

Bachelorthesis

Prozessoptimierung der Silo-Blechemaillierung zur Reduktion der Nacharbeitsquote

Vorgelegt am: 28.08.2015

Von: **Wenzel, Marco**
Lindenring 30
08315 Lauter-Bernsbach

Studiengang: Industrielle Produktion

Studienrichtung: Produktionstechnik

Seminargruppe: IP12-1

Matrikelnummer: 4000911

Praxispartner: omeras GmbH
Am Emaillierwerk 1
08315 Lauter-Bernsbach

Gutachter: Dipl.-Ing. (FH) Oliver Knauf (omeras GmbH)
Dr. Steffen Heinrich (Staatliche Studienakademie Glauchau)

Themenblatt Bachelorthesis

Industrielle Produktion

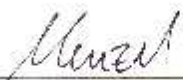
Student: **Marco Wenzel**
Matrikelnummer: **4000911**
Seminargruppe: **4PT12-I**

Thema der Bachelorthesis

Prozessoptimierung der Silo-Blechemaillierung zur Reduktion der Nacharbeitsquote

Gutachter/ Betreuer: **Dipl.-Ing. (FH) Oliver Kusuf**
Gutachter (Studienakademie): **Dr. Steffen Heinrich**

Ausgabe des Themas: **29.05.2015**
Abgabe der Arbeit an den SG am: **24.08.2015, 14:00 Uhr**


Prof. Dagmar Menzel
Vorsitzende des Prüfungsausschusses
Technik



Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	III
Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	VI
Abkürzungsverzeichnis	VII
1 Einleitung	1
2 Firmenvorstellung	2
2.1 Allgemein	2
2.2 Unternehmenshistorie	2
2.3 Produktportfolio	4
3 Vorbetrachtung	5
3.1 Herstellung eines Emaillierten Stahlblechs	5
3.2 Qualitätsauswertung	13
3.3 Ermittlung und Bewertung möglicher Einflussfaktoren	15
4 Problemstellung	21
4.1 Problembeschreibung	21
4.2 Lösungsansatz	23
4.2.1 Ergebnisse der Praxisarbeit 3	23
4.2.2 Vorgehen in der Bachelorthesis	29
5 Methoden und Umsetzung	30
5.1 Organisatorisch	30
5.1.1 Implementierung einer kontinuierlichen Überwachung des alkalischen Reinigers	30
5.1.2 Implementierung einer kontinuierlichen Überwachung des Emailsclickers	30
5.2 Versuche	31
5.2.1 Anpassung der Konzentration des alkalischen Reinigers	31
5.2.2 Anpassung des Emailsclickers hinsichtlich Dichte und Auftragsgewicht	33
5.2.3 Untersuchung und Anpassung von Ofenatmosphäre und Brennkurve	35
5.2.4 Anpassung der Trocknungsbedingungen	37
5.2.4.1 Variation der Trocknungsparameter	37
5.2.4.2 Veränderung des Produktionsablaufs	38
5.2.4.3 Trocknung mittels Infrarotstrahler	39

6	Ergebnisse	41
6.1	Anpassung der Konzentration des alkalischen Reinigers	41
6.2	Anpassung des Emailschlickers hinsichtlich Dichte und Auftragsgewicht	42
6.3	Anpassung der Trocknungsbedingungen	43
6.3.1	Variation der Trocknungsparameter	43
6.3.2	Veränderung des Produktionsdurchlaufs	43
6.3.3	Trocknung mittels Infrarotstrahler	44
6.4	Untersuchung und Anpassung von Ofenatmosphäre und Brennkurve	44
7	Fazit und Ausblick	46
	Quellverzeichnis	49
	Anhangverzeichnis	50
	Ehrenwörtliche Erklärung	67

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Produktionsdurchlauf in der Omeras GmbH	5
Abbildung 2: Schematischer Aufbau der chemischen Vorbehandlungsanlage.....	6
Abbildung 3: Schematischer Aufbau der Spritzkabinen.....	7
Abbildung 4: Schematischer Aufbau der Trockneranlage.....	9
Abbildung 5: Schematischer Aufbau des Brennofens.....	9
Abbildung 6: Schematischer Aufbau eines emaillierten Stahlblechs	10
Abbildung 7: CIELab-Farbraum	12
Abbildung 8: Qualitätsauswertung der Omeras für Januar - Juli 2014.....	14
Abbildung 9: Gegenüberstellung der Nacharbeitsquote für die Jahre 2011 – 2014..	14
Abbildung 10: Ishikawa - Diagramm möglicher Einflussfaktoren der Emaillierung ...	16
Abbildung 11: Fischschuppen im Deckemail	22
Abbildung 12: Schaumigkeit eines emaillierten Stahlblechs.....	22
Abbildung 13: Prüfmittel zur Bestimmung der Konzentration des alkalischen Reinigers	31
Abbildung 14: Prüfmittel zur Bestimmung der Dichte des Emailslickers	33
Abbildung 15: Kurzzeitröhrchen zur Bestimmung des Wasserstoffgehalts.....	35
Abbildung 16: Versuchsaufbau zur Bestimmung der Wärmeverteilung in Brennofen	36
Abbildung 17: Röhrchen zur Bestimmung des Wasserstoffgehalts nach Versuchsdurchführung	45

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Quantitative Verteilung der häufigsten Emaillierfehler	15
Tabelle 2: Variantenvergleich der Analyseverfahren	24
Tabelle 3: Ergebnisse der Thermogravimetrie.....	25
Tabelle 4: Ergebnisse des Beizabtrags	26
Tabelle 5: Ergebnisse der Fischschuppenbeständigkeit.....	27
Tabelle 6: Ergebnisse des Königswasseraufschluss	28
Tabelle 7: Ergebnisse der Bestimmung der Reinigungsmittelkonzentration.....	41
Tabelle 8: Ergebnisse der Anpassung des Emailslickers.....	42
Tabelle 9: Ergebnisse des Veränderten Produktionsdurchlaufs	43
Tabelle 10: Ergebnisse der Trocknung mittels Infrarotstrahler	44

Abkürzungsverzeichnis

ERP	Enterprise Resource Planing
CNC	Computerized Numerical Control
CAD	Computer Aided Design
ETE	Elektritauchemaillierung

1 Einleitung

Diese Bachelorthesis ist eine Weiterführung der Reflexionen und Ergebnisse der Praxisarbeit 3 mit dem Titel: Untersuchung der Oberflächenreaktivität von warmgewalzten Stahlblechgüten zur Klassifizierung der Eignung im Emaillierprozess und als qualitätssichernde Wareneingangskontrolle. In der vorliegenden Thesis soll erarbeitet werden, in welchem Umfang Optimierungen des Produktionsprozesses bei der Siloblechemaillierung erforderlich sind, um eine kontinuierliche Reduktion der Nacharbeitsquote zu erzielen. Dabei gilt es alle relevanten Produktionsparameter der Beschichtungsstrecke in die Überlegungen einzubeziehen.

Mit diesen Intensionen wurden theoretische Betrachtungen, Istzustands-Analysen sowie Beschichtungs- und Trocknungsversuche durchgeführt. Darüber hinaus wurde ermittelt, in welchem Maße der alkalische Reiniger und die Rheologie des Emailscklickers Einfluss auf die Siloblechemaillierung nehmen. Zu diesem Zweck erfolgten eine stetige Überwachung der Konzentration des alkalischen Reinigers in der chemischen Vorbehandlungsanlage sowie Kontrollen der Dichte und des Auftragsgewichtes des Emailscklickers.

