t Fassungsvermögen) besteht. Die Anlage erreichte im 3-Schicht-Betrieb eine Jahreskapazität von ca. 4.500 t. Die Stückgewichte variierten zwischen 5 und 80 kg. Es wurden typischerweise Serien mit Losgrößen von 1 bis 500 Stück gefertigt.

Neben einer Handformerei wurden für die weit überwiegende Produktionsmenge (ca. 85 %) zwei manuelle Formanlagen mit horizontaler Formteilung betrieben. An die Formanlage schlossen sich drei Rollenbahnen zur Aufnahme von etwa 50 Formkästen an. Die Gussstücke werden beidseitig geformt. Deshalb war die Form aus zwei Formkästen, den Unter- und Oberkästen zusammengesetzt. Die Formkästen wurden mit Sand gefüllt und verdichtet. Anschließend wurde das Modell wieder entfernt und die Formkästen vereinigt. Der so entstehende Hohlraum wurde danach mit der Schmelze ausgegossen und erstarrte in der gewünschten Form.

Ziel des Vorhabens

Die Friedr. Lohmann GmbH plante die Realisierung einer weltweit einzigartigen Fertigungslinie (Modulcast) für das ressourceneffiziente Formen und Gießen hochwertiger Sandguss-Bauteile in kleinen und mittleren Serien (Losgrößen 1 bis 500). Dadurch wird es erstmalig ermöglicht, die Ressourceneffizienz-Potenziale vollautomatischer Gieß- und Formanlagen auch bei häufig wechselnden Gusswerkstoffen und -stücken umfassend nutzbar zu machen. Das Konzept basiert auf einer innovativen flexiblen Gießlinie in Hochregallagerform.

Um die anlagentechnischen Voraussetzungen für eine flexible Fertigungslinie zu schaffen, sollte eine vollautomatisierte, hocheffiziente Vielstempel-Formmaschine zugerüstet werden. Ferner sollte eine adaptive Sandfüllmengenregelung zum Einsatz kommen. Sowohl die Vielstempel-Formmaschine als auch die Sandfüllmengenregelung waren nicht Bestandteil des beantragten Konzepts. Die Zurüstung stellte aber insbesondere sicher, dass qualitativ hochwertige Formen bei hohem Automatisierungsgrad erreicht werden können.

Die bislang kommerziell erhältlichen Fertigungsanlagen waren durch Ihre statischen Gießlinien auf eine Serienproduktion mit großen Losgrößen (typisch: >> 1.000) bei gleichbleibenden Werkstoffen und Werkstücken ausgelegt. Dadurch konnten diese vollautomatischen Anlagen und die hiermit verbundenen Effizienz-Potenziale speziell für kleine und mittlere Unternehmen mit häufig wechselnden Gusswerkstoffen und kleinen und mittleren Serien nicht effizient genutzt werden.

Das hier vorgestellte neuartige, erstmalig großtechnisch zur Anwendung kommende Konzept in Hochregallagerform für häufig wechselnde Gusswerkstoffe und –stücke bietet gegenüber bestehenden Systemen folgende Vorteile:

- Durch den wahlfreien Zugriff auf die Formkästen zu jedem Zeitpunkt des Abgießvorganges sollten die Warte-, Transport- und Manipulationszeiten beim Erschmelzen und Abgießen erheblich verringert werden.
- Hierdurch kann eine Absenkung der Abstichttemperaturen um durchschnittlich ca. 40°C erreicht werden; gleichzeitig werden die Wartezeiten der Induktionsöfen signifikant verringert. Dies führt in Folge zu erheblichen Energieeinsparungen sowie zu einer deutlichen Reduzierung der Abbrandverluste.
- Der wahlfreie Zugriff auf die Formkästen erlaubt darüber hinaus eine technologisch anforderungsgerechte Steuerung der Produktion und führt insgesamt zu einer Vergleichmäßigung und Reproduzierbarkeit des Gießablaufes. Hiermit verbunden sind erhebliche Ausbringensgewinne, infolge der Vermeidung von Abgießvorgängen stark überhitzter Schmelzen sowie von Kaltanschweißungen.
- Die Anordnung der Formkästen in mehreren Etagen erfordert einen deutlich geringeren Hallenflächenbedarf als alle marktüblichen Standard-Fertigungsanlagen. Aufgrund der mit dem neuartigen Anlagenkonzept erreichbaren geringen Gieß- und Abkühl-Areale können die beim Abgießen und Erstarren entstehenden Dämpfe nahezu vollständig abgesaugt und mittels Wärmetauscher zum Heizen der Arbeitsplätze genutzt werden.

Technische Lösung

Das neue Modulcast-Prinzip (Abbildung 1) sollte besonders auf kleine und mittlere Serien (Losgrößen 1 bis 500 Stück) ausgerichtet sein. Die mit Sand gefüllten Formkästen sollen hierbei nicht einer statischen Fertigungslinie, sondern programmgesteuert definierten Gießpositionen in einem Hochregallager (obere Ebene) zugeführt werden.

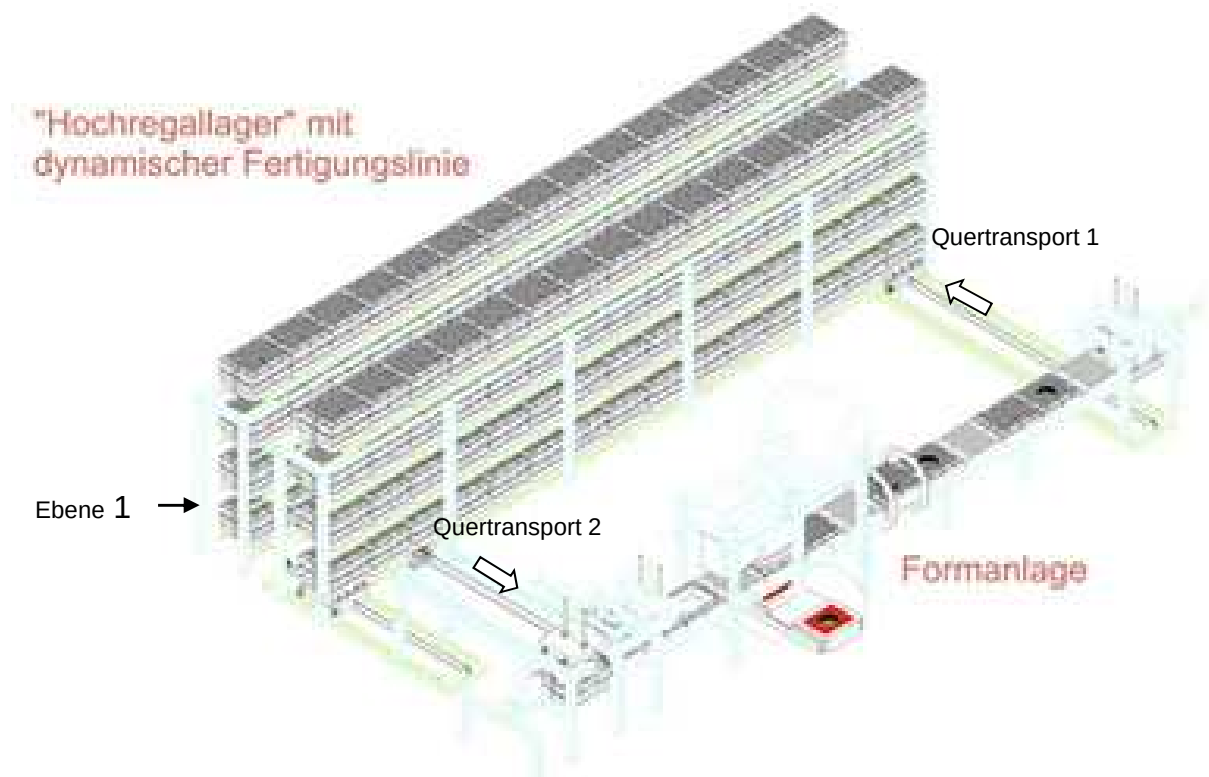


Abbildung 1: Layout der „Modulcast“-Formanlage mit dynamischer Fertigungslinie, hier dargestellt mit insgesamt 4 Ebenen

In der oberen Ebene werden sie abgegossen. Eine wesentliche Herausforderung bei der Umlagerung der abgegossenen Formkästen in die Ebenen 1 und 2 ist es, die Beschleunigung der noch teilweise mit flüssigem Stahl gefüllten Formkästen so auszuführen, dass Schwappbewegungen, die zu Lufteinschlüssen führen könnten, sicher vermieden werden. Vorversuche hatten gezeigt, dass mittels spezieller Beschleunigungs- und Brems-Rampen für die Fahr- und Hubantriebe die Schwappbewegungen der Schmelze kontrolliert werden können. Für den Fall, dass mittels fester Rampen die negativen Auswirkungen der Schwappbewegungen nicht sicher ausgeschlossen werden konnten, mussten für unterschiedliche Gießfälle angepasste Parametersätze für die Beschleunigungs- und Bremsphasen erarbeitet werden und zur Anwendung kommen. Die Umsetzung erfolgt mittels spezieller Frequenzumrichter.

Aufgrund der kleinen Gieß- und Abkühlareale bei diesem Konzept waren sowohl eine Absaugung als auch eine Abwärmenutzung in den Ebenen 1 und 2 des Hochregallagers mit hohen Wirkungsgraden umsetzbar und wurden begleitend zu diesem Projekt umgesetzt.

Ergebnisse aus technischer und wirtschaftlicher Sicht und hinsichtlich Umweltentlastung

Die Ergebnisse des Vorhabens wurden über ein jeweils sechsmonatiges Messprogramm ermittelt, welches ressourcenrelevante Daten im bestehenden Fertigungsprozess und im neuen Verfahren erhoben hat. Nachfolgende Tabelle 1 zeigt zusammenfassend die erreichten Verbesserungen bei den Ressourcenverbräuchen und den Umweltauswirkungen im Vergleich zum Planansatz auf:

Ressourcenverbräuche & Umweltauswirkungen	Plan	Ist	Einheit
Reduktion des Ausschusses	7,00	8,70	kg/t
Reduktion des Abbrandes	10,00	13,55	kg/t
Reduktion des Stromverbrauchs	147	227	kWh/t
Reduktion des CO ₂ -Ausstoßes	93,0	132,0	kg/t
Reduktion von diffusen, in die Umgebung abgegebenen Stäuben	6,00	11,22	kg/t
Verringerung der Produktionsfläche um 50 % für das Formen, Gießen, erstarren und Abkühlen	0,09	0,09	m ² /(t*a)

Tabelle 1: Geplante Veränderungen bei den Ressourcenverbräuchen und Umweltauswirkungen

Auf Basis einer Durchsatzleistung von 4.500 t/a ergeben sich nachfolgende Ressourcenminderungen:

Ressourcenverbräuche & Umweltauswirkungen	Mengen	Einheit
Reduktion des Ausschusses	39.150	kg/a
Reduktion des Abbrandes	60.975	kg/a
Reduktion des Stromverbrauchs	1.021.500	kWh/a
Reduktion des CO ₂ -Ausstoßes	594.000	kg/a
Reduktion von diffusen, in die Umgebung abgegebenen Stäuben	50.490	kg/a

Tabelle 2: Absolute Veränderungen bei den Ressourcenverbräuchen und Umweltauswirkungen bei einer Durchsatzleistung von 4.500 t/a

Der ursprünglich budgetierte Investitionsansatz in Höhe von 4.345.471,54 € wurde für das Projekt durch die tatsächlichen Kosten in Höhe von 5.048.445,76 € überschritten. Die im Bericht dargestellten über der Planung liegenden Einsparmöglichkeiten (142.591 €) stehen dieser Überschreitung aber positiv entgegen.

Die von uns errechnete Amortisationszeit für die innovative Technik konnte von 8,2 Jahren bei der Planung auf aktuell 7,6 Jahre reduziert werden. Dieses Ergebnis untermauert die Sinnhaftigkeit dieser Zukunftsinvestition für unser Unternehmen.

Übertragbarkeit / Maßnahmen zur Verbreitung der Projektergebnisse

Der Modellcharakter ist darin begründet, dass das Anlagenkonzept auf diverse Gießereien übertragen werden kann. Produktspezifische Anlagenmodifikationen müssen im Einzelfall vom jeweiligen Anwender entwickelt und angepasst werden.

Die branchenspezifische Kommunikation dieses erfolgreichen Vorhabens soll zum einen über unsere Kunden erfolgen. Wir beabsichtigen darüber hinaus eine Ansprache des Verbandes (BDG). Zudem wollen wir dieses Beispiel zusammen mit der Effizienz-Agentur NRW in der Loseblattsammlung veröffentlichen.

Summary

Initial Situation

Friedrich Lohmann GmbH is a family run business and has been producing at two sites in Witten, North Rhine Westphalia (NRW) for over 220 years. The essential product lines include:

- Sheet metal and merchant bar products made from high speed, tool and special steel,
- Heat and wear resistant stainless steel moulded cast,
- Weld constructions.

The main applications can be seen in the automotive, mechanical engineering, tool engineering and wind power sectors. Lohmann's environmental management system has been certified according to DIN 14001. Lohmann, as the first company in NRW, has had its energy management system certified by TÜV Nord according to the new international standard ISO 50.001.

A new stainless steel foundry is now operating at the Witten-Annan site which consists of smelting from two induction furnaces (1 t and 0,75 t capacity). In a three shift operation, the system achieves an annual capacity of approx. 4.500 t. The piece weight varies between 5 and 80 kg. Typically, batch sizes of between 1 and 500 are produced.

Besides hand moulding, two manual moulding systems with horizontal mould partition are in operation for the largest part of the production quantity (approx. 85%). Three runways are attached to the moulding system to receive around 50 moulding boxes. The cast products are moulded on both sides. Thus the mould from two moulding boxes is composed of drag and cope boxes. The moulding boxes are filled with sand and compressed. After that, the model is removed again and the moulding box is cleaned. The resulting cavity is then filled with molten metal and set in the required mould.

Project Aim

Lohmann GmbH has realized the worldwide unique production line of this kind (Modulcast) for resource-efficient moulding and casting of high-quality sand-casting components in small and medium-sized batches (batch sizes from 1 to 500). Through this it is possible for the first time to utilize the resource-efficient potential of fully automatic foundries and moulding systems even in the case of frequently changing cast materials and pieces. The concept is based on an innovative, flexible casting line in a high bay storage mould.

In order to meet the technical prerequisites for a flexible production line, a fully-automatic, highly-efficient frequent-use moulding machine should be fitted. Furthermore, an adaptive sand volume regulator should also be applied. Neither the frequent-use moulding machine nor the sand volume regulator were components of the commissioned concept. The fitting especially ensured that high quality moulds could be achieved with a high level of automation.

The production systems commercially available today have been designed with static casting lines for serial production with large-scale batch sizes (typically $>> 1.000$) with constant material and work pieces. As a result, these fully-automatic systems and the associated efficiency potential particularly for small and medium-sized companies with frequently changing casting materials and small and medium sized batches cannot be efficiently used.

The innovative concept presented here with its high bay storage mould for frequently changing casting materials and pieces, manufactured on an industrial scale for the first time, provides the following advantages over existing systems:

- Through the optional access to the moulding boxes at every moment during the pouring off process, the maintenance, transport and manipulation times in the smelting and pouring off procedures are considerably reduced.
- Hereby, a reduction of the tapping temperature by an average of approx. 40°C can be achieved; at the same time, the maintenance times for the induction furnaces are significantly reduced. This subsequently leads to considerable energy-saving potential as well as a noticeable reduction of the smelting loss rate.
- The optional access to the moulding boxes additionally enables a technological, requirement-oriented control of the production and leads to the standardization and reproducibility of the pouring process. Hereby output gains are achieved through the avoidance of pouring processes for strongly heated molten metal as well as in the case of cold welds.
- The layout of the moulding boxes in multiple layers requires significantly less shop floor space than the standard production facilities in the market. Due to the reduced size of the casting and cooling areas in this new system concept, the resulting steam released during the pouring and setting procedures can be almost completely extracted and used to heat the plant via a heat exchanger.

Technical Solution

The new Modulcast principle (diagram 1) should be particularly aligned with small and medium-sized batch sizes (1 to 500 pieces). Hereby, the moulding boxes filled with sand should not be part of a static production line, rather they should have programme-controlled, defined pouring positions in a high bay storage (or level).

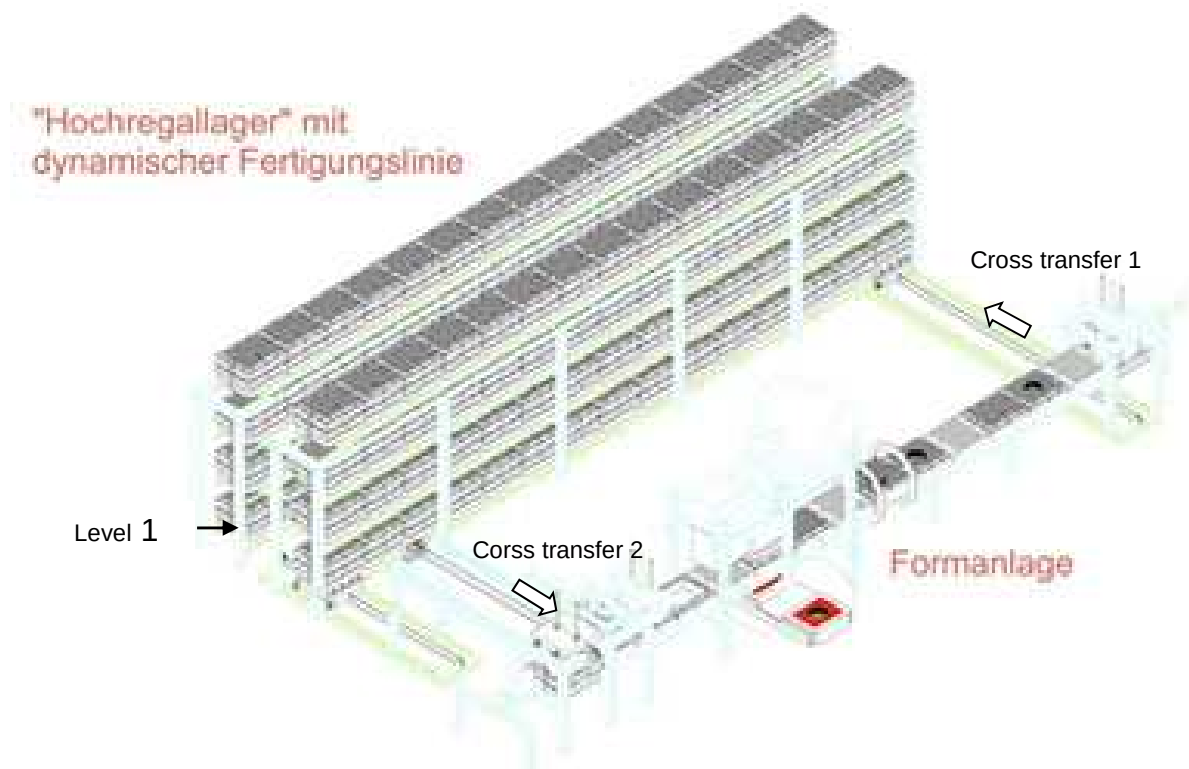


Diagram 2: Layout of the „Modulcast“-moulding system with a dynamic production line, illustrated here with 4 levels in total

Pouring occurs at the top level. A considerable challenge in the redistribution of the cast moulding boxes in the first and second levels is the acceleration of the moulding boxes containing partially molten steel which must avoid sloshing movements and therefore air pockets. Pilot tests illustrated that through a special accelerating and braking ramp used in the propulsion and actuator systems, sloshing movements of the molten steel can be controlled. If adverse effects of sloshing movements caused by having fixed ramps cannot be completely prevented, specially adapted parameter sets for the accelerating and braking stages must be created and applied. The implementation occurs as a result of a special frequency converter.

Due to the reduced size of the casting and cooling areas in the concept, highly-effective extraction and also waste heat utilization in levels 1 and 2 of the high bay storage system was achieved and were implemented as a separate part of this project.

Results from a technical and economic perspective and the environmental benefit

The project results were examined over a six month measuring programme which highlighted resource-relevant data in both the existing production process and in the new procedure. In table 1, we can see a summary of the improvements actually achieved in resource consumption and environmental impact in comparison with the planned estimate:

Resource Consumption & Environmental Impact	Plan	Actual	Unit
Reduction of rejects	7,00	8,70	kg/t
Reduction of smelting loss	10,00	13,55	kg/t
Reduction of electricity consumption	147	227	kWh/t
Reduction of CO ₂ emissions	93,0	133,0	kg/t
Reduction of various emitted dust types	6,00	11,22	kg/t
Reduction of the shop floor space by 50% for moulding, casting, setting and cooling procedures	0,09	0,09	m ² /(t*pa)

Table 3: Planned amendments in resource consumption and environmental impact

On the basis of output levels at 4.500 t/pa, the following resource reductions resulted:

Resource Consumption & Environmental Impact	Amount	Unit
Reduction of rejects	39.150	kg/pa
Reduction of smelting loss	60.975	kg/pa
Reduction of electricity consumption	1.021.500	kWh/pa
Reduction of CO ₂ emissions	594.000	kg/pa
Reduction of various emitted dust types	50.490	kg/pa

Table 4: Absolute change in resource consumption and environmental impact with an output of 4.500 t/pa

The originally budgeted investment sum of € 4.345.471.54 was exceeded by the actual project cost of € 5.048.445.76. However, the savings potential (€ 142.591) through the planning process illustrated in the report compensate for this exceedance.

Our calculation regarding the amortisation period for the innovative technology was reduced from the planned 8,2 to the current 7,6 years. This result reinforces the purpose of this future investment for our company.

Transferability / Measures to distribute the project's results

The exemplary characteristic of the concept is its transferability to various foundries. Product-specific system modifications have to be developed and adapted by individual users in specific cases.

The sector-specific communication of this successful project should stem from our clients. Furthermore, we plan to address the association (BDG). Moreover, we wish to publish this example as a loose leaf document in cooperation with Effizienz-Agentur NRW.