2 Firmenvorstellung

2.1 Allgemein

Bei der Omeras GmbH handelt es sich um ein international tätiges Metallbauunternehmen. Die Kernkompetenz liegt in der Herstellung von Blechen mit der Werkstoffkombination Glas und Stahl. Diese Bleche finden unter anderem Anwendung bei Fassadensystemen, dem Bau von segmentierten Behältern sowie der Beschilderung. Die Produktionsstätten (*siehe Anhang 1*) sind in Lauter angesiedelt. Mit einer Produktionsfläche von 9000 m² zählt das Unternehmen zu den größten und modernsten Emaillierwerken Europas.

2.2 Unternehmenshistorie

Die Omeras GmbH wurde im Juni 1992 von den Herren Andreas Huhn, Günter Kraus und Siegfried Stetter gegründet. Das Akronym – **O**berflächenveredlung, **M**etallverarbeitung und **R**aschau – sollte in der Folge für die Kenntnisse und Fähigkeiten sowie den lokalen Bezug der Unternehmensgründer zur erzgebirgischen Heimat stehen. Als Fertigungsstätte wurde ein 1911 erbautes Werk in Raschau gewählt, welches die Gesellschafter von der Unternehmerfamilie Freitag erwarben. Der Beginn der Unternehmensgründung erwies sich als diffizil, da sich das Werk in einem maroden Zustand befand. Zunächst bedurfte es einer Sanierung der Gebäudesubstanz sowie den Kauf von Brennöfen, Spritz- und Beschichtungsanlagen. Mit einer Belegschaft von 39 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern realisierte das Unternehmen in den verbleibenden sieben Monaten des Jahres 1992 einen Umsatz von 1,6 Mio. DM. Dieser wurde durch Lohn-, Flachteil- und Gussemaillierung sowie durch Epoxid-Pulverbeschichtung erzielt. Anfang des Jahres 1994 wurde eine Pulverbeschichtungsanlage für große Werkstücke in Betrieb genommen. Im gleichen Jahr wurde beschlossen, den Standort Lauter, mit seinem Roh- und Emaillierwerk sowie die Marke Schwerter Email, in die Unternehmensentwicklung einzubetten. Die progressive Firmenentwicklung strapazierte die Bedingungen und Möglichkeiten des Standortes Raschau. Als Folge dieser Entwicklung wurde der Firmensitz 1996 nach Lauter verlegt. Zu dieser Zeit resultierten zwei Drittel des Umsatzes aus der Geschirrfertigung. Dennoch ergaben umfangreiche Marktanalysen der Geschäftsführung, dass die Geschirrfertigung und Lohnemaillierung in den Folgejahren keinen dauerhaften Wettbewerbsvorteil bzw. eine Sicherung des Umsatzes darstellen würden. Deshalb entschloss man sich 1997

dazu, mit der Fertigung emaillierter Fassadenteile zu beginnen. Den ersten großen Auftrag stellte ein Café zur Expo in Hannover (*siehe Anhang 2*) dar, gefolgt von der U-Bahn-Station Westminster in London (*siehe Anhang 3*). 1999 wurden bereits 25 % des Gesamtumsatzes durch die Emaillierung architekturgebundener Projekte generiert. Des Weiteren wurde zur Stärkung der internationalen Wirtschaftsbeziehungen mit der Einführung eines Qualitätsmanagementsystems begonnen. Im Januar 2000 wurde die Omeras GmbH mit dem Zertifikat der DEKRA Certification GmbH ausgezeichnet. Dies bedeutete, dass das eingeführte Qualitätsmanagement die Anforderungen der ISO¹ 9001 in vollem Umfang erfüllte. Um weitere technische Ressourcen zu schaffen, erfolgte im Jahr 2003 der Bau einer 5000 m² großen Fertigungshalle in Lauter. Aufgrund der positiven physikalischen und chemischen Eigenschaften des Emails war es dem Unternehmen 2005 möglich, das Produktionsfeld des segmentierten Behälterbaus zu erobern. Zu dieser Zeit wurden bereits über 50 % des Umsatzes durch architekturgebundene Bauelemente realisiert. Um die Stückzahl der emaillierten Silobleche steigern zu können, wurde 2007 weitreichend in Produktionsflächen und Bearbeitungsanlagen investiert. Um weiterhin einen Wettbewerbsvorteil gegenüber der internationalen Konkurrenz zu gewähren, fand ab 2009 eine konsequente Weiterentwicklung vom reinen Zulieferer emaillierter Paneele zum einem Komplettanbieter im Bereich des Fassadenbaus statt. Im Frühjahr 2011 erfolgte die Einführung des Enterprise-Resource-Planning-Systems² (ERP) mit dem Ziel, die betrieblichen Abläufe und die Nutzung der Ressourcen effizienter zu steuern. Aufgrund regressiver Verkaufszahlen für emaillierte Haushaltsgeschirre wurde dieser Produktionszweig 2012 an eine Tochterfirma ausgelagert. Somit sollte eine Bündelung der Geschäftsfelder erfolgen, um eine optimale Nutzung der Fertigungskapazitäten zu erzielen. Zudem wurde im Zuge von Restrukturierungen Anfang des Jahres 2012 beschlossen, den Betriebsteil Raschau zu verkaufen. Durch diesen Schritt sollte die Konzentration auf das Kerngeschäft geschärft werden, um die effiziente Weiterentwicklung zum Fassadenbauer voranzutreiben.³

¹ International Organization for Standardization (internationale Normierungsorganisation)

² Auftrags- und Planungssoftware

³ Omeras, 2007, S. 5-18

2.3 Produktportfolio

Das Produktportfolio der Omeras GmbH umfasst eine Vielzahl von Produkten, welche in den verschiedensten Bereichen Anwendung finden. Allgemein erfolgt eine Klassifikation in die Bereiche Architekturemaillierung sowie Siloanlagen. Zusätzlich gibt es den Bereich Stahlbau.

Den Schwerpunkt des Unternehmens stellt aktuell die Architekturemaillierung dar. Im Jahr 2014 wurden nach Jahresabschluss 60 % des Gesamtumsatzes durch emaillierte Stahlbleche generiert. Diesem Bereich werden Innen- und Außenfassaden, Dächer, Eingänge und Nischen zugeordnet. Das größte Beschäftigungsfeld hierfür bieten Straßentunnel und U-Bahn-Stationen. Im Gebiet der Architekturemaillierung präsentiert sich das Unternehmen seit dem Jahr 2009 verstärkt als Komplettanbieter. Dies bedeutet, dass die Omeras GmbH Projekte von der Planung, Produktion, Lieferung bis hin zur Montage realisiert.

Das zweite große Gebiet bilden emaillierte Stahlbleche für segmentierte Behälter. Um dieses Tätigkeitsfeld wurde das Unternehmen im Jahr 2005 erweitert. Aktuell werden jährlich ca. 16.000 emaillierte Stahlbleche für Behälter gefertigt - was etwa 60% der Produktionskapazität des Unternehmens ausmacht. Die Stahlbleche weisen Teilegrößen von bis zu 1500 mm x 3000 mm und eine Materialstärke zwischen 2,5 mm und 12 mm auf. Die Einsatzmöglichkeiten dieser Behälter liegen in der Wasser-, Gülle-, Biogas- sowie Düngemittelspeicherung. Zudem begünstigt die glasartige Oberfläche die Lagerung von Schüttgut wie Getreide, Kakaomehl, Streusalz oder Zement.