Inhaltsverzeichnis

Berichts-Kennblatt	2
Kurzfassung.....	4
Summary	8
Abbildungsverzeichnis.....	14
Tabellenverzeichnis.....	16
1. Einleitung	17
1.1 Kurzbeschreibung des Unternehmens.....	17
1.2 Ausgangssituation	18
2. Vorhabensumsetzung	19
2.1 Ziel des Vorhabens.....	19
2.2 Darstellung der technischen Lösung (Auslegung und Leistungsdaten)	20
2.3 Darstellung der Umsetzung des Vorhabens	24
2.4 Behördliche Anforderungen (Genehmigungen)	42
2.5 Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten	43
3. Ergebnisse	44
3.1 Bewertung der Vorhabensdurchführung	44
3.2 Durchführung und Ergebnisse des Messprogramms.....	44
3.2.1 Reduktion des Ausschusses (Messstelle 4)	45
3.2.2 Reduktion des Abbrandes (Messstelle 3)	46
3.2.3 Reduktion des Stromverbrauches (Messstellen 1, 2, 5, 10)	48
3.2.3.1 Absenkung der Abstich-Temperaturen um im Durchschnitt 40 °C (Messstelle 1)	48
3.2.3.2 Stromverbrauchsreduktion der Induktionsöfen (Messstelle 2).....	49
3.2.3.3 Reduzierung der Energieaufwände durch Ausschussminimierung (Messstelle 5)	50
3.2.3.4 Energieeinsparung durch Motoren mit dem Premium-Wirkungsgrad IE3 (Messstelle 10)	51
3.2.3.5 Abwärmenutzung (Messstelle 7).....	52

3.2.4	Reduktion des CO ₂ -Ausstoßes	54
3.2.5	Reduktion von diffusen, in die Umgebung abgegebenen Stäuben (Messstelle 6)	55
3.2.6	Verringerung der Produktionsfläche	56
3.2.7	Geräuschemissionen	57
3.2.8	Emissionen	58
3.3	Umweltbilanz	61
3.4	Wirtschaftlichkeitsanalyse.....	62
3.5	Technischer Vergleich zu konventionellem Verfahren	63
4.	Empfehlungen.....	64
4.1	Erfahrungen aus der Praxiseinführung	64
4.2	Modellcharakter	64
4.3	Zusammenfassung	64

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Layout der „Modulcast“-Formanlage mit dynamischer Fertigungslinie, hier dargestellt mit insgesamt 4 Ebenen	5
Diagram 2: Layout of the „Modulcast“-moulding system with a dynamic production line, illustrated here with 4 levels in total	9
Abbildung 3: Werk Witten-Annen (Edelstahlformguss)	17
Abbildung 4: Induktionsöfen links: kleiner Ofen, rechts: großer Ofen	18
Abbildung 5: Formanlage (links) sowie Gießlinie (rechts)	18
Abbildung 6: Layout der „Modulcast“-Formanlage mit dynamischer Fertigungslinie, hier dargestellt mit insgesamt 4 Ebenen	21
Abbildung 7: Detailauszug aus dem Netzplan	26
Abbildung 8: Hallenlayout der Gießlinie	27
Abbildung 9: Vertikalansicht der Gießlinie	27
Abbildung 10: Ansicht auf das Regalbediengerät mit Darstellung der Verschiebekinematik für die horizontale und vertikale Positionierung der Gießkästen	29
Abbildung 11: Darstellungen der nahezu vollständigen Kapselungen von Fahrrollen und Antrieben innerhalb des Ständers des Regalbediengerätes	30
Abbildung 12: Konstruktionszeichnung des Hochregallagers	31
Abbildung 13: Blick auf die im Juli 2016 erfolgten Montagearbeiten im Unterflurbereich	32
Abbildung 14: Blick in Richtung des Regalbediengerätes des Hochregallagers	32
Abbildung 15: Blick auf die Gießlinie des Hochregallagers	33
Abbildung 16: Spritzschutz mit Sandbetten	33
Abbildung 17: Konzept zur Einhausung mit demontierbaren Schallschutzelementen	34
Abbildung 18: Lärmschutzkabine des Rüttelrostes (linkes Bild) sowie Blick auf den Rüttelrost durch eine geöffnete Tür der Schallschutzkabine	34
Abbildung 19: Schallschutzelement links: demontierbares Teil / rechts: fest installierte Schallschutzelemente	35
Abbildung 20: Fertig bearbeitete Palette	36
Abbildung 21: Fertig bearbeiteter, oberer Formkasten	36
Abbildung 22: Fertig bearbeitete Palette und Formkästen	37
Abbildung 23: Status der Fundamentarbeiten im Hallenbereich 02.02.2016	38
Abbildung 24: Status der Fundamentarbeiten im Außenbereich 02.02.2016	38

Abbildung 25: Absaugversuche mittels seitlich angebrachter Absaugleisten; das rechte Bild zeigt die erreichte Absaugwirkung während des Gießens im Vergleich zur nicht betriebenen Anlage (linkes Bild).....	39
Abbildung 26: Parallel zum Vorhaben installierte zentrale Luftversorgungsanlage 02.02.2016	39
Abbildung 27: Vorgerüstete Leitungen für den Anschluss von Zu- und Abluftstellen 02.02.2016	40
Abbildung 28: linkes Teilbild: Druckkurven im verwendeten Absaugkanal rechtes Teilbild: Gas-geschwindigkeiten im unmittelbaren Absaugquerschnitt (M1 und M2) sowie in der Zuleitung M3.....	41
Abbildung 29: Installierte Absaugleisten an der Croning-Gießanlage und Anbindung an die Entstaubungsanlage	41
Abbildung 30: Anbindung des Hochregallagers an die Entstaubungsanlage	42
Abbildung 31: Oberflächenqualität typischer Erzeugnisse; linkes Bild: Neuanlage, rechtes Bild: Altanlage.....	46
Abbildung 32: Abbrand in Abhängigkeit vom Nickelgehalt, Quelle: „Die Edelstahlerzeugung“, Franz Leitner, Erwin Plöckinger	47
Abbildung 33: Ventilator Kennlinie	53
Abbildung 34: Staubentwicklung im Bereich der Croning-Anlage; linkes Bild: typische Anlage, rechtes Bild: Neuanlage	56
Abbildung 35: Layout einer Anlage in konventioneller Bauweise	56
Abbildung 36: Layout der Neuanlage (Gießbereich).....	57

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Geplante Veränderungen bei den Ressourcenverbräuchen und Umweltauswirkungen	6
Tabelle 2: Absolute Veränderungen bei den Ressourcenverbräuchen und Umweltauswirkungen bei einer Durchsatzleistung von 4.500 t/a.....	7
Table 3: Planned amendments in resource consumption and environmental impact	10
Table 4: Absolute change in resource consumption and environmental impact with an output of 4.500 t/pa	11
Tabelle 5: Erwartete Umweltentlastungen bei einer Erzeugung von 4.500 t/a für das Gesamtvorhaben sowie die sich auf das Projekt „Modulcast“ beziehende Anteile.....	20
Tabelle 6: Projektfahrplan.....	24
Tabelle 7: Teilvorhaben	25
Tabelle 8: Messstellen, -medien und –parameter Soll-Zustand.....	43
Tabelle 9: Geplante Veränderungen bei den Ressourcenverbräuchen und Umweltauswirkungen	45
Tabelle 10: Ausfallmengen im Vergleich Altanlage / Neuanlage	46
Tabelle 11: Herleitung der veränderten Abbrandmengen.....	48
Tabelle 12: Vergleich der geplanten mit den erreichten elektrischen Energieeinsparungen	48
Tabelle 13: Ergebnisse der Verbrauchsmessungen beider Induktionsöfen.....	50
Tabelle 14: installierte Elektroantriebe in der Sandaufbereitung der Altanlage	51
Tabelle 15: Beurteilungspegel im Vergleich Alt-/Neuanlage.....	58
Tabelle 16: Bewertungsindices BI im Vergleich.....	60
Tabelle 17: Geplante Veränderungen bei den Ressourcenverbräuchen und Umweltauswirkungen	61
Tabelle 18: Absolute Veränderungen bei den Ressourcenverbräuchen und Umweltauswirkungen bei einer Durchsatzleistung von 4.500 t/a.....	61
Tabelle 19: jährliche Kosteneinsparungen.....	62
Tabelle 20: Statische Investitionsrechnungen mit/ohne Förderung	62

1. Einleitung

1.1 Kurzbeschreibung des Unternehmens

Die Friedrich Lohmann GmbH ist ein seit über 220 Jahren bestehendes, familiengeführtes Unternehmen und produziert an zwei Standorten in Witten, Nordrhein-Westfalen. Die wesentlichen Produktlinien sind:

- Blech- und Stabstahlprodukte aus Schnellarbeits-, Werkzeug- und Spezialstahl,
- hitzebeständiger und verschleißfester Edelstahlformguss,
- Schweißverbundkonstruktionen.



Abbildung 3: Werk Witten-Annen (Edelstahlformguss)

Fa. Lohmann steht für innovative Metallurgie- und Engineering-Kompetenz und erreicht mit den Produkten weltweit eine führende Marktposition. Der Exportanteil beträgt aktuell 40%.

Die Hauptanwendungen finden sich in den Branchen Automotive, Maschinenbau, Werkzeugbau und Windkraft. Aktuell werden 355 Mitarbeiter beschäftigt. Für 2016 wird ein Umsatz von 66,1 Mill. Euro erwartet.

Umweltschutz und Ressourceneinsparungen spielen für das Investitionsverhalten im Hause Lohmann eine wichtige Rolle. So wurden in den letzten Jahren die Erwärmanlagen als Hauptenergieverbraucher konsequent auf fortschrittliche Brenner- und Regeltechnik sowie automatische Steuerungen umgerüstet, wobei die gesetzlich vorgeschriebenen Emissionsgrenzwerte weit unterschritten werden. Im Werk Annen wurden Wärmerückgewinnungen an den Induktionsöfen und Kompressoren installiert.

Das Umwelt-Management-System der Fa. Lohmann ist nach DIN EN ISO 14001 zertifiziert. Fa. Lohmann hat als eines der ersten Unternehmen in Nordrhein-Westfalen sein Energiemanagementsystem vom TÜV Nord erfolgreich nach dem neuen internationalen Standard ISO 50001 zertifizieren lassen.

1.2 Ausgangssituation

Am Standort Witten-Annen wird eine Edelstahlgießerei betrieben, die auf der Erschmelzungsseite aus zwei Induktionsöfen (1 t und 0,75 t Fassungsvermögen) besteht. Die Anlage erreichte im 3-Schicht-Betrieb eine Jahreskapazität von ca. 4.500 t. Die Stückgewichte variierten zwischen 5 und 80 kg. Es wurden typischerweise Serien mit Losgrößen von 1 bis 500 Stück gefertigt.



Abbildung 4: Induktionsöfen links: kleiner Ofen, rechts: großer Ofen

Neben einer Handformerei wurden für die weit überwiegende Produktionsmenge (ca. 85 %) zwei manuelle Formanlagen mit horizontaler Formteilung betrieben. An die Formanlage schlossen sich drei Rollenbahnen zur Aufnahme von etwa 50 Formkästen an.



Abbildung 5: Formanlage (links) sowie Gießlinie (rechts)

Die Gussstücke werden beidseitig geformt. Deshalb war die Form aus zwei Formkästen, den Unter- und Oberkästen zusammengesetzt. Die Formkästen wurden mit Sand gefüllt und verdichtet. Anschließend wurde das Modell wieder entfernt und die Formkästen vereinigt. Der so entstehende Hohlraum wurde danach mit der Schmelze ausgegossen und erstarrte in der gewünschten Form.

In unserer betrieblichen Praxis wurde deutlich, dass dem wirtschaftlich indiziertem Wunsch, möglichst große Chargengewichte abzustecken, die Notwendigkeit höherer Abstichtemperaturen gegenübersteht. Hiermit waren eine Reihe von betrieblichen Problemen verbunden. Betriebsversuche zeigten aber auch, dass bei optimaler Anordnung der Formkästen im Gießareal sehr geringe Zeitdauern für das Abgießen erreicht werden konnten. Hiermit war klar, dass grundsätzlich auch hoch unterschiedliche Produkte in kleinen Serien aus einer Charge fertigungssicher und bei geringer Überhitzung gefertigt werden können.

Für das hier vorgestellte Projekt war daher das zentrale Ziel, eine Anlagentechnik zu realisieren, mit der ein schnellstmögliches Abgießen unterschiedlicher Produkte erreichbar sein wird. Die Einbindung weiterer Anforderungen in das Lastenheft, wie eine gute Absaugmöglichkeit der entstehenden Stäube, möglichst vollständige Wärmerückgewinnung, kleiner Flächenbedarf, verbesserte Automatisierung und erhöhte Produktivität führten zu der beschriebenen Anlagentechnik in Form eines Hochregallagers.

2. Vorhabensumsetzung

2.1 Ziel des Vorhabens

Die Friedr. Lohmann GmbH plante die Realisierung einer weltweit einzigartigen Fertigungslinie (Modulcast) für das ressourceneffiziente Formen und Gießen hochwertiger Sandguss-Bauteile in kleinen und mittleren Serien (Losgrößen 1 bis 500). Dadurch wird es erstmalig ermöglicht, die Ressourceneffizienz-Potenziale vollautomatischer Gieß- und Formanlagen auch bei häufig wechselnden Gusswerkstoffen und -stücken umfassend nutzbar zu machen. Das Konzept basiert auf einer innovativen flexiblen Gießlinie in Hochregallagerform.

Um die anlagentechnischen Voraussetzungen für eine flexible Fertigungslinie zu schaffen, sollte eine vollautomatisierte, hocheffiziente Vielstempel-Formmaschine zugerüstet werden. Ferner sollte eine adaptive Sandfüllmengenregelung zum Einsatz kommen. Sowohl die Vielstempel-Formmaschine als auch die Sandfüllmengenregelung waren nicht Bestandteil des beantragten Konzepts. Die Zurüstung stellte aber insbesondere sicher, dass qualitativ hochwertige Formen bei hohem Automatisierungsgrad erreicht werden können.

Die bislang kommerziell erhältlichen Fertigungsanlagen waren durch Ihre statischen Gießlinien auf eine Serienproduktion mit großen Losgrößen (typisch: $>> 1.000$) bei gleichbleibenden Werkstoffen und Werkstücken ausgelegt. Dadurch konnten diese vollautomatischen Anlagen und die hiermit verbundenen Effizienz-Potenziale speziell für kleine und mittlere Unternehmen mit häufig wechselnden Gusswerkstoffen und kleinen und mittleren Serien nicht effizient genutzt werden.

Das hier vorgestellte neuartige, erstmalig großtechnisch zur Anwendung kommende Konzept in Hochregallagerform für häufig wechselnde Gusswerkstoffe und -stücke bietet gegenüber bestehenden Systemen folgende Vorteile:

- Durch den wahlfreien Zugriff auf die Formkästen zu jedem Zeitpunkt des Abgießvorganges sollten die Warte-, Transport- und Manipulationszeiten beim Erschmelzen und Abgießen erheblich verringert werden.
- Hierdurch kann eine Absenkung der Abstichttemperaturen um durchschnittlich ca. 40°C erreicht werden; gleichzeitig werden die Wartezeiten der Induktionsöfen signifikant verringert. Dies führt in Folge zu erheblichen Energieeinsparungen sowie zu einer deutlichen Reduzierung der Abbrandverluste.
- Der wahlfreie Zugriff auf die Formkästen erlaubt darüber hinaus eine technologisch anforderungsgerechte Steuerung der Produktion und führt insgesamt zu einer Vergleichmäßigung und Reproduzierbarkeit des Gießablaufes. Hiermit verbunden sind erhebliche Ausbringengewinne infolge der Vermeidung von Abgießvorgängen stark überhitzter Schmelzen sowie von Kaltanschweißungen.
- Die Anordnung der Formkästen in mehreren Etagen erfordert einen deutlich geringeren Hallenflächenbedarf als alle marktüblichen Standard-Fertigungsanlagen. Aufgrund der mit dem neuartigen Anlagenkonzept erreichbaren geringen Gieß- und Abkühl-Areale können die beim Abgießen und Erstarren entstehenden Dämpfe nahezu vollständig abgesaugt und mittels Wärmetauscher zum Heizen der Arbeitsplätze genutzt werden.

Die sich aus der Anwendung dieser Logistikköslung ergebenden Umwelteffekte sind auf Basis einer Durchsatzleistung von 4.500 t/a nachfolgend abgeschätzt; der Anteil der durch die innovative Gießlinie und das dahinterstehende Logistikkonzept wird isoliert ausgewiesen (Tabelle 5).

Kapitel	Ressourcenverbräuche & Umweltauswirkungen	geplante spezifische Reduktion
3.3.1	Reduktion des Ausschusses	7,00 kg/t
3.3.2	Reduktion des Abbrandes	10,0 kg/t
3.3.3	Reduktion des Stromverbrauchs *)	147 kWh/t
3.3.4	Reduktion des CO ₂ -Ausstoßes *)	89,0 kg/t
3.3.5	Reduktion von diffusen, in die Umgebung abgegebenen Stäuben	6,00 kg/t
3.3.6	Verringerung der Produktionsfläche um 50 % für das Formen, Gießen, Erstarren und Abkühlen	0,09 m ² /(t*a)

Tabelle 5: Erwartete Umweltentlastungen bei einer Erzeugung von 4.500 t/a für das Gesamtvorhaben sowie die sich auf das Projekt „Modulcast“ beziehende Anteile

*) Werte weichen gegenüber der Antragsstellung geringfügig ab, da die Einsparungen in vorliegendem Endbericht mit einem genaueren Berechnungsansatz quantifiziert werden.

Mit einem Energieeinsparungspotenzial von spezifisch: ca. 150 kWh/t_{flüssig} und den verringerten diffusen Emissionen und Arbeitsplatzbelastungen stellt das Anlagenkonzept Modulcast einen weltweit neuartigen Umwelttechnikstand im Bereich von Stahlgießereien für kleine bis mittlere Serien dar. Neben den Energieeinsparungen kann durch die verringerten Gießtemperaturen der Abbrand um ca. 45 t/a verringert werden. Die in die Umgebung freigesetzten Stäube werden um ca. 50 t/a reduziert, womit die Arbeitsplatzbelastungen im Schmelz- und Gießbetrieb signifikant verbessert werden. Mit dem Verfahren können durch den insgesamt optimierten Materialfluss die Material- und Herstellkosten um ca. 765 T€/a reduziert werden, sodass eine Wirtschaftlichkeit für das neuartige Verfahren erreicht werden kann.

2.2 Darstellung der technischen Lösung (Auslegung und Leistungsdaten)

Das neue Modulcast-Prinzip (Abbildung 6) sollte besonders auf kleine und mittlere Serien (Losgrößen 1 bis 500 Stück) ausgerichtet sein. Die mit Sand gefüllten Formkästen sollen hierbei nicht einer statischen Fertigungslinie, sondern programmgesteuert definierten Gießpositionen in einem Hochregallager (obere Ebene) zugeführt werden. In der oberen Ebene werden sie abgegossen. Eine wesentliche Herausforderung bei der Umlagerung der abgegossenen Formkästen in die Ebenen 1 und 2 ist es, die Beschleunigung der noch teilweise mit flüssigem Stahl gefüllten Formkästen so auszuführen, dass Schwappbewegungen, die zu Lufteinschlüssen führen könnten, sicher vermieden werden. Vorversuche hatten gezeigt, dass mittels spezieller Beschleunigungs- und Brems-Rampen für die Fahr- und Hubantriebe die Schwappbewegungen der Schmelze kontrolliert werden können. Für den Fall, dass mittels fester Rampen die negativen Auswirkungen der Schwappbewegungen nicht sicher ausgeschlossen werden konnten, mussten für unterschiedliche Gießfälle angepasste

Parametersätze für die Beschleunigungs- und Bremsphasen erarbeitet werden und zur Anwendung kommen. Die Umsetzung erfolgt mittels spezieller Frequenzumrichter.

Aufgrund der kleinen Gieß- und Abkühlareale bei diesem Konzept waren sowohl eine Absaugung als auch eine Abwärmenutzung in den Ebenen 1 und 2 des Hochregallagers mit hohen Wirkungsgraden umsetzbar und wurden begleitend zu diesem Projekt umgesetzt.

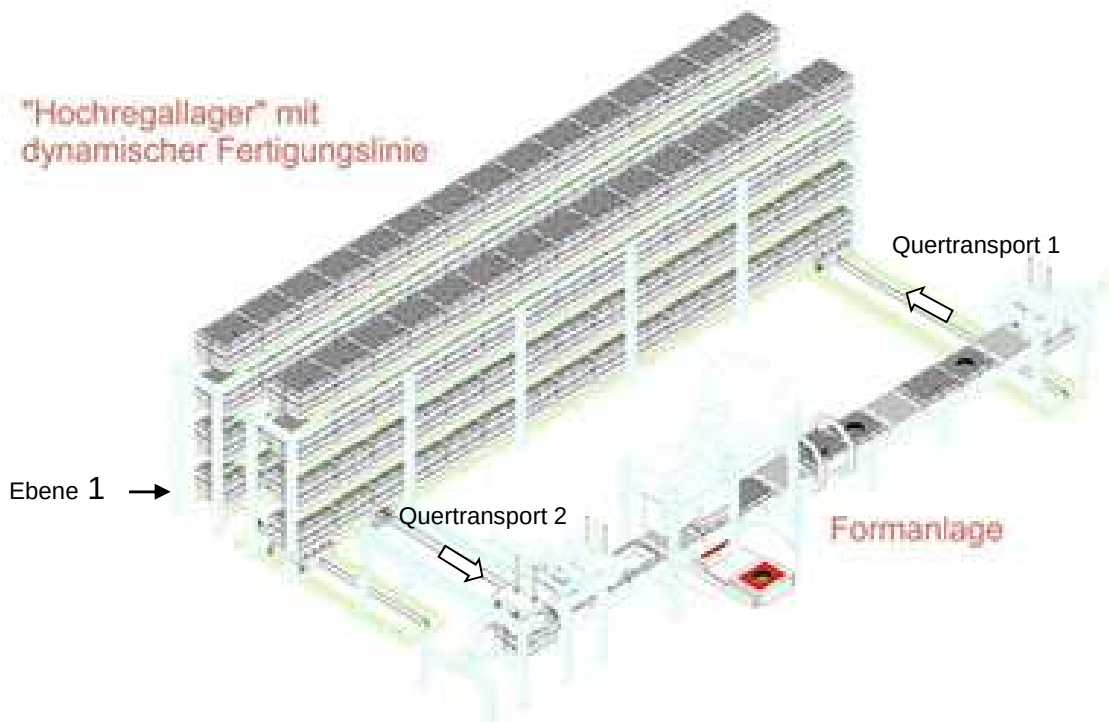


Abbildung 6: Layout der „Modulcast“-Formanlage mit dynamischer Fertigungslinie, hier dargestellt mit insgesamt 4 Ebenen

Das erarbeitete Konzept, die ebenen Fertigungslinien durch ein Hochregallager-System mit mehreren "Etagen" zu ersetzen, bietet dabei signifikante Vorteile:

- Die Formkästen können wahlfrei auf alle nicht belegten Positionen des Hochregallagers eingebracht und von allen Positionen wiederum wahlfrei entnommen werden („dynamische“ Fertigungslinie). Es entfällt eine Zwangsreihenfolge; die Formkästen können direkt nach dem Abkühlen der Entnahmestation für das Gussstück zugeführt werden.
- Die Formkästen, die mit dem gleichen Werkstoff abgegossen werden sollen, können so positioniert werden, dass sich eine energetisch optimale Reihenfolge mit geringen Zeitverlusten zwischen den einzelnen Gießvorgängen ergibt.
- Die platzsparende Anordnung der Formkästen in mehreren Ebenen erlaubt es erstmalig, eine nahezu vollständige Absaugung der entstehenden Emissionen beim Gießen einschl. einer Abwärmenutzung zu realisieren.
- Die Anordnung der Formkästen in mehreren Etagen erfordert einen deutlich geringeren Hallenflächenbedarf als alle marktüblichen Standard-Fertigungsanlagen.

Grundlegende Funktionalitäten sowie Anforderungen an das System

Die leeren Formkästen sowie die Palette werden getrennt und nacheinander einzeln in die Formlinie transportiert. Hier wird eine vollständige Reinigung insbesondere der Kasteninnenbereiche sowie der Dübel und Büchsen vorgenommen. Um Bauraum zu sparen soll die Palette ebenfalls durch die Formlinie transportiert werden. Die vollständige Reinigung der Palette ist ebenfalls zwingend erforderlich.

Die Formkästen werden der Formmaschine zugeführt und mit der entsprechenden Modelleinrichtung eine neue Form erstellt. Im Anschluss erfolgt das Aufstapeln auf die Palette sowie das Zulegen.

Nach dem Zulegen der Form wird diese einschließlich der Palette mittels Quertransport (Quertransport 1) in eine definierte Position des Hochregallagers gefahren. Der Quertransport fährt wieder zur Formlinie zurück und steht für den Transport der nachfolgenden Form bereit.

Das Hochregallager besteht aus zwei gegenüberliegenden Regalen mit je 4 Ebenen. Zwischen den Regalen verfährt ein Regalbediengerät. Dieses nimmt die fertige, noch zu gießende Form auf und lagert diese in einen freien Lagerplatz ein. Grundsätzlich sind alle Positionen des Hochregallagers wahlfrei ansteuerbar (chaotische Lagerung). Das Konzept einer chaotischen Lagerung mit den hiermit verbundenen Geschwindigkeitsvorteilen soll speziell deshalb angewendet werden, da die mittlere Taktzeit des Einlagerns für die gesamte Gießlinie produktivitätsbestimmend sein wird.

Folgende Randbedingungen für das Hochregallager sowie das zu erarbeitende Logistikkonzept wurden im Vorfeld spezifiziert:

- Ein Teil der oberen Ebene ist für das Abgießen sowie für die Bereitstellung der Formkästen vorgesehen.
- Die darunterliegenden Ebenen nehmen sowohl abgegossene als noch zu gießende Formen auf.
- Nach dem Abguss werden die Formen in freie Plätze der Ebenen 1 oder 2 umgelagert, die an die Entstaubung angeschlossen werden.
- Die Ein- und Auslagerungsvorgänge, das Umstapeln nach dem Gießen sowie die Bereitstellung der Formen für die nachfolgenden Abgüsse müssen im Fertigungstakt von 20 Stück / Stunde realisiert werden.
- Die Bereitstellung der Formkästen zum Gießen erfolgt nach folgenden Sortierkriterien:
A) Werkstoff, B) absteigende Gießtemperatur, C) absteigendes Gießgewicht.

Produktionsablauf

Zur Vorbereitung des / der Abgüsse wählt der Mitarbeiter je Charge den Werkstoff sowie das zu vergießende Gesamtgewicht aus. Die Steuerung wählt die passenden Formkästen je nach Werkstoff, Gießtemperatur und Gewicht aus und schlägt diese als Plan vor.

Der Mitarbeiter hat die Möglichkeit, Änderungen an der vorgeschlagenen Planung vorzunehmen und bestätigt abschließend das Planungsergebnis. Das Regalbediengerät wählt nun die Formen aus und stellt diese in der oberen Ebene sortiert beginnend mit der höchsten Gießtemperatur und bei gleicher Gießtemperatur beginnend mit dem größten Gießgewicht zur Verfügung. Den Formkästen werden dabei individuelle Gießtemperaturen (auf Basis hinterlegter Abkühlkurven) sowie individuelle Gießzeitpunkte zugeordnet.

Nach Erschmelzung der Charge werden die Formen entsprechend der vordefinierten Reihenfolge abgegossen. Es ist nicht mehr erforderlich, dass Mitarbeiter entscheiden müssen, in welcher Reihenfolge die Formen abgegossen werden. In der Gießebene werden vielmehr die Formen in der vorbestimmten energie- und fertigungsoptimalen Reihenfolge bereitgestellt, die mit der zu verarbeitenden Charge abgegossen werden sollen. Nach Abschluss des Gießvorganges erfolgt eine Fertigmeldung der abgegossenen Formen mit den Daten „Zeitpunkte von Gießbeginn und Gießende“ sowie „Gießtemperatur zum Gießbeginn der Charge“.

Nach der Fertigmeldung werden die abgegossenen Formkästen in freie Plätze der Ebenen 1 und 2 umgelagert. Eine wesentliche Herausforderung bei der Umlagerung der abgegossenen Formkästen ist es, die Beschleunigung der noch teilweise mit flüssigem Stahl gefüllten Formkästen so auszuführen, dass Schwappbewegungen, die zu Lufteinschlüssen führen könnten, sicher vermieden werden.

Die Ebenen 1 und 2 sind mit einem Wärmetauscher verbunden. Aufgrund der kompakten Anlagenabmessungen können die heißen Gießgase nahezu vollständig erfasst werden. Nach Ablauf der berechneten Abkühldauer wird die Form zum Ausleeren freigegeben. Das Regalbediengerät transportiert jeweils die Form mit der längsten Standzeit nach Ablauf der Abkühldauer zur Übergabeposition an den Quertransport 2. Dieser Quertransport bringt die Form zur Ausleerposition.

Es folgt das Ausleeren der Form mit Hilfe einer Ausleerrinne. Diese wird derart gesteuert, dass das Gussteil am vorderen Ende der Rinne liegen bleibt und die Rinne ausgeschaltet wird. Erst mit dem Ausleeren der nächsten Form wird die Rinne wieder eingeschaltet. Diese Maßnahme sowie ein entsprechender Schallschutz sollen zur Reduzierung der Lärmemissionen dienen. Weiterhin ist die Rinne mit einer elektronischen Schwingweitenverstellung auszuführen. Dies stellt sicher, dass empfindliche Bauteile mit spezifischen Parametern, welche unter der Modellplattennummer in der Steuerung hinterlegt sind, ausgeleert werden können.

2.3 Darstellung der Umsetzung des Vorhabens

Die Tabelle 4 beschreibt den Projektfahrplan für die Umsetzung des Projektes.

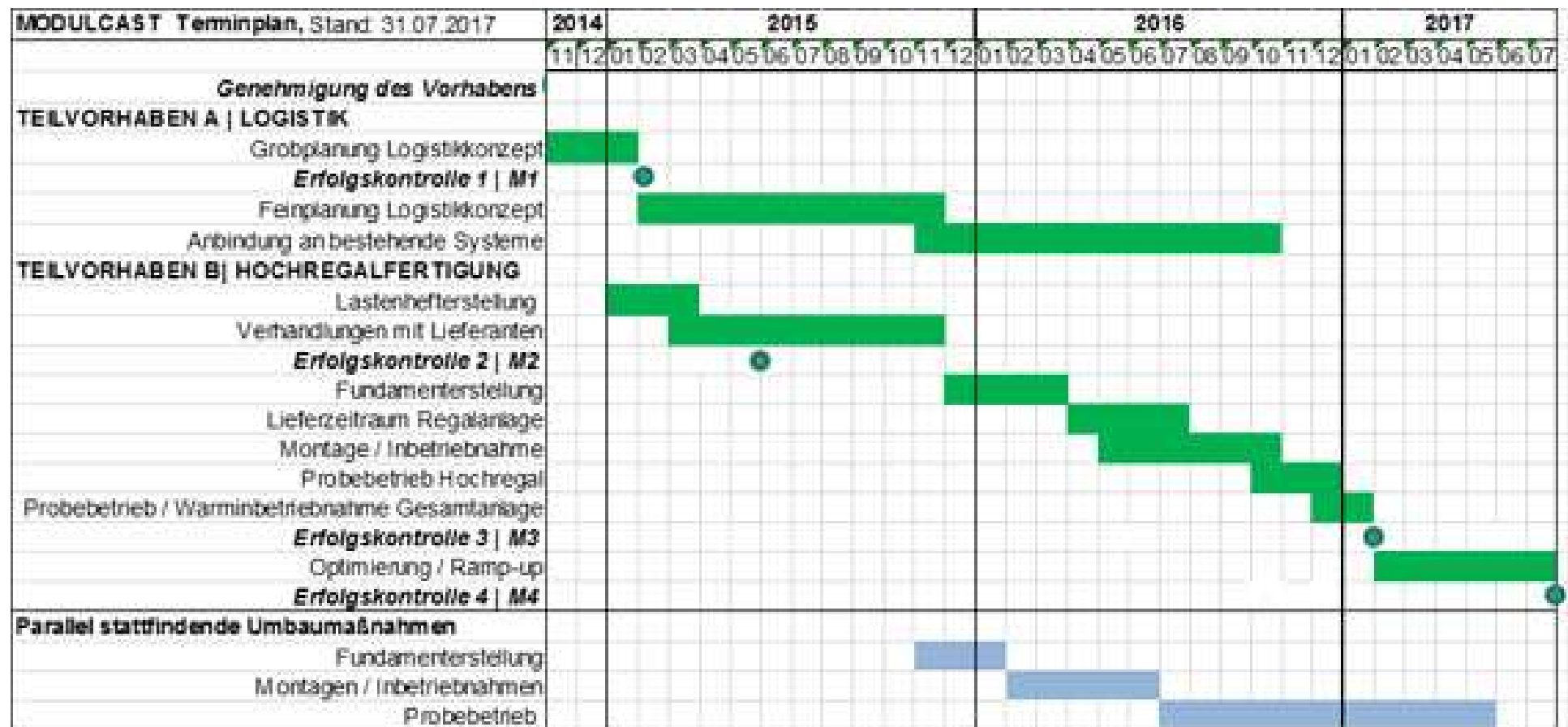


Tabelle 6: Projektfahrplan

Die einzelnen Schritte im Projektablauf werden nachfolgend kurz beschrieben. Die Tabelle 7 gibt einen Überblick über unsere investitionsseitigen Teilvorhaben, auf die im Weiteren fortwährend Bezug genommen wird:

Teilvorhaben	
1.	Entwicklung des Grobkonzeptes
2.	Entwicklung des Feinkonzeptes
3.	Anbindung an das FLS-System und Inbetriebnahme FLS
4.	Errichtung des Hochregals einschl. Regalbediengerät und Transportanbindung an die Formmaschine
5.	Auspackrost / Rinne
6.	Schallschutzmaßnahmen
7.	Formkästen und Paletten
8.	Fundamente
9.	Anbindung an die Zuluftversorgung und Entstaubungsanlage
10.	Anbindung an medienführende Leitungen
11.	Montage und Inbetriebnahme
12.	Personal

Tabelle 7: Teilvorhaben

Die in den Teilvorhaben 1 und 2 genannten Aktivitäten wurden nach intensiven Gesprächen mit dem Anlagenbauern auf das Teilvorhaben 4 überführt, sodass unter Teilvorhaben 4 darüber berichtet wird. Die Aufträge für die Teilvorhaben 5 und 6 wurden an einen Lieferanten vergeben. Da eine separate Rechnungsstellung bezogen auf die Teilvorhaben nicht möglich war, erfolgt die Berichterstattung zu Teilvorhaben 6 unter Teilvorhaben 5.

Die Einzelmaßnahmen wurden detailliert und mittels der Netzplanmethode so verschaltet, dass bei fortlaufender Pflege der Maßnahmen und deren Termine der kritische Pfad jeweils aktuell ausgewiesen wurde. Neben der Planung der technologischen Teilprojekte „Logistik“ und „Anlagentechnik“ wurden die bauseitigen Leistungen sowie der Genehmigungsweg in den Netzplan mit aufgenommen. Ferner wurden die vorhabenbegleitenden, nicht geförderten Maßnahmen (neue lufttechnische Anlage einschl. Wärmetauscher) ebenfalls in die Gesamtplanung mit aufgenommen.

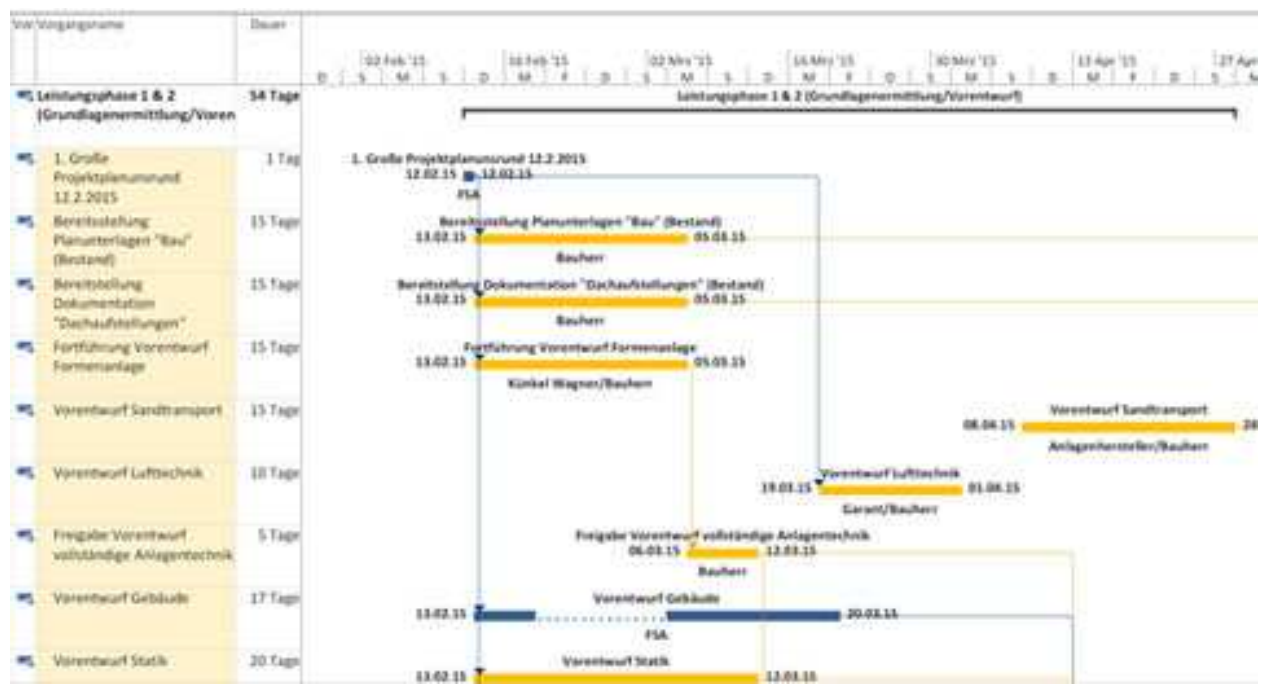


Abbildung 7: Detailauszug aus dem Netzplan

Teilvorhaben 3: Anbindung an des FLS und Inbetriebnahme des FLS

Im zweiten Halbjahr 2015 schritten die Arbeiten zur Anbindung des Hochregallagers sowie der Formanlage an das bestehende Fertigungsleitsystem (FLS) „INFOR“ planungsgemäß voran. Die durchgeführten Arbeiten beinhalteten die Versorgung der Teilsysteme „Hochregal einschl. Regalbediengerät“ sowie die „Formanlage“ mit den Auftragsdaten und den jeweils gültigen technischen Standards. Ferner wurden Arbeiten durchgeführt, um eine auftragsbezogene Rückmeldung der Teilsysteme zum FLS zu erreichen. Die Anbindung der Teilsysteme an das FLS erfolgte über die vom Hersteller des FLS spezifizierten „Schnittstellen“. Es wurden die Schnittstellen definiert und ausprogrammiert.

Teilvorhaben 4: Errichtung des Hochregals einschl. Regalbediengerät und Transportanbindung an die Formmaschine

Im Zeitraum von Dezember 2014 bis Februar 2015 wurde die Grobplanung für das neue Logistikkonzept erarbeitet. Hierbei wurden sämtliche Anlagenfunktionalitäten innerhalb und außerhalb der Gießlinie hinsichtlich Ihrer Anforderungen, Abläufe (Zeit-/Wege-Diagramme), Verschaltungen und Abhängigkeiten mit anderen Anlagenteilen im Detail ausgeplant. Die Planungsergebnisse wurden in die Lastenhefte der anzufragenden Anlagenteile überführt. Auf Basis der vorliegenden lieferantenseitigen Angebote wurde ein erstes Gesamlayout der Anlage erarbeitet.

Auf Basis des Gesamt-Anlagenlayouts und der Sollvorgabe für die Taktzeit (150 Sekunden Gießfolgezeit) konnten die Materialflüsse abgeleitet werden. Wesentliche Fragestellung war, ob die eingesparte Manipulationsdauer im Vergleich zum heutigen Betrieb eine Absenkung der Gießtemperatur um 40 °C zulassen wird.

Auf Basis der erarbeiteten Zeit-/Wegdiagramme konnte mittels wärmetechnischer Berechnungen gezeigt werden, dass die erwartete Absenkung der Gießtemperatur um 40 °C sicher erreicht werden wird (Erfolgskontrolle 1).

Mittels einer Materialfluss-Simulation wurde die finale Auslegung des Hochregallagers durchgeführt. Im Ergebnis besteht das Hochregallager nun aus 4 übereinander angeordneten

Stellreihen (je 20 Stellplätze), die links und rechts des Regalbediengerätes angeordnet sind. Die Abbildung 8 zeigt das Gesamtlayout der Gießanlage.



Abbildung 8: Hallenlayout der Gießlinie

Die Abbildung 9 zeigt die Vertikalansicht der Gießanlage einschließlich der Fundamente & Keller.

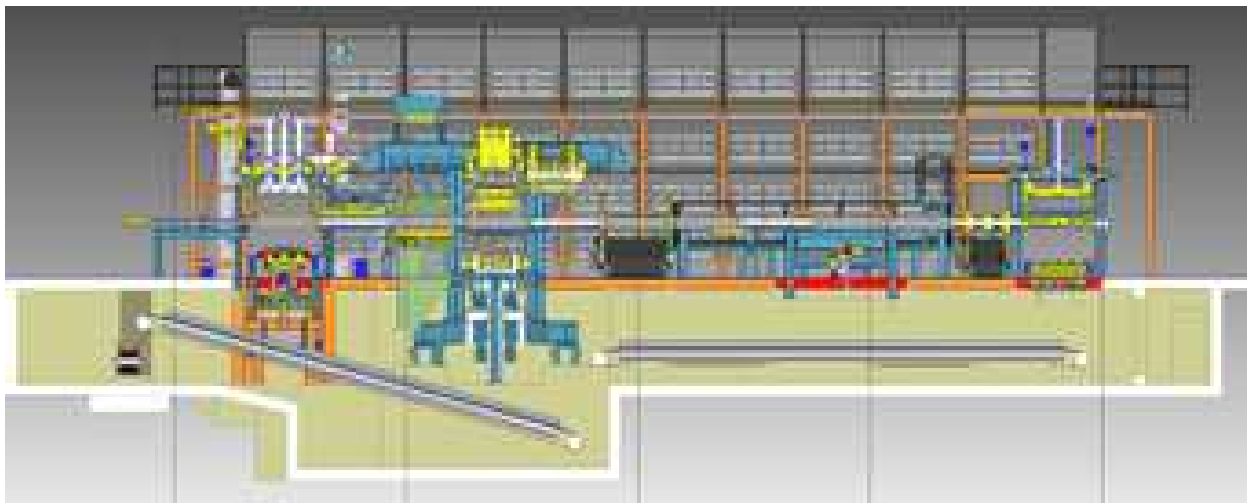


Abbildung 9: Vertikalansicht der Gießlinie

Auf Basis des logistischen Grobkonzeptes sowie des entwickelten Anlagenlayouts wurde die Feinplanung des Logistikkonzeptes wie folgt durchgeführt:

Lastenhefterstellung, Verhandlungen mit Lieferanten

Wesentliche Forderung für die Gießlinie war das Erreichen einer Zykluszeit von 150 Sekunden; dies entspricht 24 Gießvorgängen je Betriebsstunde. Bei einer durchschnittlichen Gießmenge von je ca. 70 kg/Kasten wird damit eine Produktivität von ca. 1,3 t/Bh erreicht; diese Produktivität liegt dem Business-Case zugrunde.

Herausfordernd zeigte sich die Taktzeitforderung für die Kinematik des Regalbediengerätes. Als besonders zeitkritisch stellte sich die Manipulationsdauer des Regalbediengerätes für die Ein- und Auslagerung der Gießkästen in das Hochregallager heraus.

Mit dem zunächst verfolgten Ansatz, die Ein- und Auslagerungsvorgänge der Gießkästen im Hochregallager mittels zweier, nacheinander zu erfolgenden translatorischen Bewegungen realisieren zu können, waren nicht zielführend, da die geforderte Taktzeit nicht erreicht wurde. Eine zweistufige Bewegung der Gießkästen war deshalb zunächst verfolgt worden, weil der erforderliche Fahrweg der Gießkästen aufgrund des zur Verfügung stehenden Bauraums im Rahmen einer translatorischen Bewegung nicht realisierbar erschien.

Vorgabe an die Konstruktion war es daher, mittels eines einstufigen Fahrtriebes die horizontalen Einlagerungs- und Auslagerungsvorgänge umzusetzen. Die Zielvorgabe konnte durch eine, für ein Regalbediengerät völlig neuartige, hydraulisch angetriebene Kinematik erreicht werden. Hierbei werden die Ein- und Ausziehvorgänge der Gießkästen einschließlich der Sicherung/Entsicherung im Hochregallager durch eine einstufige Rotationsbewegung eines teleskopierbaren Stellzylinders vorgenommen. Durch die hierbei erreichte kulissenartige Übersetzung kann der erforderliche lange Verschiebeweg der Kästen in horizontaler Richtung erreicht werden.

Die Abbildung 10 zeigt die entwickelte Kinematik, bestehend aus dem teleskopierbaren Hydraulikzylinder und der Rollenlagerung des Verschiebeelementes, mit der die horizontale Verschiebung der Gießkästen vorgenommen werden kann. Für die vertikale Positionierung wird auf eine Ansteuerung mittels konventioneller Hubketten zurückgegriffen.