Im Bereich des Stahlbaus können Teilegrößen bis zu drei Tonnen realisiert werden. Zum überwiegenden Teil werden die gefertigten Teile für den Aufbau und die Befestigung der im Haus gefertigten Architekturpaneele bzw. für die Siloanlagen verwendet. Dies umfasst Unterkonstruktionen, Ankerbleche und Verbindungswinkel. Des Weiteren werden Brennöfen, Pumpenaggregate, Windräder oder auch Trittroste, Podeste, Einbauten und Türrahmen gefertigt.⁴

⁴ OMERAS, 2012, S. 18-28

3 Vorbetrachtung

3.1 Herstellung eines Emaillierten Stahlblechs

Der Produktionsdurchlauf ist für die Problemstellung der vorliegenden Arbeit von besonderer Relevanz, daher soll an dieser Stelle auf diesen Ablauf genauer eingegangen werden. Hierbei wird zugrunde gelegt, dass es sich um die Fertigung eines emaillierten Stahlbleches für segmentierte Behälter handelt. Zur Veranschaulichung der Abläufe und Zusammenhänge dient *Abbildung 1*.

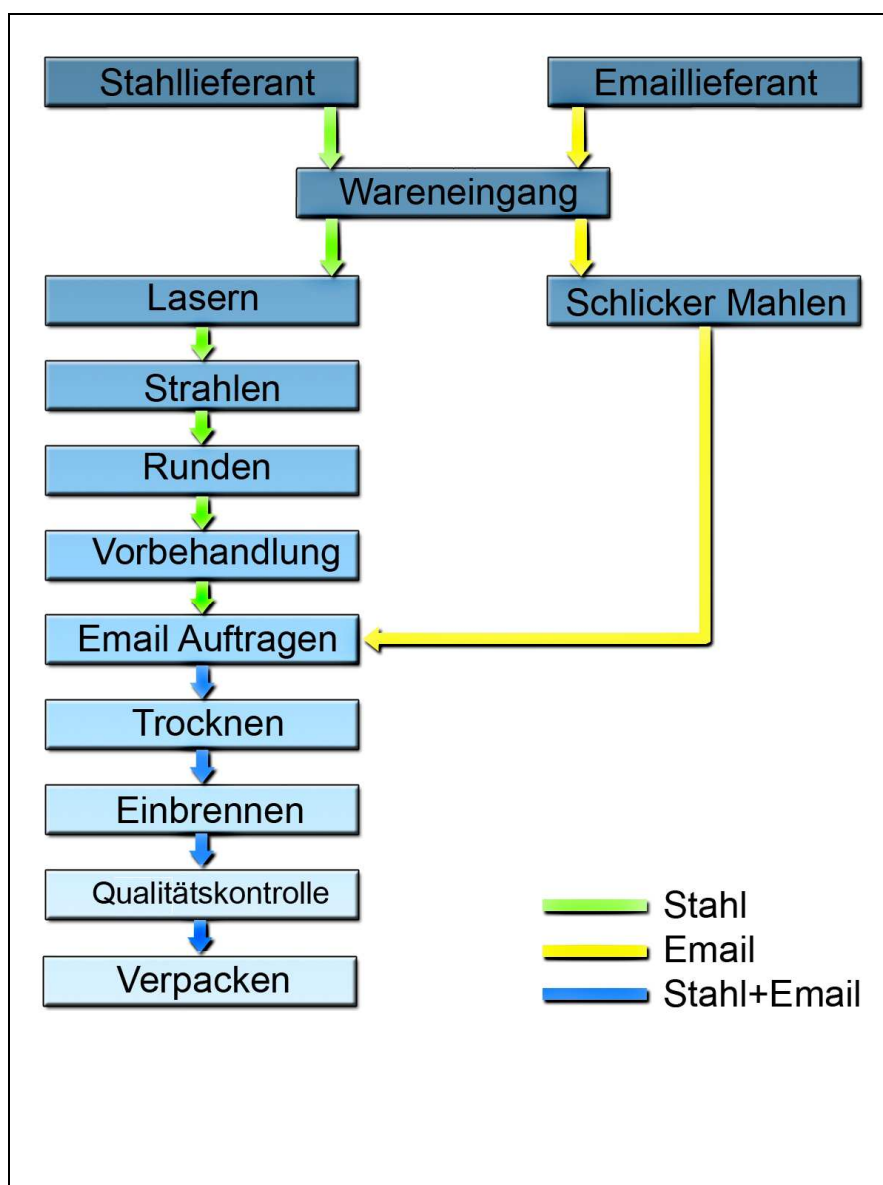


Abbildung 1: Produktionsdurchlauf in der Omeras GmbH
(eigene Darstellung)

Der Produktionsdurchlauf beginnt in der Rohfertigung. Die notwendigen Arbeitsschritte umfassen Lasern, Strahlen und Runden. Für das Zuschneiden der Werkstücke bedient sich die Omeras GmbH des Laserstrahlschneidens. Hierfür steht ein CNC-gesteuerter⁵ Kohlendioxidlaser zur Verfügung. Neben der hohen Präzision werden bei diesem thermischen Trennverfahren saubere Schnittkanten, hohe Flexibilität sowie eine optimale Materialausnutzung erzielt.

Nach dem Zuschnitt, bei dem das Stahlblech die gewünschte Außenkontur und das Lochbild erhalten hat, erfolgt das Strahlen. In diesem Schritt soll eine Vielzahl an Verwerfungen auf der Oberfläche geschaffen werden, um eine gute Haftung der Emailsicht auf dem metallischen Träger zu ermöglichen. Dazu wird das Blech mit dem Strahlgut beidseitig behandelt. Den abschließenden Arbeitsschritt in der Rohfertigung stellt das Runden dar. In diesem Umformverfahren erhält das Stahlblech auf einer horizontalen Vier-Walzen-Rundbiegemaschine einen definierten Radius, wodurch sich bei der Montage des segmentierten Behälters eine kreisrunde Grundfläche ergibt. Aufgrund der zylindrischen Bauweise des Silos und dem somit günstigen statischen Verhalten lassen sich Behälter mit einem Fassungsvermögen von bis zu 20.000 m³ realisieren. Die Einhaltung der gewünschten Radien wird mittels Radenlehre geprüft.

Vor der Beschichtung durchlaufen die Werkstücke eine Vorbehandlung. *Abbildung 2* stellt den schematischen Aufbau der chemischen Vorbehandlungsanlage dar.