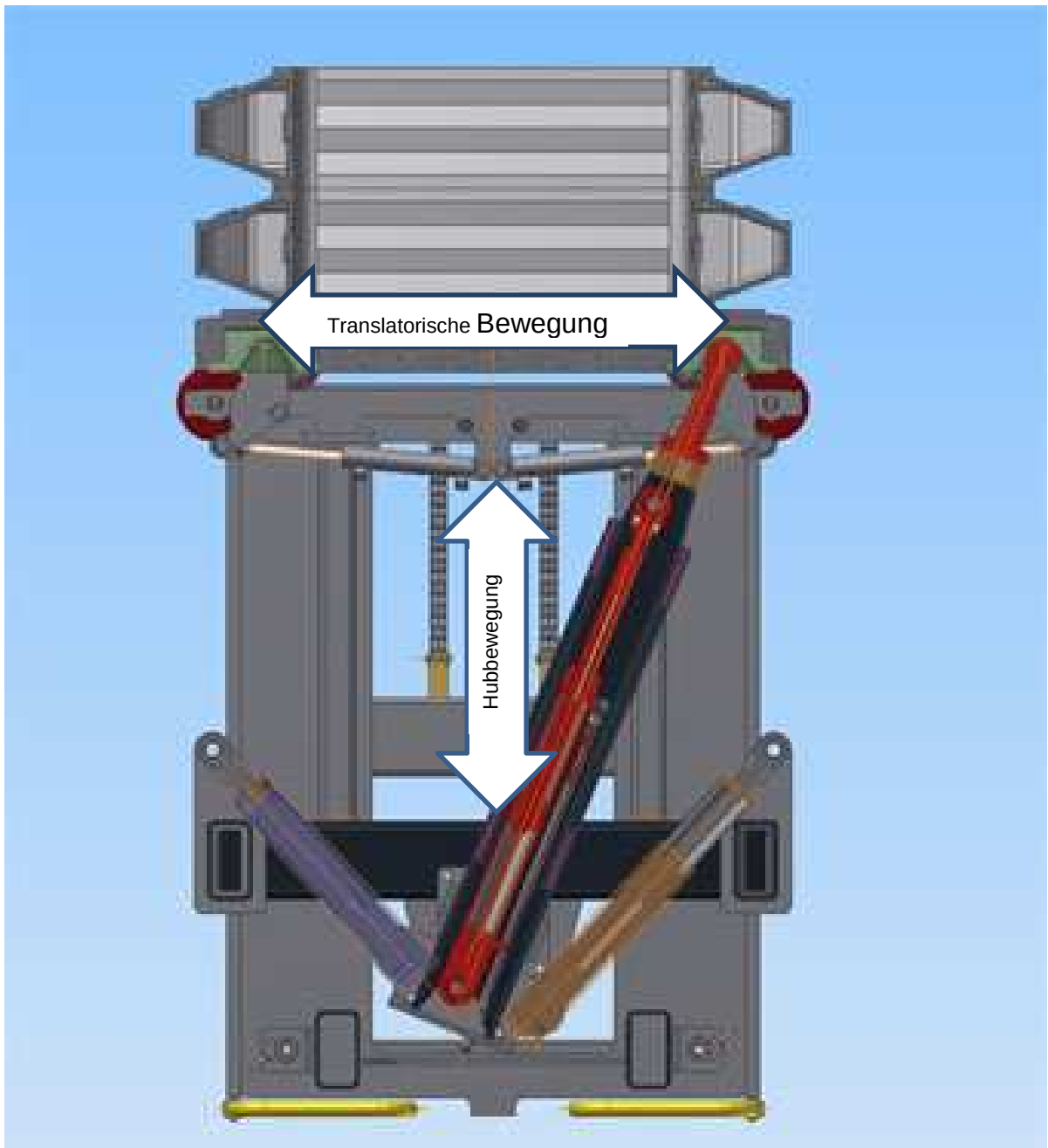


Abbildung 10: Ansicht auf das Regalbediengerät mit Darstellung der Verschiebekinematik für die horizontale und vertikale Positionierung der Gießkästen

Durch die verringerte Manipulationsdauer bei einem einstufigen Positioniervorgang konnten die Beschleunigungsrampen so festgelegt werden, dass die Gießkästen mit vergleichsweise geringen Beschleunigungen verfahren werden können. Die gesamte Zykluszeit für das horizontale Verfahren beträgt ca. 8 Sekunden.

Aufgrund der erstmaligen Anwendung eines Hochregallagers mit Regalbediengerät im direkten Gießumfeld wurden umfangreiche Maßnahmen zur Kapselung von Lagern, Führungen und Rollen gegen Stäube, Metallspritzer und Hitzeeinwirkung mit den Lieferanten gemeinsam erarbeitet. Zu berücksichtigen war hierbei insbesondere auch die Forderung der Instandhaltung, im Falle von Störungen oder Havarien fehlerhafte Bauteile / Module in kürzester Zeit austauschen zu können.

Die Abbildung 11 zeigt exemplarisch die konstruktiv erreichte Kapselung von Rollen und Anlenkungen durch deren Anordnung im Inneren des Regalbediengerätständers. Um im Betrieb einen schnellen Austausch von defekten Bauteilen zu ermöglichen, wurde der Ständer für das Instandhaltungspersonal begehrbar ausgeführt. Die Eingangstüren sind im linken Teilbild besonders hervorgehoben.

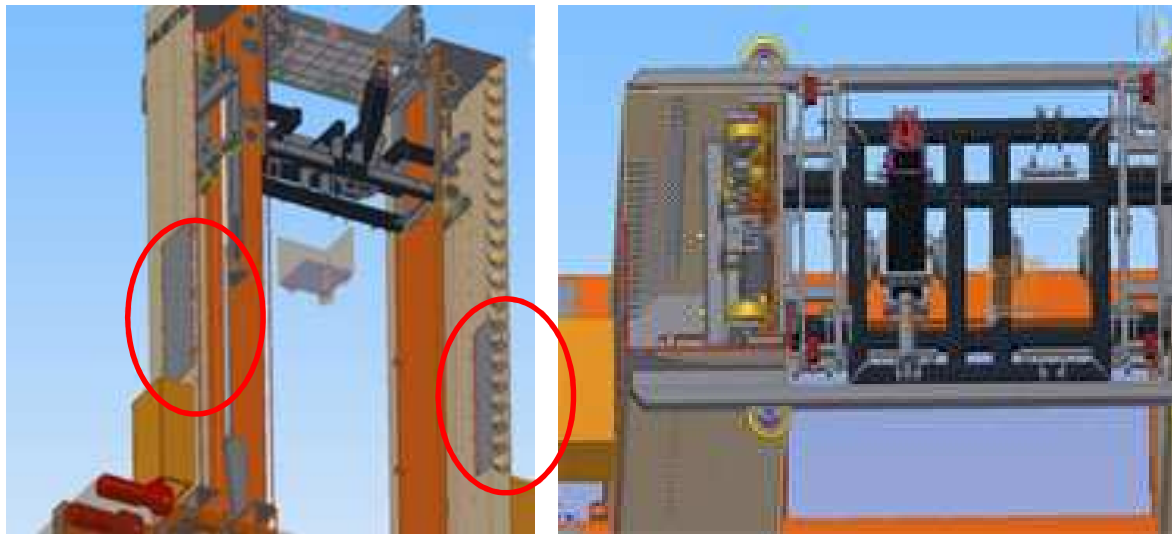


Abbildung 11: Darstellungen der nahezu vollständigen Kapselungen von Fahrrollen und Antrieben innerhalb des Ständers des Regalbediengerätständer

Ende März 2015 konnten die Lastenhefte finalisiert werden. Auf Basis der lieferantenseitig vorgelegten Angebote erfolgten die Bestellungen zu allen Hauptanlagen des Teilvorhabens im April 2015.

Eine Überprüfung der Annahme, dass mit der neuartigen Gießlinie eine spez. Energieeinsparung von 150 kWh/t erreicht werden kann, konnte auf Basis des vorliegenden Detailengineerings bestätigt werden (Erfolgskontrolle 2).

Nach der Bestellauslösung in April 2015 für das Hochregallager wurden die finalen Detaillierungen speziell zur Anlagenbegehung, zur Sicherheitstechnik sowie zur Ergometrie und zum Arbeitsschutz ausgearbeitet. Nachfolgende Abbildung 12 zeigt das finale Layout des Hochregallagers. Deutlich erkennbar sind die Fachstruktur mit den einzelnen Absaugöffnungen sowie die Schutzzäune, welche in Teilbereichen 2 m hoch als Spritzschutz ausgeführt sind. Weiter hinten ist die Abdeckung (ebenfalls Spritzschutz) über der Regalgasse erkennbar.

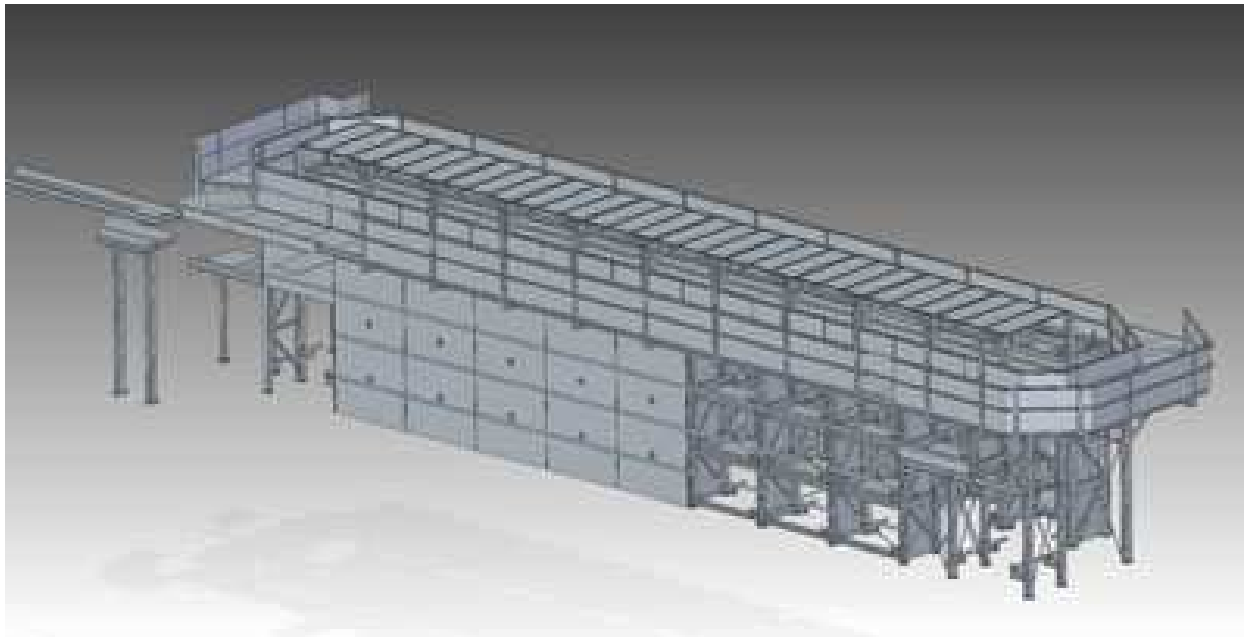


Abbildung 12: Konstruktionszeichnung des Hochregallagers

- Sämtliche kinematischen Abläufe wurden auf Basis einer Steuerung mittels Frequenzumformer erarbeitet. Hiermit werden ruckhafte Bewegungen ausgeschlossen und damit lärmintensive Bewegungsgeräusche reduziert.
- Alle rollenbasierten Transport- und Führungssysteme wurden ausschließlich mit vulkanisierten Laufrollen ausgerüstet; hiermit wurden speziell Quietsch- und Abrollgeräusche wirksam unterdrückt.

Ferner wurde im zweiten Halbjahr 2015 die finale Spezifikation der Modellplatte erarbeitet. Um ein instandsetzungsbedingtes Wechseln von Anlagenkomponenten sicherzustellen, wurden jeweils die Demontage, Entnahme und Abtransport auf eine betriebliche Machbarkeit überprüft. Im Ergebnis wurden die hierfür benötigten Hebwerkzeuge und Kranspiele definiert.

Im zweiten Halbjahr 2015 erfolgen die Werkstattfertigungen der bestellten Anlagenteile und Komponenten. Zur Sicherstellung des geplanten Projektfortschrittes wurden durch uns begleitende Werkstattbesichtigungen bei den Lieferanten durchgeführt.

Im März 2016 konnte die Werkstattabnahme des Hochregallagers beim Lieferanten erfolgreich ausgesprochen werden, sodass Anfang April 2016 mit den Montagearbeiten zur Errichtung des Hochregallagers sowie zur Anbindung der Formanlage begonnen werden konnte.

Es traten aufgrund fehlerhafter Aufwandsabschätzungen seitens des Lieferanten Terminverzögerungen bei der Montage auf (Abbildung 13: aktuell stattfindende Unterflur-Montagen).



Abbildung 13: Blick auf die im Juli 2016 erfolgten Montagearbeiten im Unterflurbereich des Hochregallagers

Abbildung 14 zeigt das Hochregallager in Fahrrichtung des Regalbediengerätes. Links und rechts des Fahrweges sind die Stellplätze für die Formkästen erkennbar.



Abbildung 14: Blick in Richtung des Regalbediengerätes des Hochregallagers



Abbildung 15: Blick auf die Gießlinie des Hochregallagers

Im Bereich der Gießlinie wurden in den Arealen möglicher Gießspritzer die Anlagenbereiche mit Schmelze aufnehmenden Sandfüllungen ausgerüstet (siehe Abbildung 16).

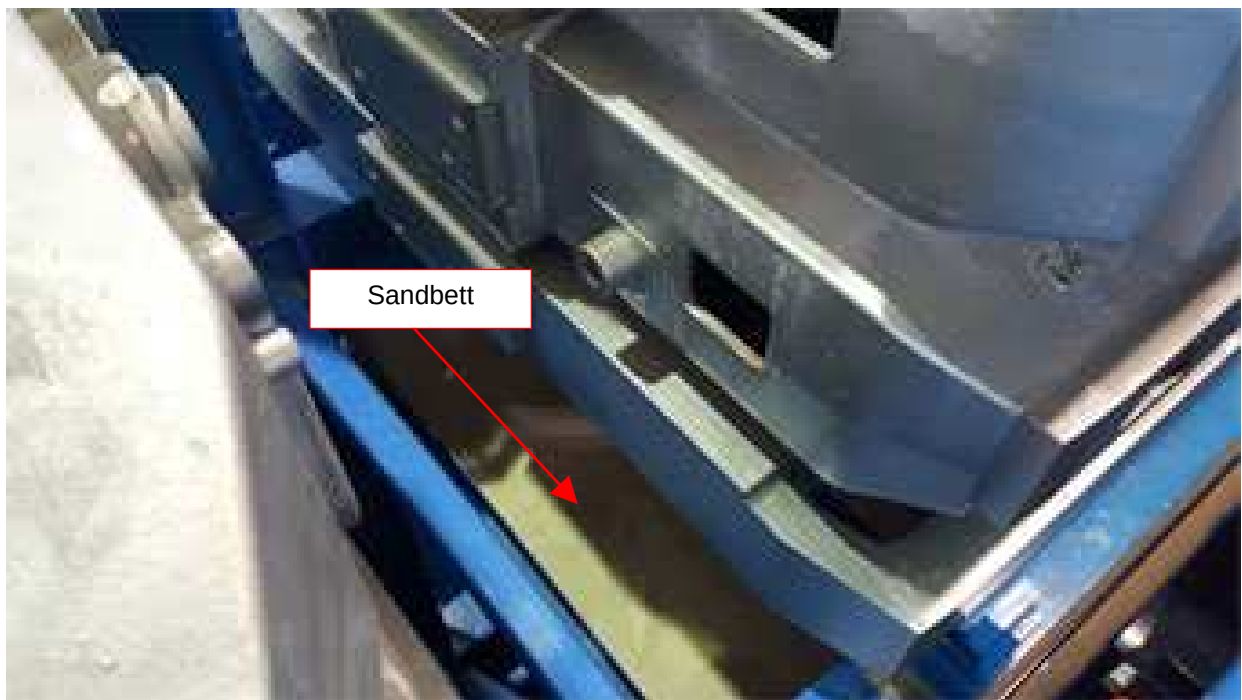


Abbildung 16: Spritzschutz mit Sandbetten

Teilvorhaben 5: Auspackrost / Rinne / Schallschutzmaßnahmen

Das Auspackrost und die Rinne wurden im ersten Halbjahr 2015 bestellt. Bei der Ausarbeitung der Anlagenkonzepte wurden weitreichende Schallschutzmaßnahmen berücksichtigt.

Um die angezielten Verbesserungen beim Schallschutz erreichen zu können, wurde die Linie mit einer Schallschutzkabine eingehaust. Nachstehende Abbildung 17 zeigt exemplarisch eine

speziell entwickelte Schallschutzkabine für den Bereich des Auspackrostes/Rinne. Hierbei wurde eine sehr weitgehende Kapselung erreicht. Um für Reparaturfälle den notwendigen Zugang zu der Produktionsanlage zu gewährleisten, sind demontierbare Schallschutzelemente für Decken und Wände vorgesehen

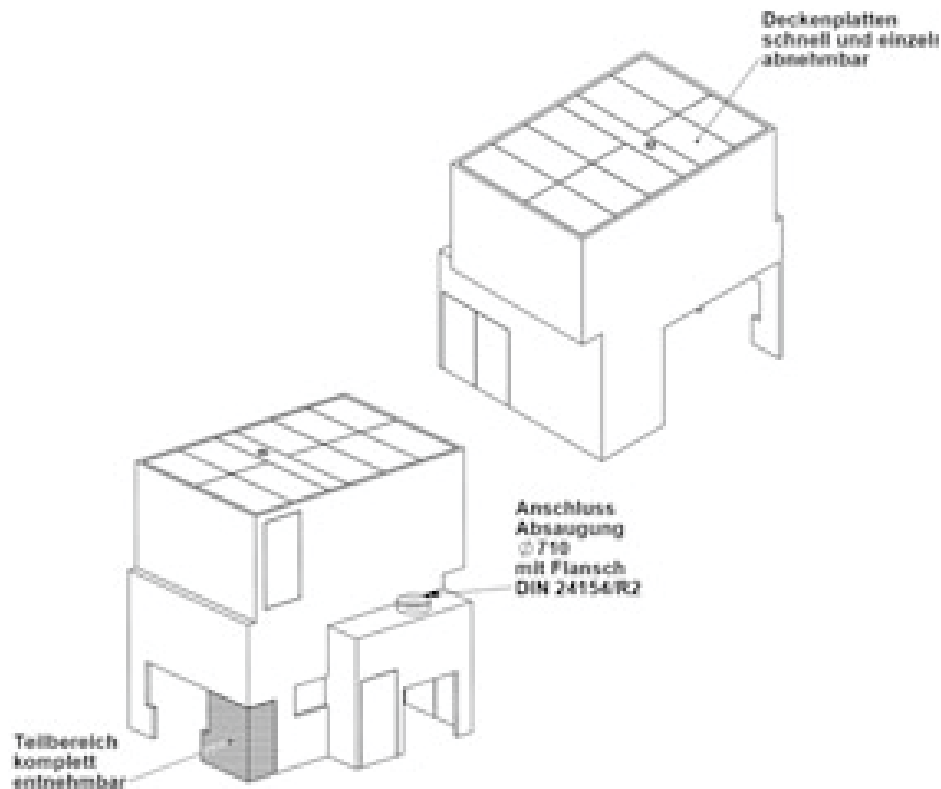


Abbildung 17: Konzept zur Einhausung mit demontierbaren Schallschutzelementen

Im unmittelbaren Ausgangsbereich der Auspackstation musste naturgemäß auf eine Einhausung verzichtet werden. Daher wurden hier sämtliche Ausschleus-Bewegungen im Hinblick auf einen möglichst niedrigen Geräuschpegel optimiert.

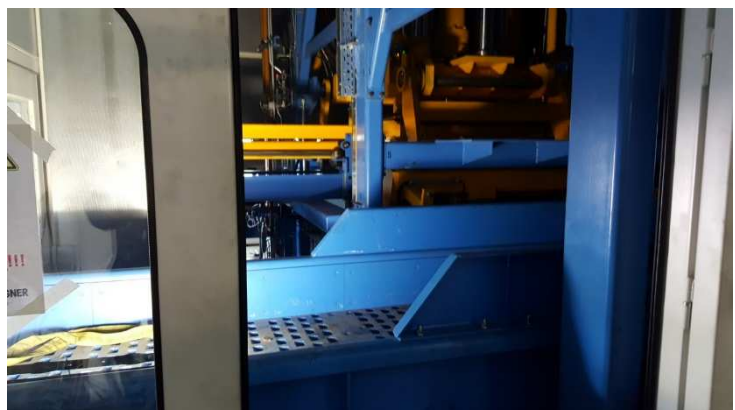


Abbildung 18: Lärmschutzkabine des Rüttelrostes (linkes Bild) sowie Blick auf den Rüttelrost durch eine geöffnete Tür der Schallschutzkabine

Für den Rüttelrost wurde eine spezielle, elektronisch steuerbare Schwingwinkelverstellung entwickelt. Hiermit können (nahezu beliebige) bauteilspezifische Rüttelparameter in zwei Raumrichtungen vorgegeben werden. Einerseits musste hierdurch die erforderliche Trennleistung gewährleistet werden, andererseits sollte ein geringstmöglicher Schallpegel erreicht werden. Ein Teach-in für die optimalen Rüttelparameter musste jeweils nur bei der erstmaligen Fertigung des jeweiligen Produktes erfolgen. Vorgesehen sind aktuell 10 unterschiedliche Parametrisierungen.

Im März 2016 wurde die Werkstattabnahme für den Rüttelrost/Rinne durchgeführt. Im April und Mai 2016 fand die Montage der Auspacklinie statt. Im Anschluss hieran erfolgte die Zurüstung der Schallschutzmaßnahmen im Bereich der Linie.

Um die für die Gesamtanlage angezielten Verbesserungen beim Schallschutz erreichen zu können, wurde - speziell aufgrund der hohen Schallemissionen während des Rüttelvorganges - die Auspacklinie mit einer nahezu geschlossenen Schallschutzkabine ausgerüstet, wodurch eine sehr weitgehende Kapselung der wesentlichen Lärmquelle erreicht wird (Abbildung 18). Um für Wartungsfälle den notwendigen Zugang zur Produktionsanlage zu gewährleisten, wurden teilweise demontierbare Schallschutzelemente für Decken und Wände vorgesehen, die eingepasst und montiert wurden (Abbildung 19).



Abbildung 19: Schallschutzelement links: demontierbares Teil / rechts: fest installierte Schallschutzelemente

Teilvorhaben 7: Formkästen und Paletten

Sämtliche, den Bestellungen vorgelagerten Aktivitäten wurden im ersten Halbjahr 2015 umgesetzt. Die Musterpaletten wurden im 2. Halbjahr 2016 fertiggestellt (siehe Abbildung 20).

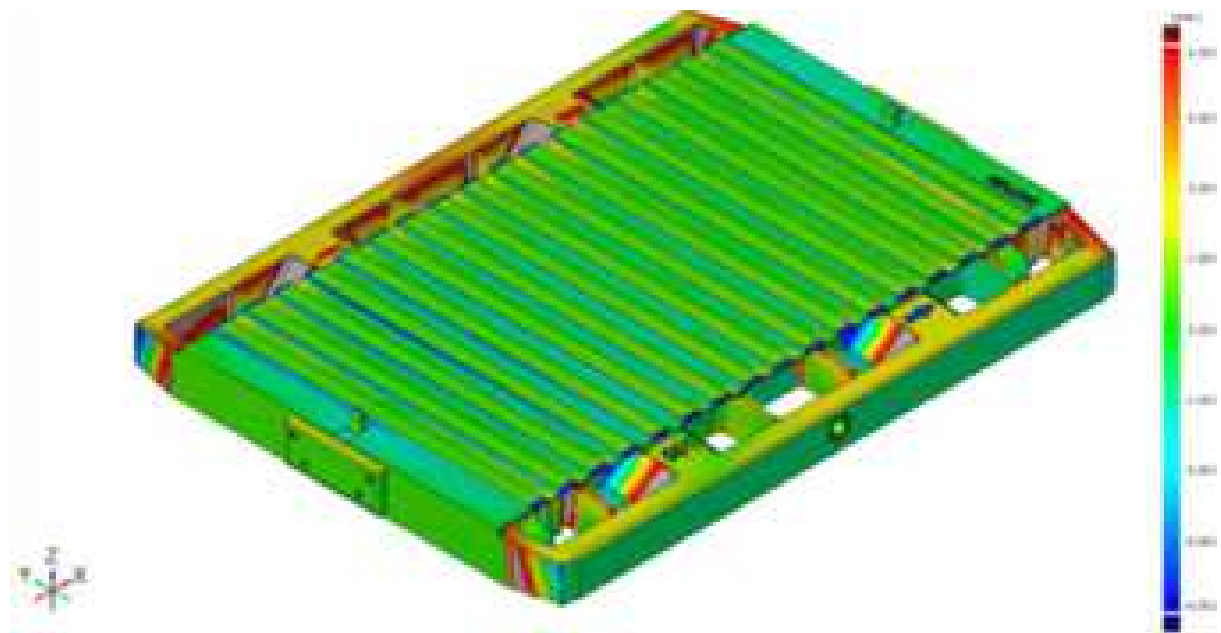


Abbildung 20: Fertig bearbeitete Palette

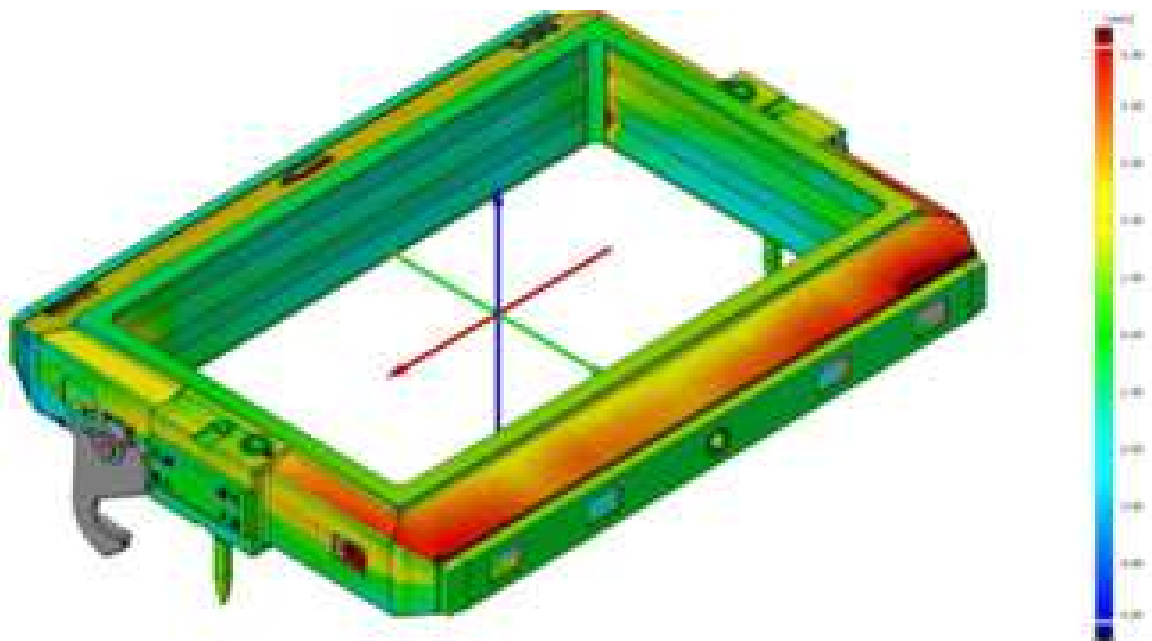


Abbildung 21: Fertig bearbeiteter, oberer Formkasten

Die Formkästen und Paletten wurden fertig bearbeitet und im Juni 2016 angeliefert (Abbildung 22). Es wurden im Juni 2016 bereits erste Probefahrten ohne Beanstandungen durchgeführt.



Abbildung 22: Fertig bearbeitete Palette und Formkästen

Teilvorhaben 8: Fundamente

Im Rahmen der Fundamentplanungen wurde deutlich, dass die Gestaltung der Fundamente - insbesondere wegen der wasserwirtschaftlichen Randbedingungen - wesentlich komplexer und aufwändiger war, als ursprünglich angenommen. In Folge dauerten die Fundamentplanungen ca. 8 Wochen länger als angenommen. Insbesondere die Gesprächsbedarfe zwischen den Anlagenbauern, dem Architekten sowie dem Statiker benötigten erhebliche zusätzliche Zeiträume, um zu einer abgestimmten Lösung zu gelangen.

Die vorliegenden finalen Fundamentplanungen wiesen fast eine Verdopplung der zu vergießenden Betonmasse auf. Die wesentlichen Zeit- und Kostentreiber bei den Ausschachtungsarbeiten waren die auf Basis einer Prüfstatik für Spezialtiefbau notwendig gewordenen Spundarbeiten zur Sicherung der benachbarten Produktionsbereiche sowie auszuführende Kernbohrungen und temporäre Beton-Ausspritzungen, speziell auch zur Sicherung der mit Schwerlast-LKW befahrenen Werkstraße (siehe Abbildung 23). Ende Januar 2016 konnte bereits eine Sauberkeitsschicht eingebracht werden.

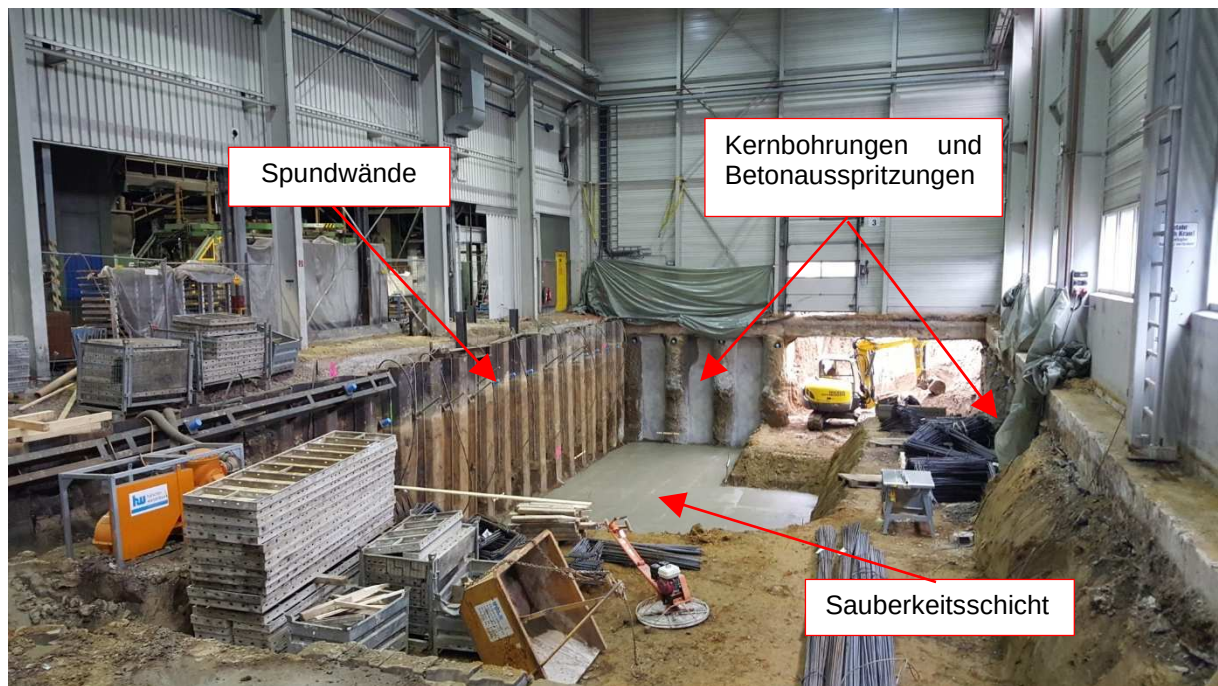


Abbildung 23: Status der Fundamentarbeiten im Hallenbereich | 02.02.2016

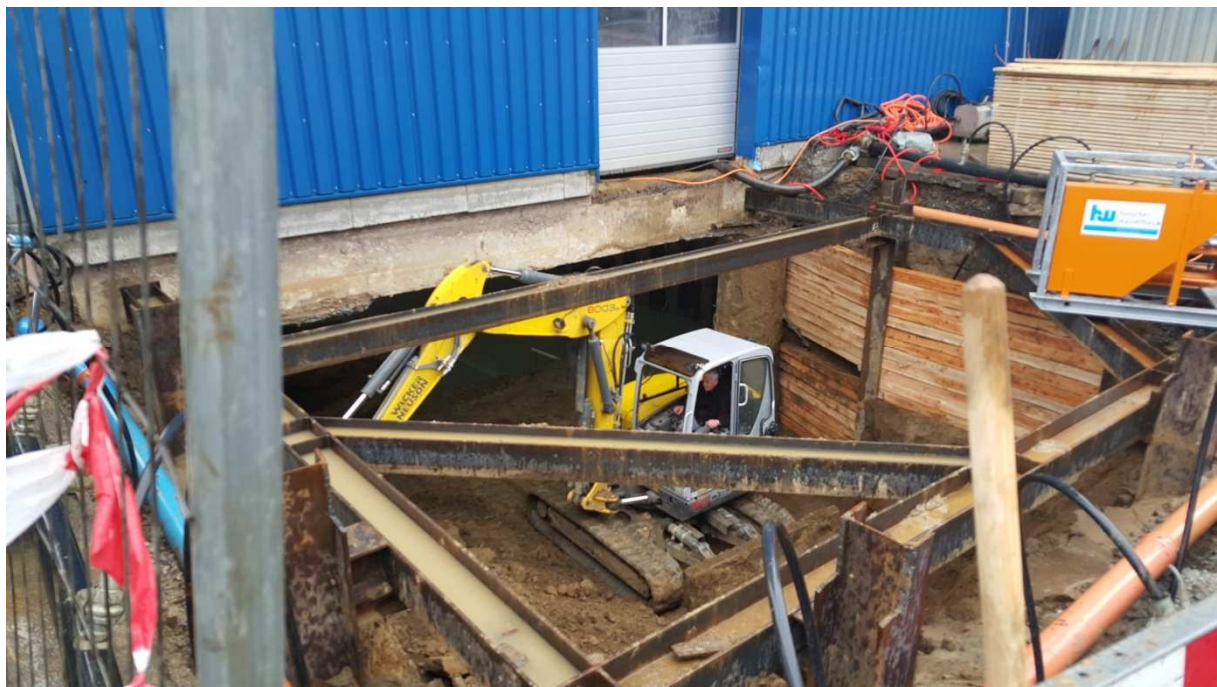


Abbildung 24: Status der Fundamentarbeiten im Außenbereich | 02.02.2016

Ende März 2016 konnten die Fundamentarbeiten abgeschlossen werden.

Teilvorhaben 8: Anbindung an die Zuluftversorgung und Entstaubungsanlage

Wesentlich mit dem neuartigen Anlagenkonzept verbunden ist die Forderung nach einer bestmöglichen Absaugung der beim Gießen entstehenden Stäube, Dämpfe und Gerüche.

Parallel zu dem geförderten Vorhaben wurde im Berichtszeitraum eine komplett neue lufttechnische Anlage zur Absaugung und Zuluftbereitstellung an sämtlichen Anlagenbereichen des Schmelz- und Gießbetriebes konzipiert.

Die Anbindung des Ab- und Zuluftsystems der neuen Gießanlage an die neue lufttechnische Anlage wurde im Berichtszeitraum ebenfalls erarbeitet. Aufgrund der nur kleinen vorhandenen Gieß- und Abkühlareale innerhalb der neuartigen Gießlinie wurden unterschiedliche technische Konzepte für die Absaugung der gegossenen Kästen entwickelt und erprobt. Da oberhalb der Kästen kein Raum für die Installation entsprechender Einrichtungen zur Verfügung steht, wurden alternative Absaugpositionen überprüft. Das bestgeeignete Konzept sieht demnach eine seitliche, kanalartige Absaugleiste vor (siehe Abbildung 25), wobei die Position und Bauform der Absaugleiste sowie die lufttechnischen Betriebsparameter des Unterdrucksystems in Betriebsversuchen sukzessive optimiert wurden.



Abbildung 25: Absaugversuche mittels seitlich angebrachter Absaugleisten; das rechte Bild zeigt die erreichte Absaugwirkung während des Gießens im Vergleich zur nicht betriebenen Anlage (linkes Bild).

Alle Anlagenkomponenten sowie die Anbindung an die lufttechnische Anlage wurden im April 2015 bestellt. Die parallel zu dem geförderten Vorhaben bestellte, zentrale Zuluft- und Entstaubungsanlage wurde im 2. Halbjahr 2015 angeliefert, montiert und probenhalber in Betrieb genommen (siehe Abbildung 26).



Abbildung 26: Parallel zum Vorhaben installierte zentrale Luftversorgungsanlage | 02.02.2016

Die Vorrüstungen von Zu- und Abluftleitungen waren so weit wie aktuell möglich realisiert worden (siehe Abbildung 27). Eine Anbindung an die vor Ort zu versorgenden Stellen erfolgte sukzessive, nach jeweils erfolgter Montage der Produktionsanlage.



Abbildung 27: Vorgerüstete Leitungen für den Anschluss von Zu- und Abluftstellen | 02.02.2016

Über das Konzept zur Absaugung der entstehenden Stäube, Dämpfe und Gerüche wurde zuvor berichtet. Das favorisierte Konzept sah seitliche, kanalartige Absaugleisten vor. Die Position und Bauform der Absaugleiste sowie die lufttechnischen Betriebsparameter des Unterdrucksystems waren auf Basis von Betriebsversuchen bereits sukzessive optimiert und festgelegt worden.

Um die erwartete Absaugwirkung im Bereich der austretenden Gießgase nun in Zusammenhang mit den tatsächlichen Betriebsparametern der gelieferten Zu- und Abluftanlage weiter optimieren zu können, wurden spezielle Strömungssimulationen auf Basis des Systems „FLOW-3D“ in Auftrag gegeben. Die durchgeführten Simulationen führten zu Detail-Anpassungen an den Absaugkanälen, sodass im direkten Absaugbereich möglichst hohe und gleichmäßige Strömungsverhältnisse erreicht wurden. In finalen Simulationsläufen konnte dargelegt werden, dass bei einem systemseitig realisierbaren Differenzdruck sich an allen Stellen im unmittelbaren Wirkbereich des Absaugkanals die benötigten, hohen Absauggeschwindigkeiten einstellen.

Nachfolgende Abbildung 28 zeigt beispielhaft die sich an zwei unterschiedlichen Stellen des Absaugeinganges (M1 und M2) einstellenden Absauggeschwindigkeiten bei einer vom Absaugsystem zur Verfügung gestellten Absaugleistung von 8.000 m³/h. Es wurde deutlich, dass im wirkenden Querschnittsbereich des Absaugkanals gleichmäßige und ausreichend hohe Gasgeschwindigkeiten ausgewiesen werden.

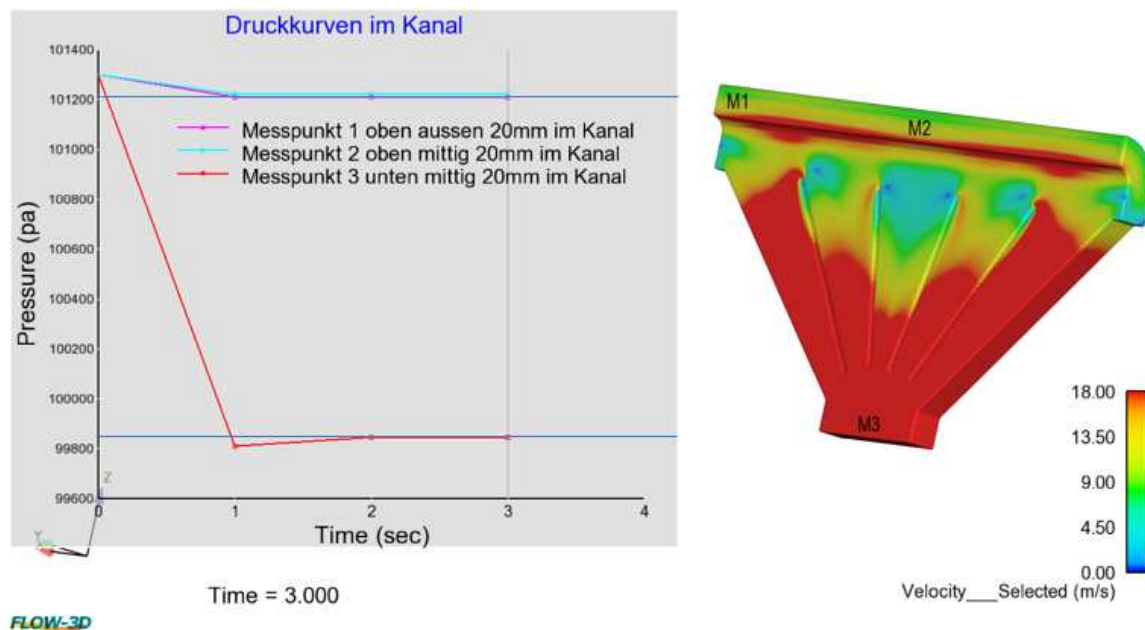


Abbildung 28: linkes Teilbild: Druckkurven im verwendeten Absaugkanal rechtes Teilbild: Gasgeschwindigkeiten im unmittelbaren Absaugquerschnitt (M1 und M2) sowie in der Zuleitung M3

Im ersten Halbjahr 2016 wurden dem Montagefortschritt der Produktionsanlagen entsprechend die Anbindungen zur Zuluftversorgung und zur Entstaubungsanlage sukzessive ausgeführt. Die Ausführung der Absaugleisten im Bereich der Croning-Anlage (Abbildung 29) wurde auf Basis von Strömungssimulationen optimiert und die derart optimierten Absaugleisten wurde gefertigt, montiert und in Betrieb genommen. Die Wirkung der Absaugleisten zeigte sehr zufriedenstellende Ergebnisse auf, die im Kapitel 3 dieses Berichtes ausführlich dargelegt werden.

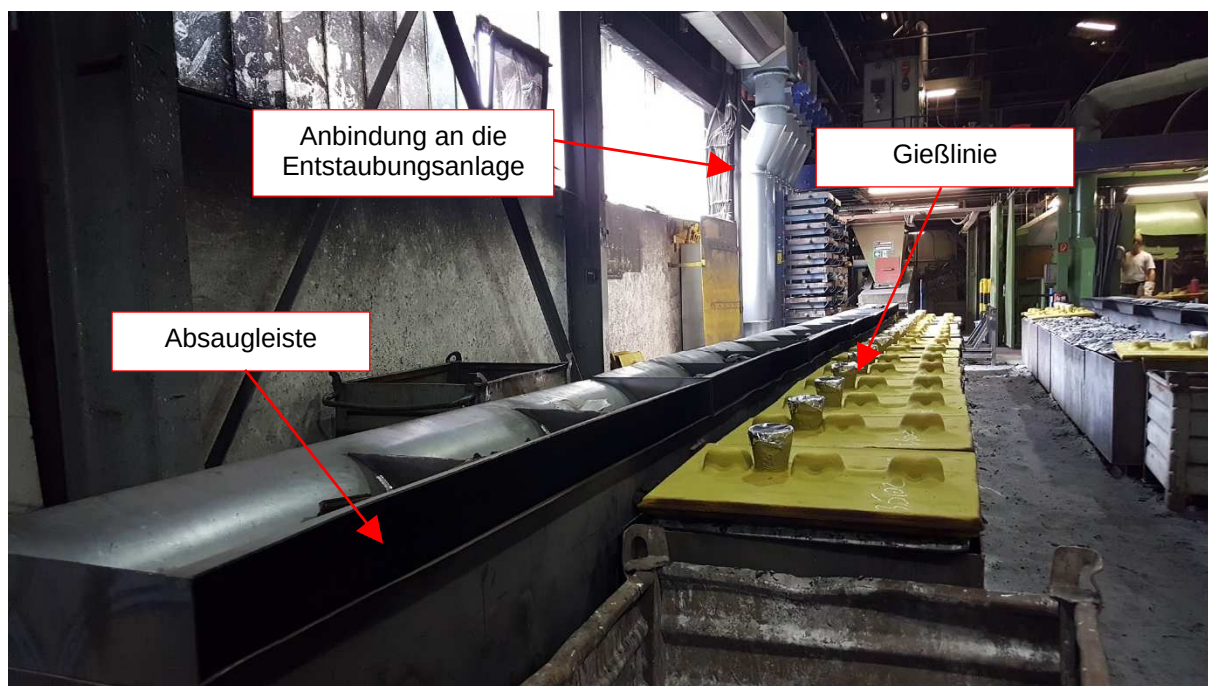


Abbildung 29: Installierte Absaugleisten an der Croning-Gießanlage und Anbindung an die Entstaubungsanlage



Abbildung 30: Anbindung des Hochregallagers an die Entstaubungsanlage

Teilvorhaben 9: Anbindung an medienführende Leitungen

Entsprechend der Montagefortschritte an den Produktionsanlagen wurden im ersten Halbjahr 2016 die Anbindungen an die medienführenden Leitungen durchgeführt.

Teilvorhaben 9: Montage und Inbetriebnahme

- Die Montagearbeiten konnten im Oktober 2016 abgeschlossen werden.
- Der Start der Warminbetriebnahme begann in KW 34.
- Die Warminbetriebnahme konnte im Dezember 2016 abgeschlossen werden.

Störfälle:

Bei der Inbetriebnahme des Regalbediengerätes entstand durch ausgelaufenes Hydrauliköl ein Brandschaden insbesondere an den Versorgungs- und Steuerleitungen, was zu einem Stillstand der Anlage von ca. 3 Wochen führte (Beginn KW36).

Im Rahmen von Optimierungen an der Hydraulikstation wurde fand eine unbemerkte Überhitzung des Hydrauliköls statt. Hierdurch mussten wesentliche Komponenten ausgetauscht werden (Pumpen, Ventile, Betriebsmittel), Stördauer 3 Wochen (Beginn KW 37).