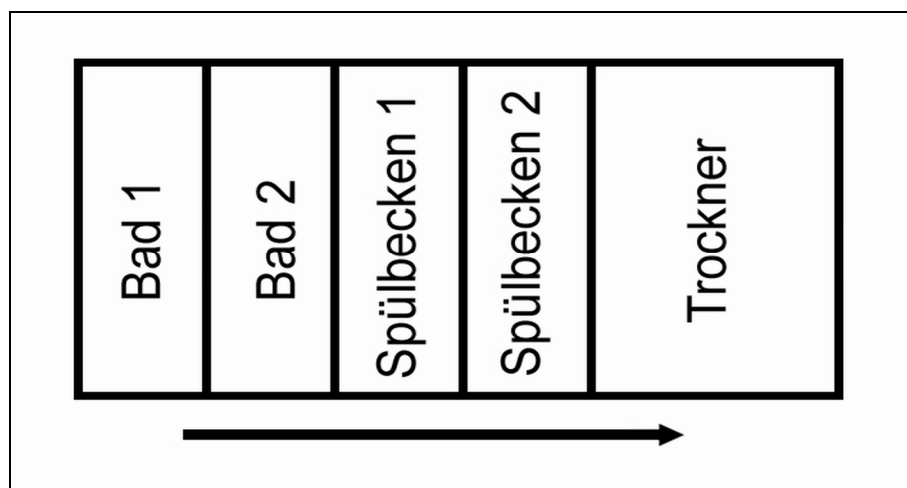


Abbildung 2: Schematischer Aufbau der chemischen Vorbehandlungsanlage
(eigene Darstellung)

⁵ Computerized Numerical Control

Entsprechend den Anforderungen der Emaillierung findet eine alkalische Spritzentfettung bei 60 °C statt. Zu diesem Zweck durchlaufen die Stahlbleche zunächst zwei Reinigungskammern. Die entsprechenden Bäder (Bad 1, Bad 2) weisen ein Fassungsvermögen von 4000 m³ auf. In diesen Reinigungsbädern befindet sich eine definierte Menge eines alkalischen Reinigers, mit dessen Hilfe Schmiermittel, Öle und Fette, aber auch Metall- und Staubeilchen entfernt werden sollen. Im Anschluss an die Reinigungskammern folgen zwei Spülkammern (Fassungsvermögen 2500 m³). In diesen wird das Reinigungsmittel und eventuell verbliebene Schmutzpartikel abgespült. Abschließend durchlaufen die Bleche einen Trockner, der verhindert, dass zurückbleibendes Wasser zu einem übermäßigen Rosten des metallischen Trägers führt. Zudem wäre die Haftung zwischen dem Substrat und dem Emailslicker bei einer feuchten Oberfläche nicht gegeben. Die Beheizung des Trockners erfolgt durch die Abwärme des Ofens. Durch den Produktionsschritt der Vorbehandlung soll eine definierte Oberflächenqualität für die anschließende Beschichtung geschaffen werden. Dies ist von besonderer Relevanz, da zurückbleibende Verunreinigungen maßgeblichen Einfluss auf die Qualität der Emaillierung haben.

Im nächsten Produktionsschritt erfolgt die Beschichtung des metallischen Substrats mittels Spritzauftrag. Hierbei handelt es sich um ein Nassverfahren, welches sowohl manuell wie auch automatisch ausgeführt werden kann. Eine automatisierte Beschichtung generiert einen gleichmäßigeren, über den Schichtverlauf konstanteren Emailauftrag. Zudem ist eine gezielte Anpassung an die Produktionsumstände möglich. Jedoch ist ein Verzicht auf ein manuelles Auftragen des Emails nicht möglich, da die Rheologie des Emailslickers eine automatische Verarbeitung nicht in jedem Fall ermöglicht. Aus diesem Grund wird das Grundemail prinzipiell manuell gespritzt. Zur Veranschaulichung des folgenden Ablaufs dient *Abbildung 3*.

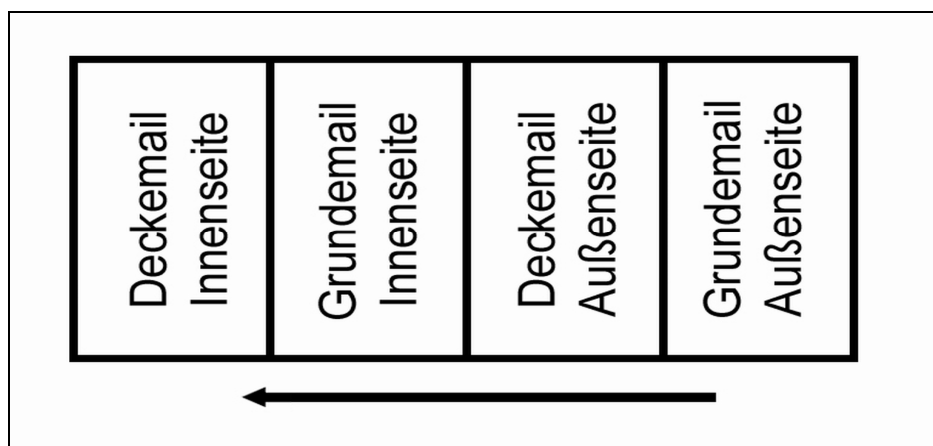


Abbildung 3: Schematischer Aufbau der Spritzkabinen
(eigene Darstellung)

Die Silobleche werden in einem Zwei-Schicht-Ein-Brand-Verfahren emailliert. Bei diesem Verfahren wird zunächst ein haftoxidreiches Grundemail auf das Blech aufgebracht (manuell), ehe das Deckemail als zweite Schicht automatisch aufgetragen wird. Durch das Grundemail wird eine Reaktion der Deckemaillierung mit dem Substrat vermindert. Durch die Deckemaillierung erhält das Stahlblech die gewünschte Farbe. Diese geschieht auf der Vorder- und Rückseite des Bleches. Hierbei ist darauf zu achten, dass der Emailslicker nicht zu dünn aufgetragen wird, da dies zu ungenügender Deckkraft und Ungleichmäßigkeiten der Emailsicht führen kann. Indessen begünstigt ein zu dickes Auftragen des Schlickers ein Abplatzen der Emaillierung.⁶ Daher ist eine gleichmäßige Schichtdicke erforderlich, um eine ansprechende Oberflächenqualität zu gewährleisten.

Im weiteren Fortgang erfolgt das Trocknen. Dabei wird der noch ungebrannten Emailsicht das Wasser entzogen, da dieses während des anschließenden Brennvorgangs eine verminderte Haftfestigkeit, einen erhöhten Blasenanteil, Fissuren, Rissen, Abplatzern, Kratern oder Glanzverlust der Emaillierung hervorrufen kann⁷. Des Weiteren wird somit eine Anreicherung der Ofenatmosphäre mit Wasserdampf verhindert, da diese ebenfalls negativ auf die Oberflächenqualität des Emails wirken würde. Durch den Trocknungsvorgang entsteht das sogenannte Biskuit, eine getrocknete, ungebrannte Emailsicht. Diese weist eine ausreichende mechanische Stabilität des Emailauftrages auf, um manuelle Arbeiten oder die Übergabe der Werkstücke vom Trockner zum Ofen zu ermöglichen. Um dem überschüssigen Wasser die Möglichkeit zu geben, aus tiefer liegenden Schichten zu diffundieren, bedarf es einer ausreichenden Trockenzeit. Eine zu geringe Trockenzeit bzw. eine zu schnelle Trocknung (rapider Temperaturanstieg) führt zu einem hohen Wasseranteil im Biskuit. Um diesem entgegenzuwirken, durchlaufen die Silobleche zwei hintereinander angeordnete Trockner (*siehe Abbildung 4*), die unterschiedliche Temperaturen aufweisen. Die Dauer und Temperatur der Trocknung ist abhängig von der Schlickerkondition und der Schichtdicke. Zum Trocknen der Werkstücke wird die Abwärme des Ofens genutzt.

⁶ DEUTSCHER EMAIL VERBAND, 2002, S.4

⁷ vgl. PETZOLD, 1986, S. 247-248

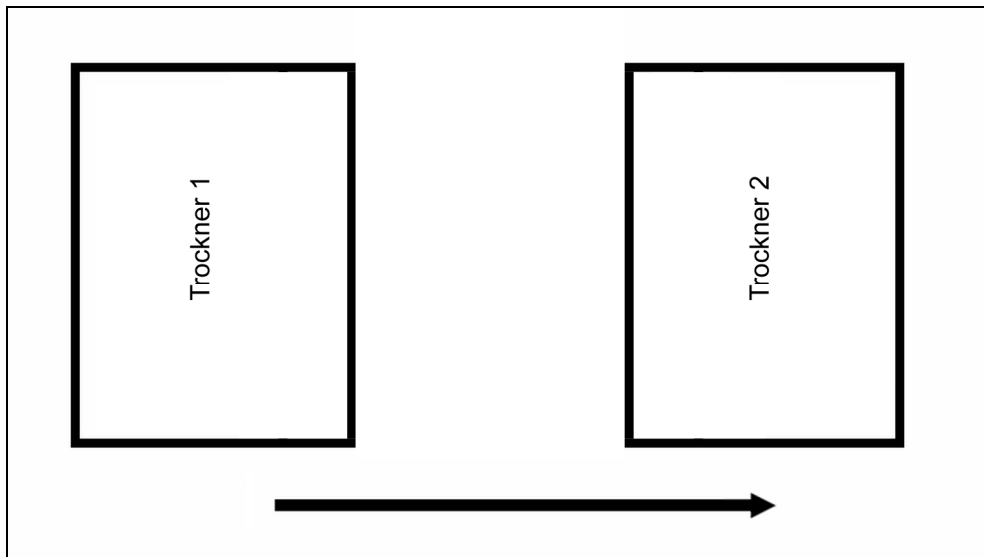


Abbildung 4: Schematischer Aufbau der Trockneranlage
(eigene Darstellung)

Anschließend findet der Brennvorgang statt, wobei die aufgetragene und getrocknete Emailschiicht glattgeschmolzen wird. Zur Visualisierung des Ofenaufbaus dient *Abbildung 5*.

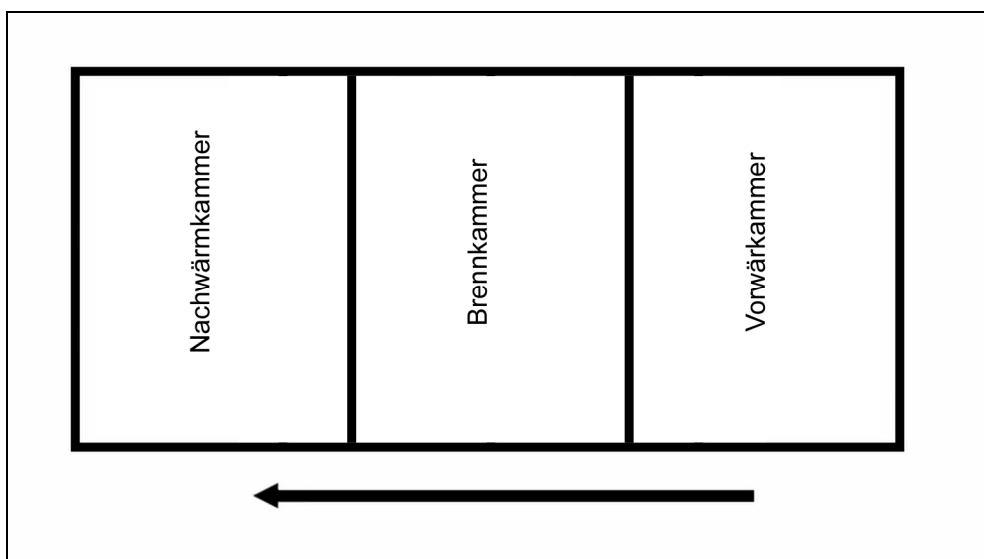


Abbildung 5: Schematischer Aufbau des Brennofens
(eigene Darstellung)

Zunächst gelangen die Silobleche in eine Vorwärmkammer, welche durch die Abluft des Ofens beheizt wird. Diese Kammer weist eine Temperatur von ca. 40°C auf und erhitzt die Bleche indirekt auf entsprechende Temperatur. Durch diesen Schritt wird während des Brennvorgangs Energie eingespart bzw. die Abluft des Ofens sinnvoll

eingesetzt. Während des Brennvorganges entsteht eine in sich geschlossene, glasartige Schicht, die physikalisch und chemisch fest mit dem Substrat verbunden ist. Die Dauer des Brennvorganges ist abhängig vom verwendeten Grundmaterial, der Materialstärke, der Größe des zu fertigenden Werkstückes sowie dem Email- bzw. Ofentyp. Des Weiteren hat die Dauer des Einbrennens – bei Brenntemperaturen zwischen 780 °C und 850 °C – Einfluss auf die Farbe. Je nach verwendeten Farbkörpern kann dieser heller, ggf. aber auch dunkler ausfallen als gewünscht. Im Anschluss an die Brennkammer verweilen die Bleche in der Nachwärmkammer, die dafür sorgt, dass die Bleche nicht abrupt abgekühlt werden und entstehende Spannungen zu Beschädigungen der Emaillierung führen.

Je nach Anforderungen an die Schichtdicke, die Farbausprägung und dem Verwendungszweck sind bis zu drei Deckbeschichtungen notwendig. Zur optischen Aufwertung des Stahlbleches mittels Schiebebild kann es notwendig werden, einen vierten und fünften Beschichtungsvorgang durchzuführen. In *Abbildung 6* ist der schematische Aufbau eines emaillierten Stahlblechs nach den vorangegangenen Bearbeitungsschritten dargestellt.

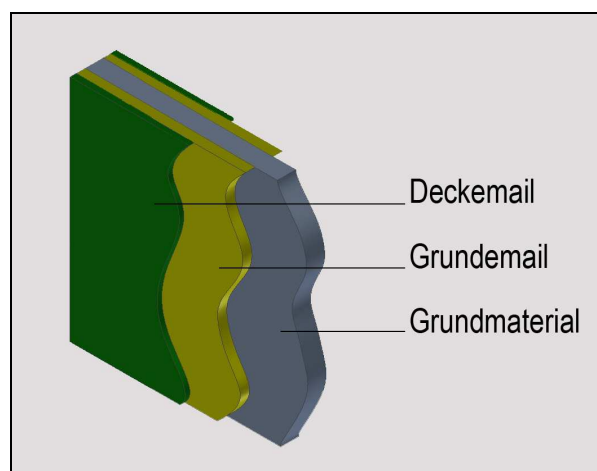


Abbildung 6: Schematischer Aufbau eines emaillierten Stahlblechs
(eigene Darstellung)

Im Anschluss an den eigentlichen Fertigungsprozess erfolgt die Qualitätskontrolle. Mit dieser soll gewährleistet werden, dass die Produkthanforderungen (z.B. höchste chemische Widerstandsfähigkeit) eingehalten werden. Dabei wird auf offensichtliche Beschädigungen, wie Fehlstellen, Absacker, Hackenschläge (*siehe Anhang 4*), aber auch die Schichtdicke, Farbabweichungen sowie Poren und Risse hin untersucht. Dafür finden ausschließlich zerstörungsfreie Prüfverfahren Anwendung.