2.4 Behördliche Anforderungen (Genehmigungen)

Zur Errichtung der Anlage waren eine behördlichen Genehmigung nach dem BImSchG erforderlich. Die Genehmigung wurde am 06.07.2016 erteilt. Die für den Betrieb der Anlage erforderlichen Konformitätserklärungen der Hersteller liegen vor.

2.5 Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten

Im Vorfeld der Durchführung des Messprogrammes für den Neu-Zustand wurden im Oktober 2016 die Messstellen und Messparameter überprüft und endgültig zwischen der Metatech GmbH, der EFA und der Friedrich Lohmann GmbH abgestimmt. Die nachfolgende Tabelle 8 gibt einen aktualisierten Überblick:

Nr.	Bezeichnung Messstelle	Medium	Messparameter	Häufigkeit	Anzahl Messungen / Proben	Durchführung Messung
Soll-Zustand						
1.	Ofen (Senkung Abstichtemperatur Induktionsöfen)	Elektroenergie	kWh	täglich	7 * 12 Wochen	Ablesung Zählerstand Es wurde ersatzweise eine Berechnung durchgeführt
2.	Ofen (Senkung Wartezeit Induktionsöfen)	Elektroenergie	kWh	täglich	7 * 12 Wochen	Ablesung Zählerstand
3.	Ofen	Abbrand	t	täglich	7 * 12 Wochen	Kalkulation
4.	Auswertung Ausschuss	Ausschuss (überhitzte Schmelzen, Kaltverschweißungen)	t	täglich	7 * 12 Wochen	Protokoll
5.	Vermiedene Ausschussmengen	Elektroenergie	kWh	täglich	7 * 12 Wochen	Herleitung über vermiedenen Ausschuss
6.	Absaugung Arbeitsplatzmessungen 3 Stück	Staubemissionen	Div.	3 Monate	3 x	Externe und Interne Messung / Gewicht Staub
7.	Wärmetauscher Absaugung	Wärmemenge	kWh	täglich	7*12 Wochen	Ablesung Zählerstand
8.	Ofenprotokoll	Produktionsmenge	t	täglich	7 *12 Wochen	Auswertung Protokoll
9.	Protokoll Formanlage	Produktionsmenge	t	täglich	7 *12 Wochen	Auswertung Protokoll
10.	Formanlage (IE3/IE4)	Elektroenergie	kWh	täglich	7 * 12 Wochen	Ablesung Zählerstand

Tabelle 8: Messstellen, -medien und –parameter Soll-Zustand

In Abweichung zum Messtellenplan wurden folgende Änderung notwendig:

Messtelle 1: Geplant war eine fortlaufende Erfassung der Abstichtemperaturen an den Induktionsöfen, um anhand dieser Werte einen Vergleich mit den Abstichtemperaturen an der Altanlage durchführen zu können.

Da sich das Produktprogramm im Verlaufe des Vorhabens erheblich geändert hat, ist ein Vergleich der mittleren Abstichtemperaturen jedoch nicht aussagefähig. Ersatzweise wird zum Nachweis der veränderten Abstichtemperaturen daher ein Verfahren angewendet, bei dem die im Mittel eingesparten Transportzeiten der gefüllten Pfannen und die damit einhergehenden verringerten Abstrahlverluste bilanziert werden. Die Vorgehensweise ist in Kapitel 3.3.3.1 „Absenkung der Abstich-Temperaturen um im Durchschnitt 40 °C“ im Detail dargelegt.

Die Messungen für die neue Anlage wurden am 1. Februar 2017 gestartet und sind Ende Juli 2017 beendet worden. Eine umfassende Beschreibung der Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten (Messprogramm) findet in Kapitel 3.2 und 3.3 statt.

3. Ergebnisse

3.1 Bewertung der Vorhabensdurchführung

Die technische Konzeption für das ressourceneffiziente Formen und Gießen hochwertiger Sandguss-Bauteile in kleinen und mittleren Serien (Losgrößen 1 bis 500) konnte inhaltlich plangemäß umgesetzt werden. Wesentlicher Kernpunkt des Vorhabens war die Anordnung der Formkästen in Hochregallagerform, sodass eine Reduktion der für das Gießen und Formen benötigten Produktionsfläche um ca. 50 % erreicht wird. In Kombination mit speziell erarbeiteten logistischen Planungs- und Steuerungsprozessen konnte insbesondere die Zielsetzung eines verbesserten Temperaturmanagements der Induktionsöfen und des Abgießens erreicht werden.

Die bei der Planung des Vorhabens erkannten technischen Herausforderungen und Risiken waren beherrschbar. Zur Erreichung einer Wirtschaftlichkeit für die Gesamtinvestition ist insbesondere das Erreichen der geplanten Chargenzeiten wesentlich. Die hierfür notwendigerweise zu erreichenden mittleren Taktzeiten hängen entscheidend von den erreichten Manipulationszeiten der Formkästen sowie von der erreichten logistischen Qualität der Gussreihenfolge ab.

3.2 Durchführung und Ergebnisse des Messprogramms

Die Entscheidung zur Umsetzung des Vorhabens war maßgeblich durch die Erwartung an signifikant verbesserte Umweltauswirkungen beeinflusst. Während der Planung des Vorhabens wurden auf Basis der beabsichtigten technologischen Veränderungen die jeweils anzunehmenden umwelttechnischen Auswirkungen quantifiziert und zu unterschiedlichen Ressourcenbereichen zusammengefasst.

Nachfolgende Tabelle 9 zeigt zusammenfassend die an die Neuanlage gestellten Erwartungen anhand spezifischer Kennwerte für die unterschiedlichen Ressourcenbereiche und Umweltauswirkungen auf. Die Tabelle verweist in der Spalte „Kapitel“ auf die Herleitungen zu den jeweiligen umwelttechnischen Auswirkungen.

- Auf der Materialseite wurden durch die Verringerung des Abbrandes sowie durch Ausschussreduktion Materialeinsparungen von in Summe 17 kg je Tonne Flüssigerzeugung erwartet (Kapitel 3.2.1 und 3.2.2).
- Auf der Energieseite war eine Senkung des Stromverbrauches um 147 kWh je Tonne Flüssigerzeugung geplant. Hiermit direkt verbunden ist eine Reduktion des CO₂-Ausstoßes um 89 kg je Tonne Flüssigerzeugung (Kapitel 3.2.3 und 3.2.4).
- Es wurde eine Reduktion von diffusen, an die Umgebung abgegebenen Stäuben von 6 kg je Tonne erwartet (Kapitel 3.2.5).
- Infolge des platzsparenden Anlagenkonzeptes war eine Reduktion des Flächenbedarfes für die Gießlinie um 0,09 m² / (t * a) als erreichbar angesehen (Kapitel 3.2.6).

Kapitel	Ressourcenverbräuche & Umweltauswirkungen	geplante spezifische Reduktion
3.2.1	Reduktion des Ausschusses	7,00 kg/t
3.2.2	Reduktion des Abbrandes	10,0 kg/t
3.2.3	Reduktion des Stromverbrauchs	147 kWh/t
3.2.4	Reduktion des CO ₂ -Ausstoßes	89,0 kg/t
3.2.5	Reduktion von diffusen, in die Umgebung abgegebenen Stäuben	6,00 kg/t
3.2.6	Verringerung der Produktionsfläche um 50 % für das Formen, Gießen, Erstarren und Abkühlen	0,09 m ² /(t*a)

Tabelle 9: Geplante Veränderungen bei den Ressourcenverbräuchen und Umweltauswirkungen

Ferner wurden weitere umwelt- und arbeitsbereichsbezogene Verbesserungen im Bereich der Geräuschemissionen sowie der Emissionen erwartet. Eine Quantifizierung dieser Verbesserungen war im Vorfeld des Vorhabens nicht möglich. Hierzu wird in den Kapitel 3.2.7 bis 3.2.8 berichtet.

3.2.1 Reduktion des Ausschusses (Messstelle 4)

Der wahlfreie Zugriff auf die Formkästen erlaubt eine gießtechnologisch optimierte Produktion und führt insgesamt zu einer Vergleichmäßigung und Reproduzierbarkeit des Gießablaufes. Hierdurch wird insbesondere auch ein verbessertes Temperaturmanagement beim Abgießen erreicht. Erwartet wurde hierdurch insbesondere eine Reduktion derjenigen Fehlertypen, die durch unzulässig stark abgekühlte Schmelzen verursacht werden. Hierbei handelt es sich um die Fehlertypen „Kaltanschweißungen“ und „nicht ausgelaufene Schmelze“.

Planansatz:

Es wurde angenommen, dass eine Ausschussverminderung von 7 kg/t = 0,7 % bezogen auf die Flüssigerzeugung erreicht werden kann.

Ist:

Es wurden diejenigen Ausschussmengen erfasst, die vom Betrieb mit den Fehlertypen „Kaltanschweißungen“ und „nicht ausgelaufene Schmelzen“ dokumentiert wurden (Anlage 3.3.1). Nachfolgende Zeiträume werden im Folgenden vergleichend gegenübergestellt:

- **Zeitraum 1:** Januar 2006 bis einschließlich April 2016 (ca. 10 Jahres-Produktionsintervall der Altanlage)
- **Zeitraum 2:** Mai 2015 – April 2016 (letztes Produktionsjahr der Altanlage)
Während des Zeitraums von Mai 2016 bis Dezember 2016 erfolgten der Umbau und die Inbetriebnahme der Anlage; Daten aus diesem Zeitraum wurden nicht berücksichtigt.
- **Zeitraum 3:** Januar 2016 bis März 2016 (3-monatiges Produktionsintervall beginnend nach erfolgreicher Warminbetriebnahme der Neuanlage)

Die ermittelten Ausfallmengen wurden auf die zugrundeliegenden Flüssigerzeugungen bezogen, Es ergibt sich der in nachfolgender Tabelle 10 dargestellte Vergleich:

Betrachtungszeitraum	Ausfall infolge „Kaltan-schweißungen“ in %-Punkten	Ausfall infolge „nicht ausgelaufener Mengen“ in %-Punkten	Ausfall Σ beide Fehlertypen in %-Punkten
Zeitraum 1 / Altanlage	0,95	1,11	2,06
Zeitraum 2 / Altanlage	1,24	0,84	2,08
Zeitraum 3 / Neuanlage	0,68	0,52	1,20
		Differenz (Alt-Neu)	0,86 - 0,88

Tabelle 10: Ausfallmengen im Vergleich Altanlage / Neuanlage

Das Ergebnis zeigt, dass durch das erreichte verbesserte Temperaturmanagement die Ausfallmengen um ca. 0,87 % = 8,7 kg/t (Plan: 7,0 kg/t) bezogen auf die Flüssigerzeugung reduziert werden konnten. Neben einer Verringerung der Ausfallmengen kann eine verbesserte Oberflächenqualität der Gusserzeugnisse verzeichnet werden. Nachstehende Abbildung 31 zeigt die erreichte Oberflächenverbesserung der Gusserzeugnisse an typischen Beispielen auf.



Abbildung 31: Oberflächenqualität typischer Erzeugnisse;
linkes Bild: Neuanlage, rechtes Bild: Altanlage

3.2.2 Reduktion des Abbrandes (Messstelle 3)

Im Rahmen der Vorhabenplanung war eine mögliche Absenkung des Abbrandes um 10 kg/t abgeschätzt worden. Grundlage hierfür waren die Zielsetzungen, einerseits die Wartezeiten der Induktionsöfen um 3 h/Tag abzusenken und andererseits eine Reduzierung der Schmelztemperaturen zu erreichen. Hiervon ausgehend wurde eine Senkung der spezifischen elektrischen Energie um 29,3 kWh/t angenommen.

Da ein direkter Nachweis bezüglich des verminderten Abbrandes betrieblich nicht erreicht werden kann, wurde der Nachweis wie folgt vorgenommen:

- Auf Basis von internen Erfahrungswerten wird von einem Abbrand von 5% ausgegangen. Wesentlich für die Höhe des Abbrandes ist insbesondere auch der Gehalt des Legierungselementes Nickel. Nachfolgendes Diagramm (Abbildung 32) zeigt die Abbrandwerte als Funktion des Nickelgehaltes vergleichend für die Ofentypen „Lichtbogenofen“ und „kernloser Induktionsofen“. Für das typisch gefertigte Programm bei Lohmann kann von einem mittleren Nickelgehalt von ca. 15 % ausgegangen werden. Hiermit wird nach Abbildung 32 ein Abbrandwert von ebenfalls ca. 5 % verursacht.

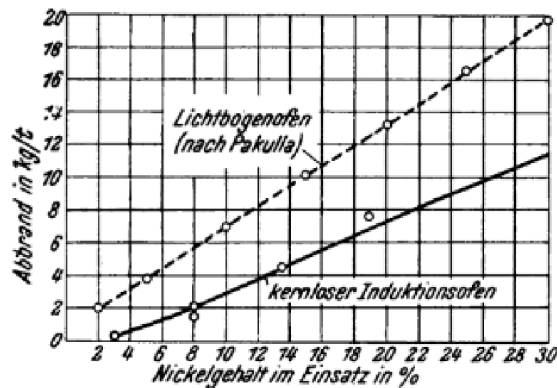


Abbildung 32: Abbrand in Abhängigkeit vom Nickelgehalt,
Quelle: „Die Edeltahlerzeugung“, Franz Leitner, Erwin Plöckinger

- Es wird ferner davon ausgegangen, dass der Schlackenanteil etwa Zweidrittel des gesamten Abbrandes beträgt und dieses Verhältnis konstant bleibt. Hiermit kann ausgehend von den beobachteten Veränderungen bei den Schlackenmengen auf den gesamten Abbrand wie nachfolgend dargelegt geschlossen werden:

Planansatz:

- Δ Abbrand = 10 kg/t

Ist:

Es wurden vergleichend die angefallenen Schlackenmengen vor und nach dem Umbau der Anlage gemessen.

- Schlackenanfall Altanlage, Zeitraum: 01-2016 bis 06-2016 = 33,3 kg/t
- Schlackenanfall Neuanlage, Zeitraum: 11-2016 bis 03-2016 = 24,3 kg/t

Unter der Annahme, dass die anteiligen Schlackenmengen 2/3 des gesamten Abbrandes darstellen wird die Veränderung des Abbrandes mit Δ 13,55 kg/t ausgewiesen (Tabelle 11).

Vergleichswerte	Schlackenanstieg in kg/t	Abbrand (1,5 * Schlackenanstieg) in kg/t
Altanlage	33,33	50,00
Neuanlage	24,30	36,45
Differenz (Alt -Neu)	9,03	13,55

Tabelle 11: Herleitung der veränderten Abbrandmengen

3.2.3 Reduktion des Stromverbrauches (Messstellen 1, 2, 5, 10)

Angezielt war insgesamt eine Reduktion des spezifischen Stromverbrauches je Tonne Flüssigerzeugung von ca. 147 kWh/t. In nachfolgender Tabelle 12 sind die anteiligen Planansätze und die im Rahmen des Messprogramms ermittelten Ist-Werte zusammenfassend dargestellt.

Kapitel	anteilige elektrische Energieeinsparungen	Plan spezifisch in kWh/t	Ist spezifisch in kWh/t
3.2.3.1	Senkung der Abstich-Temperaturen um im Durchschnitt 40°C	30	15
3.2.3.2	Stromverbrauchsreduktion der Induktionsöfen	29	77
3.2.3.3	Reduzierung der Energieaufwände durch Ausschussminimierung	8	10
3.2.3.4	Energieeinsparung durch Motoren mit dem Premium-Wirkungsgrad IE3	22	10
3.2.3.5	Abwärmenutzung	58	115
	Summe	147	227

Tabelle 12: Vergleich der geplanten mit den erreichten elektrischen Energieeinsparungen

Im Nachfolgenden werden die Planansätze für die anteiligen Stromverbrauchsreduktionen den tatsächlich erreichten Einsparungen gegenübergestellt.

3.2.3.1 Absenkung der Abstich-Temperaturen um im Durchschnitt 40 °C (Messstelle 1)

Die im Folgenden dargelegte Energieeinsparung wird durch den mit der Neuanlage erreichten wahlfreien Zugriff auf die Formkästen bewirkt. Hierdurch werden die Warte-, Transport- und Manipulationszeiten beim Erschmelzen und Abgießen im Vergleich zur Altanlage erheblich verringert. In Folge kann eine Absenkung der Abstich-Temperaturen vorgenommen werden. Geplant war eine durchschnittliche Absenkung der Abstichtemperatur um 40 °C.

Planansatz:

Die Stromverbrauchseinsparung wurde unter nachfolgenden Annahmen hergeleitet:

- Enthalpie-Änderung bei Absenkung der Abstichttemperatur um $\Delta \vartheta = 40 \text{ °C}$:
 $\Delta H = - 32 \text{ kJ/kg}$
- Ofenwirkungsgrad, $\eta = 0,30$

Hiermit ergibt sich folgende Stromverbrauchsreduktion, Δw :

$$\Rightarrow \Delta w = \Delta H / \eta = 32 \text{ kJ/kg} / 0,30 / 3,6 \text{ kWh/kJ} = \text{ca. } 30 \text{ kWh/t}$$

Ist:

Aufgrund des sich gegenüber der Planung geänderten Produktprogrammes ist ein Vergleich der durchschnittlichen Abstichttemperaturen nicht zielführend.

Ersatzweise wird die eingesparte durchschnittliche Fahrzeit einer Schmelze als Grundlage für die Berechnung einer im Durchschnitt erreichten Absenkung der Abstichttemperatur herangezogen. Anlage 3.3.3.1a beschreibt das Vorgehen im Detail. Die Messungen wurden im Mai 2017 durchgeführt. Demnach ergibt sich folgendes:

- Die durchgeführten Temperaturmessungen an typischen Schmelzen zeigen, dass die Schmelzen während des Handlings nach dem Abstich im Durchschnitt um $4,5 \text{ °C/min}$ abkühlen.
- Auf Basis von Fahranalysen wird aktuell gegenüber der Altanlage eine mittlere Fahrzeiteinsparung von $4,1 \text{ min}$ je Schmelze gemessen.
- Hieraus errechnet sich eine mögliche Reduzierung der Abstichttemperatur von ca. 20 °C ; die eingesparte spezifische Energiemenge für diesen Temperaturhub leitet sich wie nachfolgend dargelegt ab.

$$\Rightarrow \text{Enthalpie-Änderung bei Absenkung der Abstichttemperatur um } \Delta \vartheta = 20 \text{ °C},$$

$$\Delta H = - 16 \text{ kJ/kg Einsatzmenge}$$

$$\Rightarrow \Delta w = \Delta H / \eta = 16 \text{ kJ/kg} / 0,30 / 3,6 \text{ kWh/kJ} = \mathbf{15 \text{ kWh/t}}$$

Der Planansatz, eine durchschnittliche Absenkung der Abstichttemperaturen um 40 °C zu erreichen konnte bislang noch nicht eingestellt werden. Grund hierfür ist, dass der Pfannentransport von der Ofenhalle zur neu errichteten Gießhalle aktuell noch nicht komplett mittels eines Schienentransportes dargestellt werden kann. Vielmehr müssen die Pfannen von der Zwischenhalle zur Gießhalle zurzeit mittels Gabelstapler transportiert werden, wodurch sich die Transportzeiten gegenüber der Planung erheblich verlängern (siehe Anlage 3.3.3.1 b).

Wir gehen davon aus, dass nach Zurüstung des noch fehlenden Schienentransportsegmentes die geplanten Transportzeiten erreicht werden und damit auch die ursprünglich geplante Absenkung der Gießtemperatur um im Mittel 40 °C realisiert werden wird.

3.2.3.2 Stromverbrauchsreduktion der Induktionsöfen (Messtelle 2)

Die hier dargelegte Stromverbrauchsreduktion wird im Wesentlichen durch den wahlfreien Zugriff auf die Gießkästen in Kombination mit einem hierauf aufbauenden Logistikkonzept erreicht. Durch den wahlfreien Zugriff auf die Gießkästen können die betrieblichen Vorgabezeiten für den gesamten Gießvorgang präzise bestimmt werden.

Im Ergebnis können die Ofenfahrweisen beider Induktionsöfen mittels Rückwärtsterminierung so geplant werden, dass die Haltezeiten der Schmelzen in den Induktionsöfen erheblich verringert werden können. Planansatz war die Verringerung dieser Haltezeiten je Ofen um $3 \text{ Stunden pro Tag}$.

Planansatz:

- Verringerung der durchschnittlichen täglichen Wartezeit, Δ Wartezeit = 3 h
 - Anzahl Arbeitstage pro Jahr = 220 Tage/Jahr
 - Durchschnittliche Flüssigerzeugung = Erzeugung_{Tag} = 20,45 t/Tag
 - Stromverbrauch 1,0 t-Ofen im Haltebetrieb, $P_{\text{Ofen1}} = 120 \text{ kW}$
 - Stromverbrauch 0,5 t-Ofen im Haltebetrieb, $P_{\text{Ofen2}} = 80 \text{ kW}$
- $\Rightarrow \Delta w = \Delta \text{ Wartezeit} * (P_{\text{Ofen1}} + P_{\text{Ofen2}}) / \text{Erzeugung}_{\text{Tag}}$
- $\Rightarrow \Delta w = 3 \text{ h} * (120 \text{ kW} + 80 \text{ kW}) / 20,45 \text{ t/Tag} = \text{ca. } 29 \text{ kWh/t}$

Ist:

Die Ermittlung der Einsparung erfolgt durch einen Vergleich der Gesamtverbräuche beider Öfen vor sowie nach Umsetzung des Vorhabens. Die Dokumentation zu den Verbräuchen befindet sich in Anlage 3.3.3.2.

- Der Referenzwert der Altanlage wurde anhand von Stromverbrauchsaufzeichnungen für zwei Referenzmonate (Dez. 2015 und März 2016) ermittelt.
- Die Verbrauchswerte der Neuanlage wurden für die Monate Dez 2016 und März 2017 ermittelt.

Demnach ergibt sich nachfolgender Vergleich:

Vergleichswerte	Verbrauch in kWh	Flüssigerzeugung in t	spezifischer Stromverbrauch in kWh/t
Altanlage	295.554	304,76	969,79
Neuanlage	449.302	512,27	877,08
		Differenz (Alt -Neu)	92,71

Tabelle 13: Ergebnisse der Verbrauchsmessungen beider Induktionsöfen

Beachtet werden muss, dass bei der vorgestellten Auswertungsmethode auch die bereits unter 3.2.3.1 hergeleiteten Einsparungen enthalten sind. Insofern muss der ausgewiesene Wert von $\Delta w = 92,7 \text{ kWh/t}$ um 15 kWh/t reduziert werden. Im Ergebnis wird durch die erreichte Verringerung der Wartezeiten der Induktionsöfen eine spezifische Energieeinsparung von $\Delta w = \text{ca. } 77 \text{ kWh/t}$ realisiert.