Um offensichtliche Beschädigungen zu detektieren, genügt eine visuelle Kontrolle der emaillierten Stahlbleche. Wohingegen Risse und Poren in der Beschichtung, die bis auf das Grundmetall hindurchgehen, mittels Hochspannungsprüfung festgestellt werden.

Dabei wird das Grundmetall mit dem negativen Pol der Spannungsquelle verbunden und die Beschichtungsoberfläche mit einer bündig aufliegenden Hochspannungselektrode (Plus-Pol) überstrichen (*siehe Anhang 5*) – bei einer Fehlstelle ist der Stromkreis geschlossen, wodurch ein akustisches und optisches Signal ausgelöst wird. Die Prüfspannung (zwischen 0,6 und 1,5 kV) richtet sich hierbei nach der Schichtdicke der zu prüfenden Beschichtung.

In definierten Abständen (jedes 10. Siloblech) werden an den emaillierten Stahlblechen zusätzlich eine Farbmessung sowie eine Schichtdickenkontrolle durchgeführt. Um die Farbe genau bestimmen und Farbunterschiede definieren zu können, wird ein Farbmessgerät verwendet, welches nach dem CIELab-System (*siehe Abbildung 7*) arbeitet. Dabei werden die Informationen der drei Elemente Lichtquelle, Beobachter und Objekt kombiniert. Dieses besteht aus den beiden Achsen a^* und b^* , welche im rechten Winkel zueinander stehen und den Farbton definieren. Die dritte Achse bezeichnet die Helligkeit H^* . Diese steht senkrecht zur a^*b^* Fläche. Durch die Koordinaten in diesem System kann jede Farbe bestimmt werden.⁸

⁸ Vgl. PIETSCHMANN, 2002, S. 354-355

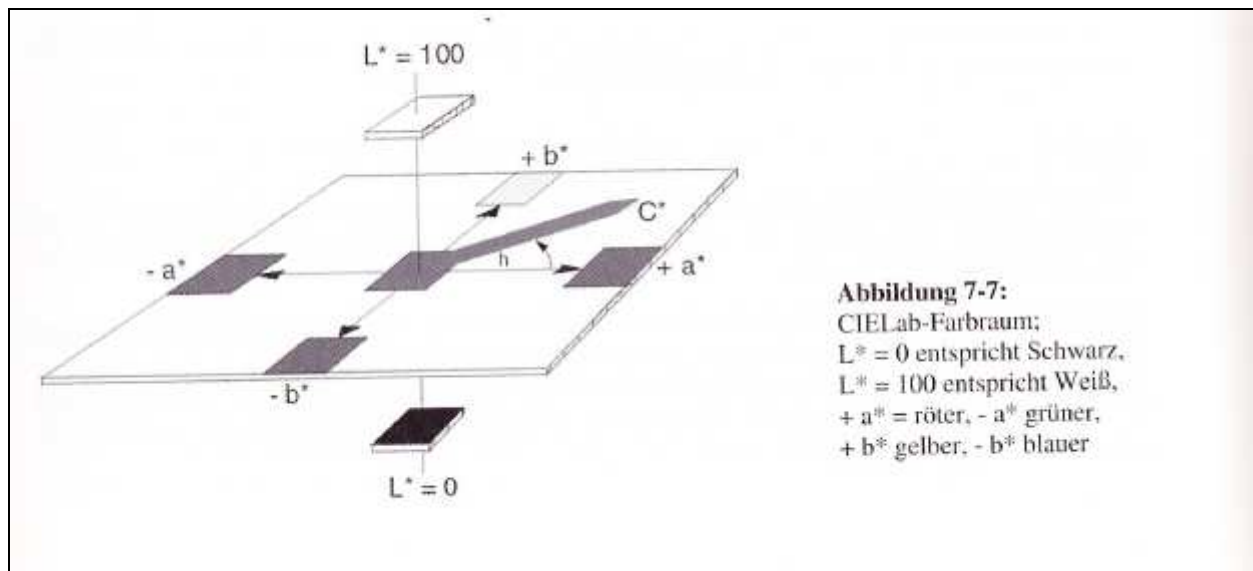


Abbildung 7: CIELab-Farbraum

(PIETSCHMANN, 2002, S. 354)

Zur Bestimmung der Schichtdicke wird ein Messgerät verwendet, welches auf einer magnetinduktiven Methode beruht. Dabei werden zwei Spulen verwendet, deren Magnetfeld durch die Annäherung an einen ferromagnetischen Untergrund verändert wird. Hierbei hängt das Magnetfeld vom Abstand der Sonde zum Untergrund – respektive der Schichtdicke – ab. Der magnetische Strom wird durch die zweite Spule aufgenommen. Somit ergibt sich durch die Koppelung dieser zwei Magnetpole ein Maß für die Schichtdicke.⁹

Den letzten Punkt des Produktionsablaufs stellt das Verpacken dar. In diesem Bereich gelangen die emaillierten Stahlbleche, die den Anforderungen an die Qualitätskontrolle gerecht geworden sind.

Einen wichtigen Punkt stellt hierbei die Versiegelung der Außenkanten mit einem Dichtmittel dar, da diese wegen der sogenannten Kantenflucht eine ungenügende Emaillierung aufweisen können. Unter Kanterflucht wird ein physikalischer Effekt verstanden, bei dem das Beschichtungsmedium über eine Kante verläuft und an dieser eine gekrümmte Oberfläche bildet. Aufgrund der Oberflächenspannung wird eine Minimierung der Oberfläche bewirkt, die dazu führt, dass das Beschichtungsmedium in Richtung der ebenen Flächen verdrängt wird. Dies führt dazu, dass die Schichtdicke im Bereich der Kante erheblich verringert wird.¹⁰

⁹ Vgl. PIETSCHMANN, 2002, S. 375

¹⁰ Vgl. RÖMPP, 1998, S. 316

Um einen sicheren Transport zu gewährleisten, werden die Siloplatten gegen ein Verrutschen auf der Palette gesichert. Dies geschieht unter anderem mittels Kanthölzern. Nachdem eine Folie aufgebracht wurde, die vor Feuchtigkeit und Beschädigungen schützen soll, werden die Paletten zudem mit einem Stahlband umreift. Transportfertige Paletten sind in *Anhang 6* dargestellt.

Da emaillierter Stahlbleche für segmentierte Behälter international verkauft werden, ist bei der Qualitätskontrolle und dem Verpacken besondere Sorgfalt erforderlich. Eine Beschädigung des emaillierten Blechs, die zum Ausfall des Behälters führt, würde einen erheblichen Aufwand sowie hohe Reise-, Montage- und Speditionskosten verursachen. Daher ist eine 100 % - Kontrolle der Silobleche sowie eine gründliche Transportsicherung notwendig, um bei dem vorhandenen wirtschaftlichen Risiko eigene Fehler auf ein Minimum zu beschränken.

3.2 Qualitätsauswertung

Im Folgenden soll eine Auswertung der Produktionsqualität des Unternehmens durchgeführt werden. Da für die vorliegende Arbeit die Silobleche von Relevanz sind, werden lediglich diese in die Auswertung einbezogen.