3.2.3.3 Reduzierung der Energieaufwände durch Ausschussminimierung (Messstelle 5)

Die erreichte Reduzierung des Ausschusses ist in 3.2.1 bereits dargelegt worden. Parallel zu einer Ausschussreduzierung wird eine Verringerung des Energieaufwandes erreicht.

Planansatz:

- $\Rightarrow$ Ausschussverminderung, Δ Ausbringen = 7 kg/t
- $\Rightarrow$ elektr. Energieverbrauch je t Flüssigerzeugung, $W_{\text{elektrisch}} = 1.144 \text{ kWh/t}$

Die erreichbare Energieeinsparung wurde wie nachfolgend dargelegt mit 8 kWh/t abgeschätzt.

$\Rightarrow \Delta w = \Delta \text{ Ausbringen} * W_{\text{elektrisch}} = 7 \text{ kg/t} * 1.144 \text{ kWh/t} = 8 \text{ kWh/t}$

Ist:

Auf Basis der unter 3.2.1 dargelegten Ausschussreduzierung von 8,7 kg/t ergibt sich eine tatsächliche Energieeinsparung von:

$$\Rightarrow \Delta w = \Delta \text{Ausbringen} * W_{\text{elektrisch}} = 8,7 \text{ kg/t} * 1.144 \text{ kWh/t} = \text{ca. } 10 \text{ kWh/t}$$

3.2.3.4 Energieeinsparung durch Motoren mit dem Premium-Wirkungsgrad IE3 (Messstelle 10)

Im vorliegenden Investitionsprojekt werden aufgrund der langen Einschaltdauern von Niederspannungs-Drehstrommotoren ausschließlich Motoren mit dem Premium-Wirkungsgrad IE3 nach EN 60034-30:2009 oder - sofern verfügbar - IE4 verwendet. Hierdurch soll ein weiterer Beitrag zur Energieeffizienz geleistet werden.

Planansatz:

Das Einsparungspotenzial wurde auf Basis der in Summe in der Sandaufbereitung installierten Motorleistungen hergeleitet. Hierbei wurden die jährlichen Energieeinsparungen durch den Vergleich der Wirkungsgrade konventioneller (IE1) mit denen von IE3-Motoren ermittelt. In nachfolgender Tabelle 14 sind die Wirkungsgrade und jährlichen Energieeinsparungen der in der Sandaufbereitung installierten Motoren der IE1- und IE3-Wirkungsgradklassen vergleichend gegenübergestellt. In Summe sind $P_{\text{installiert}} = 175,5 \text{ kW}$ Leistung installiert.

Komponente der Sandaufbereitung	Leistung (kW)	Wirkungsgrad IE 1	Wirkungsgrad IE 3	Einsparung kWh/a*
Bunkeraufsatzfilter Rüttelmotor	0,6	72,1	82,5	737
Blasförderer	1,0	75,0	84,1	892
Bandförderer Alt-/Neusand	28,0	90,7	93,6	5.764
HochleistungsMischer	60,5	92,1	94,6	8.877
Abzugsband	0,8	72,1	82,5	737
Transportband	0,8	72,1	82,5	737
Aufbandschleuder	7,5	86,0	90,4	2.387
Transportband zu Formanlage	3,7	83,1	88,6	1.680
Transportband zu Handformerei	5,5	84,7	89,6	1.997
Transportband	3,7	83,1	88,6	1.680
Transportband	1,5	77,2	85,3	1.037
Altsandrücktransport	60,0	92,1	94,6	8.877
Trafos	2,0	79,7	86,7	1.253
Summe	175,5			36.655
* bei 22,5 Std/Tag * 250 Tage/Jahr = 5.625 Std./Jahr				

Tabelle 14: installierte Elektroantriebe in der Sandaufbereitung der Altanlage

Als spezifischer Kennwert für die Energieeinsparung bei Verwendung hocheffizienter Elektromotoren wurde je Kilowatt installierter Leistung, $P_{\text{installiert}}$ eine spezifische Energieeinsparung von $L_{\text{installiert}} = 208,9 \text{ kWh/(kW*a)}$ ermittelt. Nachfolgend ist der Berechnungsgang dargelegt:

- $\Rightarrow$ spez. Energieeinsparung, $L_{\text{installiert}} = \text{jährliche Einsparung, } \Delta W / \text{installierte Leistung, } P_{\text{installiert}}$
- $\Rightarrow$ spez. Energieeinsparung, $L_{\text{installiert}} = 36.655 \text{ kWh/a} / 175,5 \text{ kW} = \underline{208,9 \text{ kWh/(kW*a)}}$

Die für das gesamte Vorhaben einschließlich einer neuen Sandaufbereitung installierte Leistung wurde mit $P_{\text{installiert}} = 512 \text{ kW}$ abgeschätzt. Die Reduktion des Energieverbrauchs berechnet sich wie folgt:

- ⇒ jährliche Energieeinsparung, $\Delta W = \text{Leistung, } P_{\text{installiert}} * \text{spez. Energieeinsparung, } L_{\text{installiert}}$
- ⇒ $\Delta W = 512 \text{ kW} * 208,9 \text{ kWh} / (\text{kW} * \text{a}) = 106.957 \text{ kWh}$

Bei einer jährlichen Erzeugung von 4.500 t ergibt sich die spezifische Energieeinsparung wie folgt:

- ⇒ spez. Energieeinsparung, $\Delta w = \text{jährl. Energieeinsparung, } \Delta W, *$
spez. Energieeinsparung, $L_{\text{installiert}}$
- ⇒ spez. Energieeinsparung, $\Delta w = 4.500 \text{ t/a} * 208,9 \text{ kWh} / (\text{kW} * \text{a}) = 22 \text{ kWh/t}$

Ist:

Die in der gesamten Neuanlage zu installierende Gesamtleistung aller Elektroantriebe beträgt $P_{\text{installiert}} = 512 \text{ kW}$. Hiervon entfallen auf die zu einem späteren Zeitpunkt umzurüstende Sandaufbereitung 302 kW. Die im Vorhaben installierte Leistung aller Elektromotoren in der Formanlage und der Entstaubungseinrichtung beträgt $P_{\text{installiert}} = 210 \text{ kW}$. Geht man von einer jährlichen Energieeinsparung $L_{\text{installiert}}$ von 208,9 kWh je installierter Kilowattstunde aus ergibt sich folgende jährliche Energieeinsparung ΔW :

- ⇒ jährliche Energieeinsparung, $\Delta W = \text{Leistung, } P_{\text{installiert}} * \text{spez. Energieeinsparung, } L_{\text{installiert}}$
- ⇒ $\Delta W = 210 \text{ kW} * 208,9 \text{ kWh}/(\text{kW} * \text{a}) = 43.869 \text{ kWh}$
- ⇒ spez. Energieeinsparung = jährl. Energieeinsparung, $\Delta W, *$
spez. Energieeinsparung, $L_{\text{installiert}}$
- ⇒ $\Delta w = 43.869 \text{ kWh} / 4.500 \text{ t/a} = 9,75 \text{ kWh/t}$

Auf Basis einer jährlichen Erzeugung von 4.500 t ergibt sich damit eine spezifische Energieeinsparung von $\Delta w = \text{ca. } 10 \text{ kWh/t}$:

3.2.3.5 Abwärmenutzung (Messstelle 7)

Kern des Absaugkonzeptes ist eine weitgehende Nutzung der in den heißen Abgasen enthaltenen Wärmemengen, die mittels eines Rotationswärmetauschers für die Erwärmung der Hallenluft wieder zur Verfügung gestellt werden.

Planansatz:

Annahme war, dass der getauschte Wärmestrom ausreichend sein wird, die notwendigen Temperaturen an den Arbeitsplätzen während der Heizperiode sicherzustellen. Der jährliche Energieverbrauch von $W = 262.500 \text{ kWh/a}$ für die in diesem Arbeitsbereich betriebenen Dunkelstrahler sollte in Folge eingespart werden. Hiermit ergibt sich eine spezifische Energieeinsparung von:

- ⇒ spez. Energieeinsparung, $\Delta w = W / \text{Jahreserzeugung}$
- ⇒ spez. Energieeinsparung, $\Delta w = 262.500 \text{ kWh/a} / 4.500 \text{ t/a} = \text{ca. } 58 \text{ kWh/t}$

Ist:

Aufgrund des Anlaufens der Anlage gegen Ende des Jahres 2016 kann aktuell der Nachweis nicht geführt werden, dass während der Wintersaison auf die Zuschaltung der Dunkelstrahler komplett verzichtet werden kann. Ersatzweise wird daher die durch die Wärmetauscher zur Verfügung gestellte Wärmemenge dargelegt.

Hierbei wird wie folgt verfahren:

Maßgebend für die Berechnung der durch den Wärmetauscher zur Verfügung gestellten Wärmemenge sind der Volumenstrom V-Punkt sowie die erreichte Erwärmung $\Delta\vartheta$ des Volumenstroms. Die getauschte Wärmeleistung P berechnet sich wie folgt:

- $P = V\text{-Punkt} \cdot \Delta\vartheta + c_{p\text{Luft}}$

Die spezifische Wärmekapazität für Luft wird mit $0,000367 \text{ kWh}/(\text{K}\cdot\text{m}^3)$ angesetzt.

Da eine Messung der Volumenströme nicht erfolgt, wird ersatzweise die vom Ventilator des Tauschers aufgezeichnete aufgenommene Leistung herangezogen. Die Ventilatorleistung kann mittels der Ventilator Kennlinie anschließend einem Volumenstrom zugeordnet werden. Nachstehende Abbildung 33 zeigt die Kennlinie des Ventilators.

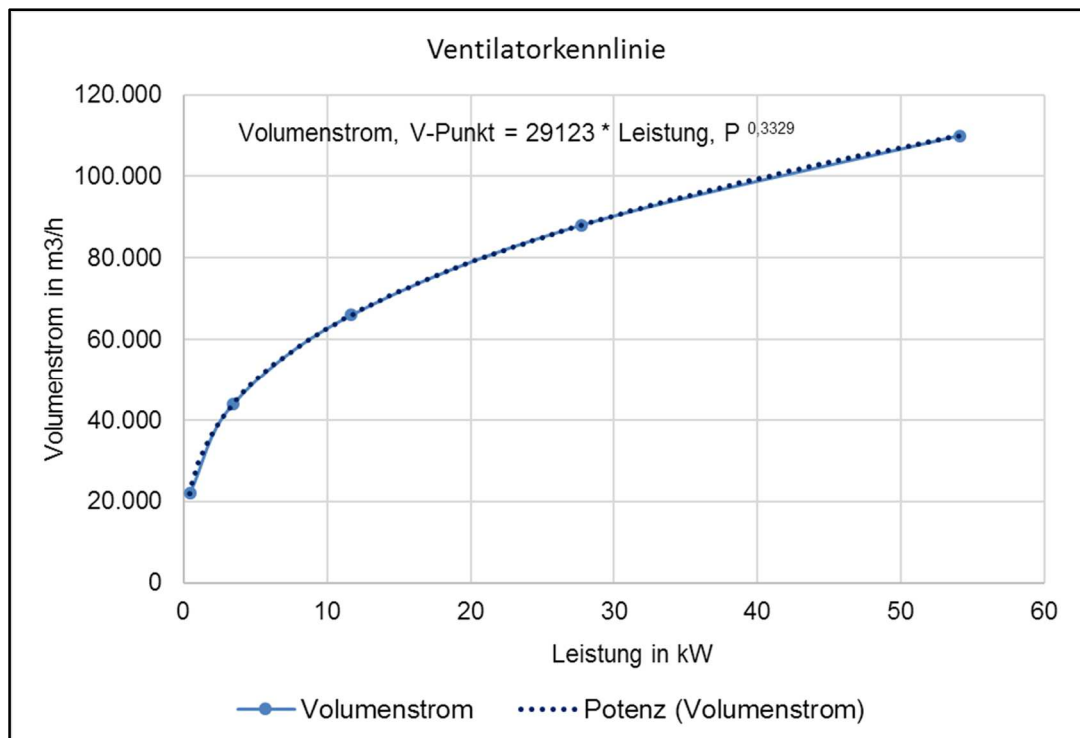


Abbildung 33: Ventilator Kennlinie

Die im Mai stattgefundenen Messungen ergeben, dass im Durchschnitt eine getauschte Wärmeleistung von $P = 184 \text{ kW}$ der Hallenzuluft zugeführt werden. Die detaillierten Aufzeichnungen und Auswertungen hierzu befinden sich in Anlage 3.3.3.5.

Da während der Sommermonate bei höheren Außenlufttemperaturen nur noch geringe, über die Zuluft einzubringende Wärmemengen benötigt werden, wird im Sinne einer unteren Schranke von einer im Jahresmittel in die Halle eingespeisten Wärmeleistung von $P = 184 \text{ kW} / 2 = 92 \text{ kW}$ ausgegangen.

Die spezifische Energieeinsparung, Δw je Tonne Flüssigerzeugung ergibt sich dann wie folgt:

⇒ spez. Energieeinsparung, $\Delta w = P / \text{Flüssigerzeugung je Stunde}$

Unter der Annahme einer mittleren Flüssigerzeugung von $0,8 \text{ t/h}$ (siehe Anlage 3.3.3.5) ergibt sich:

⇒ spez. Energieeinsparung, $\Delta w = 92 \text{ kW} / 0,8 \text{ t/h} = \text{ca. } \mathbf{115 \text{ kWh/t}}$

Unterstellt man eine Flüssigerzeugung von $4.500 \text{ t} / 2 = 2.250 \text{ t}$ für das Winterhalbjahr, wird insgesamt eine Energieeinsparung von 258.750 kWh erreicht. Dieser Wert entspricht in guter Näherung dem Planansatz einer jährlichen Energieeinsparung von 262.500 kWh.

Bisher konnte nicht vollständig auf die Beheizung durch die vorhandenen Dunkelstrahler verzichtet werden.

Die Wärmerückgewinnung erfolgt in zwei Stufen. Zunächst wird die Energie der Abluft entzogen und der Zuluft über ein Kreislaufverbundsystem zugeführt. Diese Stufe funktioniert wie oben beschreiben mit sehr guten Ergebnissen. Der dann noch fehlende Teil der Energie sollte ebenfalls über ein Kreislaufverbundsystem aus der Abwärme der Induktionsöfen rückgewonnen werden.

Hier wurde teilweise auf ein bereits vorhandenes Equipment in der Schmelzerei zurückgegriffen. Es stellte sich jedoch heraus, dass die vorhandenen Rohrleitungssysteme zu klein sind um die anliegende Energie zu übertragen. Hierzu ist mittlerweile ein Konzept erstellt und beauftragt, welches noch in 2017 umgesetzt wird.

3.2.4 Reduktion des CO₂-Ausstoßes

Die Reduktion des CO₂-Ausstoßes wird auf Basis der in Kapitel 3.2.3 dargelegten Energieeinsparungen hergeleitet.

Planansatz:

Es wird angenommen, dass je Kilowattstunde elektrischer Energie ein CO₂-Ausstoß von 617 g/kWh bewirkt wird (Quelle: Umweltbundesamt, Emissionsfaktor Inlandsverbrauch 2013). Demnach ergab sich auf Basis der abgeschätzten spezifischen Energieeinsparung von:

- $\Delta w = 147 \text{ kWh/t}$

ein CO₂-Einsparpotenzial von:

$$\Rightarrow \Delta \text{CO}_2 = \Delta w * \text{Emissionsfaktor}_{\text{Inlandsverbrauch, 2013}}$$
$$\Rightarrow \Delta \text{CO}_2 = 147 \text{ kWh/t} * 0,617 \text{ kg/kWh} = \text{ca. } 89 \text{ kg/t}$$

Ist:

Auf Basis der festgestellten spezifischen Energieeinsparung von $\Delta w = 227 \text{ kWh/t}$ ergibt sich mit einem Emissionsfaktor von 580 g/kWh (Quelle: Umweltbundesamt Emissionsfaktor Inlandsverbrauch 2016) nachfolgende CO₂-Einsparung:

$$\Rightarrow \Delta \text{CO}_2 = \Delta w * \text{Emissionsfaktor}_{\text{Inlandsverbrauch 2016}}$$
$$\Rightarrow \Delta \text{CO}_2 = 227 \text{ kWh/t} * 0,580 \text{ Kg/kWh} = \text{ca. } 132 \text{ kg/t}$$

3.2.5 Reduktion von diffusen, in die Umgebung abgegebenen Stäuben (Messstelle 6)

Im Kapitel 2.3 „Darstellung der Umsetzung des Vorhabens, Teilvorhaben 8, Anbindung an die Zuluftversorgung und Entstaubungsanlage“ sind die anlagentechnischen Installationen beschrieben, die zwecks einer angestrebten Reduktion der Stäube durchgeführt wurden.

Planansatz:

Geplant war eine Reduzierung der diffusen, in die Umgebung abgegebenen Stäube um $\Delta m_{\text{Staub}} = 6 \text{ kg/t}$

Ist:

Die Bilanzierung der reduzierten Staubmengen in der Umgebung erfolgte durch einen Vergleich der abgesaugten und im Filter gesammelten Mengen jeweils bei der Altanlage sowie bei der Neuanlage. Die jeweils erfassten Mengen und Zeiträume sind in Anlage 3.3.5 dargelegt.

Die Staubabsaugung und Filtrierung der Stäube erfolgte bei der Altanlage mit mehreren, dezentral angeordneten lufttechnischen Anlagen. Die an diesen Anlagen filtrierten Staubmengen betrugen im Zeitraum Januar bis März 2016 $M_{\text{Staub}} = 2.960 \text{ kg}$. In diesem Zeitraum wurde eine Flüssigmenge von $M_{\text{Erzeugung}} = 304,761 \text{ t}$ abgegossen.

Demnach wurde beim Betrieb der Altanlage je produzierte Tonnen Flüssigmenge nachfolgend dargelegte spezifische Staubmenge abgesaugt:

- ⇒ spez. abgesaugte Staubmenge, $m_{\text{Staub, Altanlage}} = M_{\text{Staub}} / M_{\text{Erzeugung}}$
- ⇒ spez. abgesaugte Staubmenge, $m_{\text{Staub, Altanlage}} = 2.960 \text{ kg} / 304,761 \text{ t} = 9,71 \text{ kg/t}$

Die Ermittlung der je Tonne Flüssigerzeugung abgesaugten Staubmengen für die Neuananlage erfolgt analog. Im Zeitraum Januar bis März 2017 wurde eine Staubmenge $M_{\text{Staub}} = 11.392 \text{ kg}$ aus den Filtern der zugehörigen lufttechnischen Anlage entnommen. In diesem Zeitraum wurde eine Flüssigmenge von $M_{\text{Erzeugung}} = 544,353 \text{ t}$ abgegossen.

Demnach wird beim Betrieb der Neuananlage je produzierte Tonne Flüssigmenge nachfolgend dargelegte spezifische Staubmenge abgesaugt und im Filter abgeschieden:

- ⇒ spez. abgesaugte Staubmenge, $m_{\text{Staub, Neuanlage}} = 11.392 \text{ kg} / 544,353 \text{ t} = 20,93 \text{ kg/t}$

Im Ergebnis wird nachfolgend dargelegte spezifische Staubmenge zusätzlich abgesaugt und damit der der Umgebung entzogen:

- ⇒ Veränderung spez. Staubmenge, $\Delta m_{\text{Staub}} = m_{\text{Staub, Altanlage}} - m_{\text{Staub, Neuanlage}}$
- ⇒ Veränderung spez. Staubmenge, $\Delta m_{\text{Staub}} = (9,71 - 20,93) \text{ kg/t} = \mathbf{11,22 \text{ kg/t}}$

Nachstehende Abbildung 34 zeigt die Staubbelastungen in der Umgebung der Crowing-Anlage nach Umsetzung der Maßnahmen im Vergleich zu einer typischen Anlage auf.



Abbildung 34: Staubentwicklung im Bereich der Croning-Anlage;
linkes Bild: typische Anlage, rechtes Bild: Neuanlage

3.2.6 Verringerung der Produktionsfläche

Infolge des in Form eines Hochregals gewählten Aufbaus der Gießelinie wird für die Aufstellung der Gießkästen signifikant weniger Hallenfläche benötigt. Aufgrund des am Gesamtflächenbedarf einer Formanlage flächenmäßig hohen Anteils des Gießbereiches kann hierdurch eine erhebliche Flächeneinsparung der Gesamtanlage erreicht werden.

Planansatz:

Plan war es, die belegte Hallenfläche gegenüber einer konventionellen Anlage um 50 % zu verringern.

Ist:

Nachstehende Abbildung 35 zeigt das Layout einer Anlage in konventioneller Bauweise.

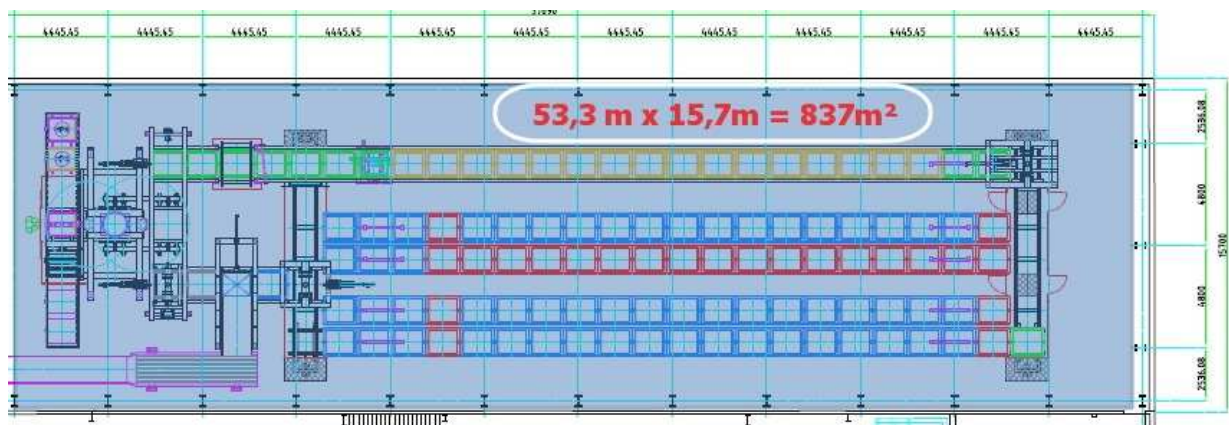


Abbildung 35: Layout einer Anlage in konventioneller Bauweise

- Die Hauptabmessungen betragen 53,3 m * 15,7 m.
- Damit wird ein Flächenverbrauch von $A_{\text{Altanlage}} = 837 \text{ m}^2$ erzeugt.

Demgegenüber zeigt die Abbildung 36 das Layout der „Modulcast“-Anlage.



Abbildung 36: Layout der Neuanlage (Gießbereich)

- Die Hauptabmessungen betragen 30,5 m * 13,8 m.
- Damit wird ein Flächenverbrauch von $A_{\text{Neuanlage}} = 420,9 \text{ m}^2$ erzeugt.

Die Veränderung des Flächenbedarfes ergibt:

- ⇒ $\Delta \text{Flächenbedarf} = (A_{\text{Neuanlage}} - A_{\text{konv. Anlage}}) / (A_{\text{konv. Anlage}})$
- ⇒ $\Delta \text{Flächenbedarf} = (420,9 \text{ m}^2 - 837 \text{ m}^2) / 837 \text{ m}^2 = - 49,7 \%$

Bei einer Jahreserzeugung von 4.500 t verändert sich der spezifische Flächenbedarf für die Gießanlage wie folgt:

- ⇒ $\Delta \text{Flächenbedarf, spez.} = (A_{\text{Neuanlage}} - A_{\text{konv. Anlage}}) / \text{Jahreserzeugung}$
- ⇒ $\Delta \text{Flächenbedarf, spez.} = (420,9 \text{ m}^2 - 837 \text{ m}^2) / 4.500 \text{ t/Jahr} = - 0,09 \text{ m}^2 \text{ t/Jahr}$

Ergänzend wird darauf hingewiesen, dass sämtliche Funktionalitäten einer Anlage in konventioneller Bauweise auch durch die neue Anlage bereitgestellt werden. Ferner weist die neue Anlage mit einer Produktivität von im Mittel 0,9 t/h eine nahezu identische Kapazität wie eine Anlage in konventioneller Bauweise auf.

3.2.7 Geräuschimmissionen

Eine wesentliche Anforderung an die neu errichtete Anlage war eine Verminderung der Geräuschimmissionen. Die hierfür getroffenen Maßnahmen sind in Kapitel 2.3 „Darstellung der Umsetzung des Vorhabens, Teilvorhaben 5“ detailliert beschrieben. Zur Bewertung der Maßnahmen wurden nachfolgend aufgeführte externe Gutachten erstellt.

Altanlage:

- Betriebslärmanalyse vom 04.07.2014, siehe Anlage 3.3.7 a.

Neuanlage:

- Gutachten TAC 2219-17-2, Ermittlung der Geräuschimmissionen an Arbeitsplätzen einer Formanlage vom 23.06.2017, siehe Anlage 3.3.7 b,
- Stellungnahme TAC 2219-16-1, Überprüfung der zulässigen Geräuschemissionen und -immissionen aus dem Betrieb einer Filteranlage vom 23.11.2016, siehe Anlage 3.3.7 c.

Nachfolgende Tabelle 15 zeigt die ermittelten Beurteilungspegel an relevanten Arbeitsplätzen vergleichend zwischen Alt- und Neuanlage auf.

Arbeitsplatz	Altanlage Tages-Lärm- expositions- pegel $L_{ex,8h}$ in dB(A)	Neuanlage Tages-Lärm- expositions- pegel $L_{ex,8h}$ in dB(A)	Altanlage Spitzenschall druckpegel $L_{pC,peak}$ in dB(C)	Neuanlage Spitzenschall druckpegel $L_{pC,peak}$ in dB(C)
Auspackstelle	86	93	119	119
Kerneinlegestelle	93	82	128	110
Hubtexgasse, vorne	-	78		105
Hubtexgasse, hinten	-	87		113
Formanlage Bedienstelle	93	82	128	114
Gießbühne, vorne	-	79		108
Gießbühne, hinten	93	79	128	108
Arbeitsraum Formmaschine	-	88		115

Tabelle 15: Beurteilungspegel im Vergleich Alt-/Neuanlage

Im Ergebnis werden die Auslösewerte für den Spitzenschalldruckpegel an keinem Messpunkt erreicht. Allerdings ist nach wie vor die maßgebliche Lärmquelle bei den Bereichen mit Pegeln > 85 dB(A) das Rütteln des Ausschlagrostes beim Ausleeren. Geeignete Maßnahmen zur Reduzierung der Lärmemission am Rüttelrost werden aktuell mit dem Lärmgutachter sowie der BG erarbeitet.

Anmerkung:

Am Immissionsort „Brauckstraße 40“ ist bisher nicht gemessen worden, da die Betriebsgeräusche des Werkes durch die Geräusche der angrenzenden Straße sowie die der Autobahn A44 überlagert werden. Die durchgeführte Überprüfung der Einhaltung der Immissionsrichtwerte gem. TA Lärm am Immissionsort „Brauckstraße 40“ erfolgte daher durch Ermittlung der entsprechenden Schallemissionen mit einer anschließenden Ausbreitungsrechnung mittels detaillierter Prognose, siehe Stellungnahme TAC2219-16-1.

3.2.8 Emissionen

Eine Zielsetzung an die neu errichtete Anlage war eine bestmögliche Absaugung der in der Fertigung entstehenden Stäube und eine Verminderung der Geruchsbelästigungen an den Arbeitsplätzen. Die hierfür getroffenen Maßnahmen sind in Kapitel 2.3 „Darstellung der Umsetzung des Vorhabens, Teilvorhaben 5“ detailliert beschrieben.

Durchgeführte externe Begutachtungen

Zur Bewertung der Maßnahmen wurden externe Gutachten erstellt. Folgende Begutachtungen wurden durchgeführt:

Altanlage:

- Bericht CBO-01681-14.1 über die Durchführung von Emissionsmessungen Quelle Q2F vom 20.08.2014, siehe Anlage 3.3.8 a,
- Bericht CBO-01681-14.3 über die Durchführung von Emissionsmessungen Quelle Q3F vom 29.08.2014, siehe Anlage 3.3.8 b,
- Bericht 20140708/B1 zur Ermittlung von Chrom, Chrom (VI)-Verbindungen, Nickel sowie der einatembaren und alveolengängigen Staubfraktion in der Luft in dem Arbeitsbereich der Form- und Gießhalle vom 23.10.2014, siehe Anlage 3.3.8 c.

Neuanlage:

- Bericht 20140708/B1 zur Ermittlung von Chrom, Chrom (VI)-Verbindungen, Nickel sowie der einatembaren und alveolengängigen Staubfraktion in der Luft in dem Arbeitsbereich der Form- und Gießhalle vom 30.05.2016, siehe Anlage 3.3.8 d,
- Ergebnisprotokoll EB-17/03737 zu internen Emissionsmessungen in der Abluft eines Kühlgerüsts für Edelstahlgussformen vom 29.06.2017, siehe Anlage 3.3.8. e.

Feststellung von Gesamtstaubmengen, Formaldehydbestandteilen und anderen Bestandteilen

- Im Rahmen einer wiederkehrenden Emissionsmessung nach §28 BImSchG wurden an der Altanlage die Emissionen in der Abluft der Sandaufbereitungsanlage gemessen.

Festgestellt wurde für den Gesamtstaub ein Maximalwert (einschl. der erwarteten Messunsicherheit) von $0,9 \text{ mg/m}^3$, die Emissionsbegrenzung beträgt 20 mg/m^3 . Die Detailergebnisse der Messung befinden sich in Anlage 3.3.8 a.

- Im Rahmen einer wiederkehrenden Emissionsmessung nach §28 BImSchG wurden an der Altanlage die Emissionen in der Abluft der Formanlage gemessen.

Festgestellt wurde für den Gesamtstaub ein Maximalwert (einschl. der erwarteten Messunsicherheit) von $7,4 \text{ mg/m}^3$, die Emissionsbegrenzung beträgt 15 mg/m^3 . Die Detailergebnisse der Messung befinden sich in Anlage 3.3.8 b.

Die Konzentration an Phenol- und Formaldehyd-Bestandteilen wurde mit $0,9 \text{ mg/m}^3$ (einschließlich der erwarteten Messunsicherheit) bestimmt. Der Emissionsgrenzwert beträgt 20 mg/m^3 . Die Detailergebnisse der Messung befinden sich in Anlage 3.3.8 b.

- Während des Betriebes der Neuanlage wurden interne Emissionsmessungen in der Abluft des Kühlgerüsts bei verschiedenen Betriebszuständen durchgeführt. Neben der Messung von Gesamtstaubgehalt und Formaldehyd-Bestandteilen wurden weitere Bestandteile gemessen. Die Messungen wurden jeweils mit bzw. ohne Formkästen durchgeführt.

Festgestellt wurde eine maximale Gesamtstaubmenge von $< 0,4 \text{ mg/m}^3$. Der maximale Formaldehydgehalt wurde mit $0,05 \text{ mg/m}^3$ bestimmt. Eine detaillierte Zusammenstellung der Ergebnisse ist in Anlage 3.3.8 e enthalten.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die gemessenen Werte für Gesamtstaubmengen sowie für Formaldehyd-Konzentrationen die Emissionsgrenzwerte erheblich unterschreiten.

Feststellung von Chrom, Chrom (VI)-Verbindungen, Nickel sowie der einatembaren und alveolengängigen Staubfraktion

Aufgrund der gießtechnischen Erzeugung von Stahllegierungen mit vergleichsweise hohen Chrom- und Nickelbestandteilen wurden inhalative Kontrollmessungen zu diesen Bestandteilen sowie zur alveolengängigen Staubfraktion durchgeführt.

Hierzu wurden an den Arbeitsplätzen „Ofenbühne“, „Croning“-Anlage sowie „Ausleerstelle“ die Parameter A-Staub, E-Staub, Nickel, Chrom und Chrom (VI) vergleichend für die Alt- und Neuanlage ermittelt.

Alle festgestellten Konzentrationen befinden sich während des Betriebs sowohl bei der Alt- als auch bei der Neuanlage erheblich unterhalb der empfohlenen Werte. Die detaillierten Ergebnisse hierzu finden sich in den Anlagen 3.3.8 c/d. Zusammenfassend können die Messergebnisse gemäß TRGS 402 zu einem Bewertungsindex BI zusammengasst werden. Nachfolgende Tabelle 15 zeigt die Bewertungsindices vergleichend für den Betrieb der Alt- und Neuanlage auf. Im Mittelwert kann der Bewertungsindex BI um 71 % gegenüber dem Betrieb der Altanlage reduziert werden.

Aufgrund der festgestellten niedrigen Emissionen wurde das Intervall für eine durchzuführende Kontrollmessung im Bereich der Ofenbühne von 32 auf 64 Wochen verlängert. Ferner kann auf Kontrollmessungen an den weiteren Arbeitsplätzen komplett verzichtet werden.

Bewertungsindex BI	Ofenbühne	Croning-Anlage	Ausleerstelle	Mittelwert
Altanlage	0,311	0,253	0,378	0,314
Neuanlage	0,118	0,067	0,087	0,091
Reduktion	62 %	74 %	77 %	71 %

Tabelle 16: Bewertungsindices BI im Vergleich

3.3 Umweltbilanz

Nachfolgende Tabelle 16 zeigt zusammenfassend die erreichten Verbesserungen bei den Ressourcenverbräuchen und den Umweltauswirkungen im Vergleich zum Planansatz auf:

Ressourcenverbräuche & Umweltauswirkungen	Plan	Ist	Einheit
Reduktion des Ausschusses	7,00	8,70	kg/t
Reduktion des Abbrandes	10,00	13,55	kg/t
Reduktion des Stromverbrauchs	147	227	kWh/t
Reduktion des CO ₂ -Ausstoßes	93,0	132,0	kg/t
Reduktion von diffusen, in die Umgebung abgegebenen Stäuben	6,00	11,22	kg/t
Verringerung der Produktionsfläche um 50 % für das Formen, Gießen, erstarren und Abkühlen	0,09	0,09	m ² /(t*a)

Tabelle 17: Geplante Veränderungen bei den Ressourcenverbräuchen und Umweltauswirkungen

Auf Basis einer Durchsatzleistung von 4.500 t/a ergeben sich nachfolgende Ressourcenminderungen:

Ressourcenverbräuche & Umweltauswirkungen	Mengen	Einheit
Reduktion des Ausschusses	39.150	kg/a
Reduktion des Abbrandes	60.975	kg/a
Reduktion des Stromverbrauchs	1.021.500	kWh/a
Reduktion des CO ₂ -Ausstoßes	594.000	kg/a
Reduktion von diffusen, in die Umgebung abgegebenen Stäuben	50.490	kg/a

Tabelle 18: Absolute Veränderungen bei den Ressourcenverbräuchen und Umweltauswirkungen bei einer Durchsatzleistung von 4.500 t/a

3.4 Wirtschaftlichkeitsanalyse

laufende Kostenveränderungen	Kostenart	Einsparung in €/a
Reduzierung des Stromverbrauchs um 1.021.500 kWh/a	Betriebsstoff	102.150
Erhöhung des guten Ausbringens um 39,15 t/a	Produktivität	195.750
Verringerung von Nacharbeiten um ca. 2 %-Punkte	Produktivität	22.005
Anteiliger Entfall von Schweißverbundkonstruktionen	Produktivität	30.000
Reduzierung von Fertigungs- und Rüstaufwänden	Produktivität	122.147
Verringerung von Reparaturaufwänden	Instandhaltung	7.500
Verringerung des Planungsaufwands	Personal	42.000
Verringerung des Abbrands um 1,355 %	Material	243.900
Kosteneinsparungen, gesamt		765.452

Tabelle 19: jährliche Kosteneinsparungen

Statische Investitionsrechnung mit Förderung	mit Förderung	ohne Förderung	Einheit
Anschaffungskosten	5.048.446		Euro
abzgl. Zuschuss	869.095		Euro
Eigenanteil an den Anschaffungskosten	4.179.351	5.048.446	Euro
Restwert	0		Euro
Nutzungsdauer	10		a
Kalkulatorischer Zins	4		%
Kalkulatorische Abschreibung	417.935	504.845	Euro
Betriebsstoffeinsparung	102.150	102.150	Euro/a
Einsparung Instandhaltung	7.500	7.500	Euro/a
Einsparung Personal	42.000	42.000	Euro/a
Einsparung Material	243.900	243.900	Euro/a
Einsparung durch Produktivitätsgewinn	369.902	369.902	Euro/a
Kapitalkosten	501.522	605.813	Euro/a
Jährliche Kosteneinsparung	263.930	159.639	Euro/a
Amortisationsdauer	6,1	7,6	a

Tabelle 20: Statische Investitionsrechnungen mit/ohne Förderung

3.5 Technischer Vergleich zu konventionellem Verfahren

Die Motivation für die neue Verfahrenstechnologie bestand darin, eine speziell für kleine Serien ideal geeignete Gießfertigung zu realisieren, um damit an die Produktivität von Anlagen für große Serien sowie deren signifikant bessere Energiebilanz, Abbrandverluste und Arbeitsplatzbelastungen aufzuschließen.

Bei Standard-Formanlagen nach dem Stand der Technik sind die Fertigungslinien in der Regel "statisch" ausgelegt. Vergleichbar mit dem Transport von Kästen auf Rollbändern werden die Formkästen einer der parallelen Fertigungslinien zugeführt, per Hallenkran angefahren und abgegossen, auf der anderen Seite nach dem Abkühlen wieder entnommen und zum Entnehmen des Gussstückes und des Sandes wieder der Formanlage zugeführt. Somit entsteht ein Kreislauf, bei dem mit jedem aus der Fertigungslinie entnommenen Formkasten die dahinterstehenden Formkästen eine Position weiter transportiert werden. Allerdings durchlaufen die Formkästen damit die Fertigungslinien in einer Zwangsreihenfolge. Für größere Serien mit identischen Bauteilgeometrien und identischen Werkstoffen ist diese Art der Formanlage gut geeignet, da die Abkühlzeiten aller Gusstücke annähernd gleich sind.

Für kleine und mittlere Serien mit unterschiedlichen Bauteilgeometrien und/oder unterschiedlichen Werkstoffen ist dieses System dagegen nur sehr bedingt geeignet. Da langsam erstarrende und abkühlende Gusstücke die gesamte Fertigungslinie blockieren, können nachfolgende, bereits abgekühlte Stücke aufgrund der Zwangsreihenfolge nicht entnommen werden. Nachteilig ist weiterhin, dass infolge des großen Gießareals weder eine Absaugung der entstehenden Emissionen noch eine Nutzung der Abwärme des erstarrenden Gutes sinnvoll möglich sind.

Die wesentliche Herausforderung besteht beim Gießen von kleineren und mittleren Serien darin, die Zeitdauern zwischen dem Abstechen und dem Abgießen der Kästen signifikant zu verringern.

Mit herkömmlichen, für große Serien ideal geeigneten Gießlinien kann dies nicht erreicht werden, da aufgrund der unterschiedlichen Gießformen (und deren Gieß- und Abkühlbedingungen) eine „Fließfertigung“ bei kleinen Serien nur im Ausnahmefall erreicht werden kann.

In einer statischen Fertigungslinie werden durch das Anfahren der in der Praxis nicht in idealer Reihenfolge zum Abgießen bereitstehenden Kästen im Regelfall erhebliche Zeitdauern bis zum Abgießen des letzten Formkastens verursacht. Dieser Umstand kann aktuell nur durch höhere Abstichtemperaturen kompensiert werden. Neben den Produktivitätsverlusten werden hierdurch insbesondere zusätzliche Energieverluste, Abbrandverluste, Belastungen des FF-Materials sowie Staubbefreiungen verursacht.

Aus diesen Problemen und Herausforderungen ist unser neues Lösungskonzept entstanden, dass nach Recherchen zum Zeitpunkt des Antrages weltweit einmalig war. Es führt in Kombination mit der hochmodernen Formtechnologie, einer energieeffizienten Motorenauswahl nach IE3/IE4-Standard und einem bedienerangepassten und damit fehlerarmen Planungssystem zu einer hoch energieeffizienten Verfahrenskombination.

4. Empfehlungen

4.1 Erfahrungen aus der Praxiseinführung

Die errichtete Modulcast-Anlage stelle eine vollkommen neue Art des Form-und Gießprozesses dar. Erwartungsgemäß, kam es aufgrund der damit verbundenen Komplexität, zu einer Reihe von Problemstellungen bei der Praxiseinführung. Hierbei handelte es sich in erster Linie um technische Probleme die durch entsprechende Maßnahmen gelöst werden konnten. Das mit der Komplexität verbundene Risiko konnte bereits durch entsprechende detaillierte Planungen in der Projektierungsphase deutlich reduziert werden.

Es hat sich aber im weiteren Projektverlauf gezeigt, dass dem Projektmanagement eine sehr große Bedeutung zukommt. Grundsätzlich ist dies natürlich im Vorfeld jedem klar, jedoch wird die Wichtigkeit deutlich unterschätzt. Insbesondere während der Inbetriebnahme bzw. des Probetriebes ist ein funktionierendes Projektmanagement aller Zulieferfirmen enorm wichtig. Ist dieses Projektmanagement qualitativ und/oder zeitlich mangelhaft bedeutet dies Stress und Zeitverzug.

4.2 Modellcharakter

Das Vorhaben ist aus umwelttechnischer Sicht insbesondere deshalb interessant, da Stahlgießereien einerseits zu den energie- und emissionsintensivsten Industriebetrieben gehören und andererseits aufgrund der hohen Anzahl der Betriebe eine hohe Übertragbarkeit erreicht werden kann. Die Branche beschäftigt in rund 600 Eisen-, Stahl- und Nichteisen-Metallgießereien ca. 80.000 Mitarbeiter und produzierte 2011 etwa 5,476 Mill. Tonnen Gusserzeugnisse. Davon fertigen etwa 400 Metallgießereien in Deutschland überwiegend kleine bis mittlere Losgrößen.

Wir gehen davon aus, dass es sich um ca. 200 Gießereien handelt, die das Prinzip „modulcast“ direkt einsetzen können. Die Grundprinzipien lassen sich aber auch auf z.B. Aluminium-Kokillengießereien übertragen.

4.3 Zusammenfassung

Die bei Fa. Lohmann gefertigten Produkte aus hitze- und verschleißbeständigem Guss verdanken Ihre Stellung im Markt insbesondere auch der individuellen Anpassung an die speziellen Kundenforderungen. Mit dieser Vorgehensweise verbunden ist die Erzeugung von kleinen bis mittleren Losgrößen. Gegenüber einer Großserienfertigung ist die Fertigung von kleinen bis mittleren Losgrößen insbesondere deshalb herausfordernd, da sich die Anforderungen an die Schmelzen, die Gießrandbedingungen und die Gießfolgezeiten je nach gefertigtem Produkt fortlaufend ändern.

Durch die Realisierung einer weltweit einzigartigen Fertigungslinie (Modulcast) für das ressourceneffiziente Formen und Gießen hochwertiger Sandguss-Bauteile in kleinen und mittleren Serien (Losgrößen 1 bis 500) konnte nachgewiesen werden, dass zum einen deutlich energieeffizienter und ressourceneffizienter gefertigt werden kann.

Die Ergebnisse des Vorhabens wurden über ein jeweils sechsmonatiges Messprogramm ermittelt, welches ressourcenrelevante Daten im bestehenden Fertigungsprozess und im neuen Verfahren erhoben hat.

Die wesentlichen Umwelteffekte ergeben sich aus der

- | | | |
|--|-------|-----------------------|
| • Reduktion des Ausschusses um | 8,70 | kg/t |
| • Reduktion des Abbrandes um | 13,55 | kg/t |
| • Reduktion des Stromverbrauch um | 227 | kWh/t |
| • Reduktion des CO ₂ -Ausstoßes um | 132,0 | kg/t |
| • Reduktion von diffusen, in die Umgebung abgegebenen Stäuben um | 11,22 | kg/t |
| • Verringerung der Produktionsfläche um | 0,09 | m ² /(t*a) |

Auf Basis einer Durchsatzleistung von 4.500 t/a ergeben sich nachfolgende Ressourcenminderungen:

- | | |
|---|-----------------|
| • Reduktion des Ausschusses | 39.150 kg/a |
| • Reduktion des Abbrandes | 60.975 kg/a |
| • Reduktion des Stromverbrauchs | 1.021.500 kWh/a |
| • Reduktion des CO ₂ -Ausstoßes | 594.000 kg/a |
| • Reduktion von diffusen, in die Umgebung abgegebenen Stäuben | 50.490 kg/a |

Der ursprünglich budgetierte Investitionsansatz in Höhe von 4.345.471,54 € wurde für das Projekt durch die tatsächlichen Kosten in Höhe von 5.048.445,76 € überschritten. Die im Bericht dargestellten über der Planung liegenden Einsparmöglichkeiten¹ (142.591 €) stehen dieser Überschreitung aber positiv entgegen.

Die von uns errechnete Amortisationszeit für die innovative Technik konnte von 8,2 Jahren bei der Planung auf aktuell 7,6 Jahre reduziert werden. Dieses Ergebnis untermauert die Sinnhaftigkeit dieser Zukunftsinvestition für unser Unternehmen.

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

Die neue Anlagentechnik kann, selbstverständlich nach vorheriger Terminvereinbarung, bei uns in Witten-Annen besichtigt werden. Der Ansprechpartner ist Herr Thorsten Kutsch.

¹ Geplante Einsparungen: 622.861 €, tatsächliche Einsparungen 765.452 €