Die Datenerhebung sowie deren Auswertung fanden in Zusammenarbeit des Autors mit der Qualitätsbeauftragten der Omeras GmbH statt. Zu Beginn der Recherchen für die Praxisarbeit 3 (07.2014) zeigte sich, dass sich die Nacharbeitsquote auf einem konstant hohen Niveau befand (*siehe Abbildung 8*).

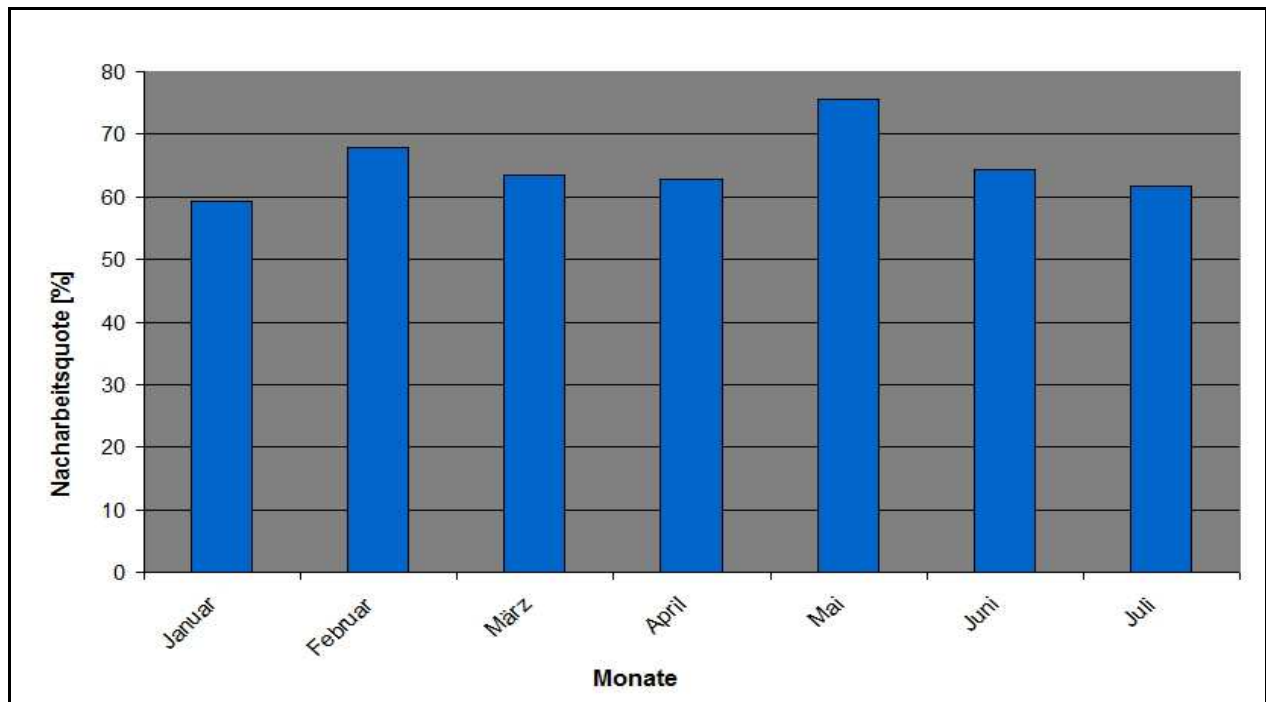


Abbildung 8: Qualitätsauswertung der Omeras für Januar - Juli 2014

(eigene Darstellung in Anlehnung an OMERAS GMBH 2014)

Um dennoch auszuschließen, dass es sich hierbei um einen vorübergehenden Negativtrend handelt, wurden die Qualitätsauswertungen der vergangenen vier Jahre betrachtet. *Abbildung 9* zeigt, dass für diesen Zeitraum ein stetiger Anstieg der Nacharbeitsquote zu verzeichnen war.

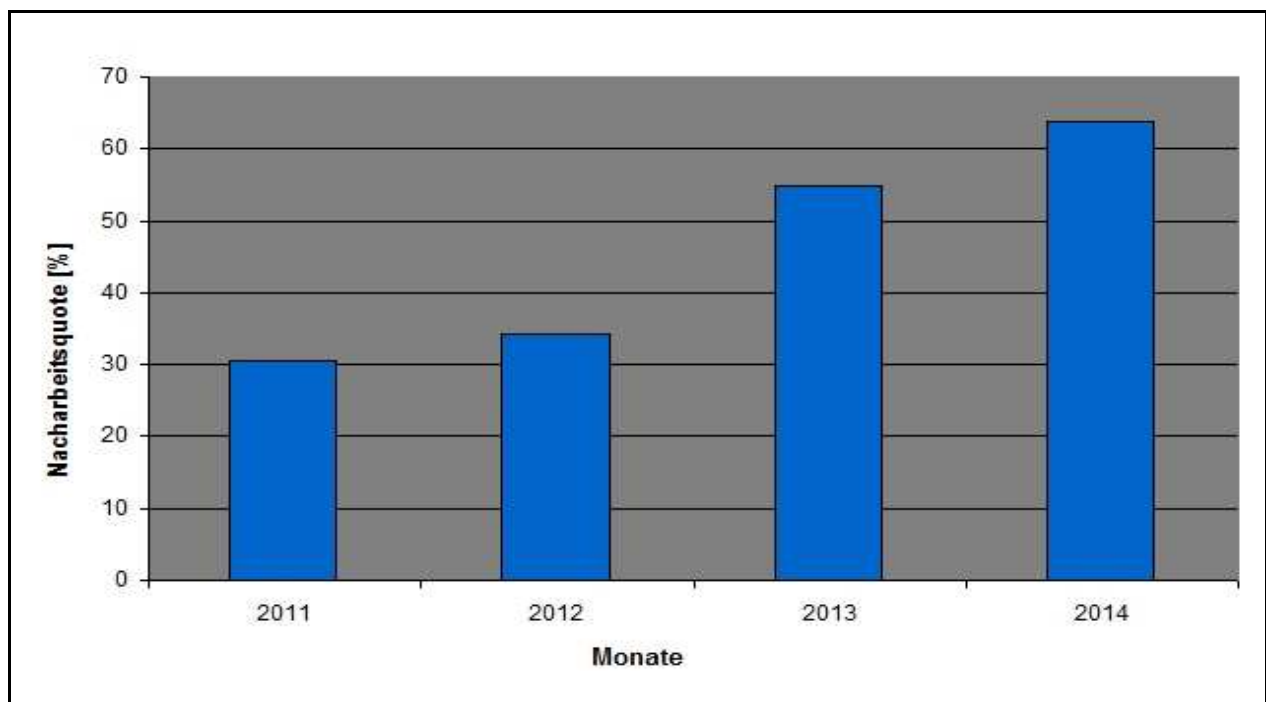


Abbildung 9: Gegenüberstellung der Nacharbeitsquote für die Jahre 2011 – 2014

(eigene Darstellung in Anlehnung an OMERAS GMBH 2014)

Durch die Implementierung einer detaillierten Auswertung der Produktionsergebnisse im Zuge der Praxisarbeit 3 ist es inzwischen möglich, neben der Nacharbeitsquote, eine Häufigkeitsverteilung der Emaillierfehler zu ermitteln. Zur Veranschaulichung dieser Evaluation dient *Tabelle 1*.

Tabelle 1: Quantitative Verteilung der häufigsten Emaillierfehler

Materialstärke	Fehlerbild				
	Fischschuppen	Schaumigkeit	Blasen	Spitzen	Absacker
2,5	18	54	3	-	-
4	23	6	-	44	-
5	25	12	-	23	3
6	32	-	-	-	1
8	14	22	42	-	-
Summe	112	94	45	67	4

3.3 Ermittlung und Bewertung möglicher Einflussfaktoren

Um die Ursache der hohen Nacharbeitsquote bei der Herstellung emaillierter Stahlbleche für segmentierte Behälter zu bestimmen, müssen zunächst mögliche Einflussfaktoren ermittelt werden. Zur Veranschaulichung soll ein Ishikawa-Diagramm (*siehe Abbildung 10*) dienen. Im Anschluss folgt eine Erläuterung der relevanten Haupt- und Nebeneinflussgrößen.

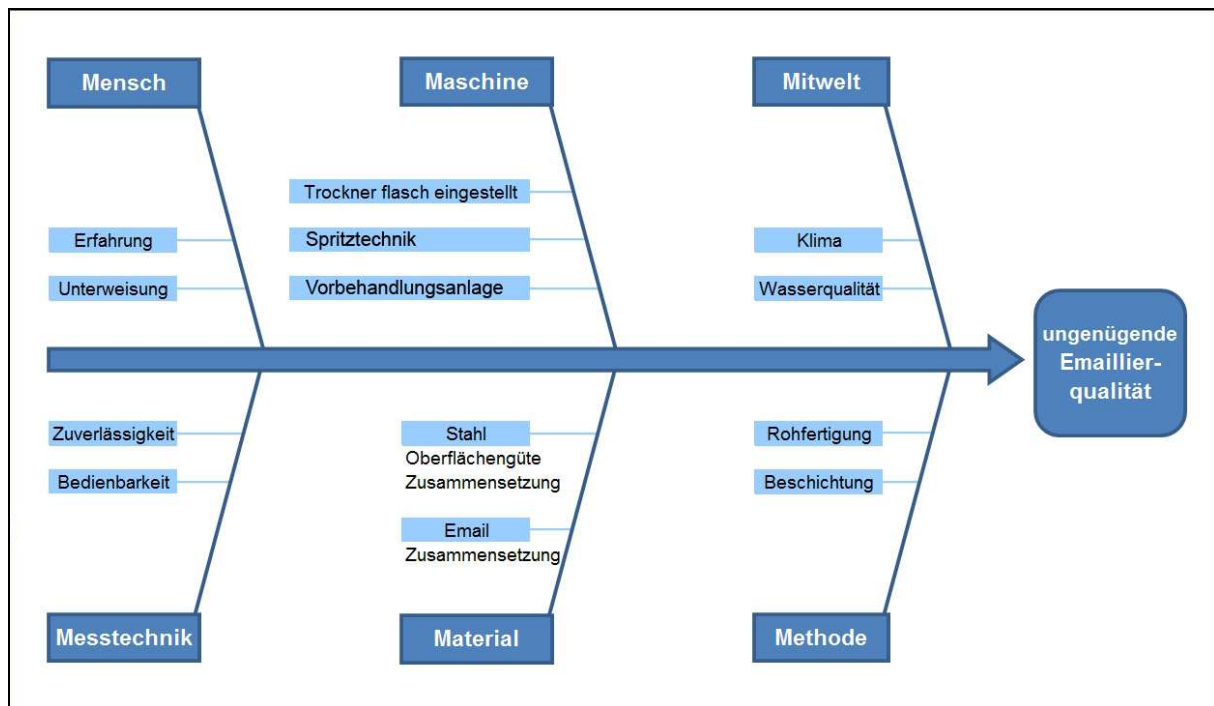


Abbildung 10: Ishikawa - Diagramm möglicher Einflussfaktoren der Emaillierung
(eigene Darstellung)

Die relevanten Haupteinflussgrößen sind der Mensch, die Maschine, die Mitwelt, die Messtechnik, das Material und die Methode.

Für den Faktor Mensch ergeben sich die Nebeneinflussgrößen Erfahrung und Unterweisung. Darunter werden die Kenntnisse bezüglich des fachgerechten Umganges mit den Werkstoffen Email und Stahl verstanden. Darunter wird das sachgemäße Anstellen des Emailschlickers, unter Berücksichtigung von Dichte, Auftragsgewicht und Rheologie, verstanden. Des Weiteren können die Beherrschung der Spritztechnik sowie das korrekte Einstellen der Spritzparameter (Luftdruck, Materialdurchsatz) diesem Bereich zugeordnet werden. Für die Arbeiter an der Ofenkette gilt zu beachten, dass durch das Handling der Silobleche keine Beschädigungen an ebendiesen verursacht werden.

Im Zuge dieser Bachelorthesis wurde ermittelt, dass alle Arbeiter regelmäßig entsprechende Schulungen und Unterweisungen erhalten. Da sie den Anforderungen gerecht werden, wird der Mensch im Weiteren als mögliche Einflussgröße nicht in Betracht gezogen.

Die Maschine bzw. die Anlagentechnik bildet eine weitere Haupteinflussgröße. Bei der Vorbehandlung findet die chemische Reinigung des metallischen Trägers statt. Dabei sollten Schmiermittel, Öle und Fette, aber auch Metall- und Staubteilchen entfernt werden, da zurückbleibende Verschmutzungen maßgeblichen Einfluss auf die Qualität der Emaillierung haben. Eine Funktionsstörung der Vorbehandlungsanlage konnte nach technischer Überprüfung ausgeschlossen werden. Es bleibt jedoch zu untersuchen, in wie fern die Schwankung der Konzentration des alkalischen Reinigers Einfluss auf die Reinigungswirkung und somit auf die Emaillierqualität nehmen.

Der Radius des Stahlbleches kann Einfluss auf die Beschichtungsergebnisse nehmen. Um diesem entgegenzuwirken, muss die Leistung (Druckluft und Fördermenge) der einzelnen Pumpen, die den Emailslicker zu den Spritzpistolen fördern, dem Radius des Substrates angepasst werden. Zudem muss Rheologie, Dichte und Auftragsgewicht des Schlickers geeignet sein, um den gewünschten Schichtenaufbau zu erzeugen. Ein zu dünner Emailauftrag führt zu einer ungenügenden Deckkraft und Ungleichmäßigkeit der Emailsicht, wohingegen ein zu dicker Auftrag zum Abplatzen der Emaillierung führen kann. Daher empfiehlt sich eine stetige Kontrolle dieser Parameter und, falls notwendig, eine Anpassung an den Produktionsstandard.

Nicht zu vernachlässigen ist, dass eine falsche Einstellung der Trockner- und Ofenparameter negativ auf die Emaillierungsergebnisse wirken kann. Der Hauptgrund des Trocknens besteht in der Verminderung des Wasseranteils im Biskuit. Ist der zurückbleibende Wassergehalt aufgrund einer zu geringen Trockenzeit bzw. einer zu schnellen Trocknung zu hoch, führt dies beim Einbrennen des Emails zu einer verminderten Haftfestigkeit, einem erhöhten Blasenanteil, Fischeschuppen, Rissen, Abplatzern, Kratern oder weniger Glanz der Emaillierung. Zudem wird eine Anreicherung der Ofenatmosphäre mit Wasserdampf verhindert, da dieser während des Brennvorganges negativ auf die Oberflächenqualität des Emails wirken würde. Neben der Ofenatmosphäre sollte auch die korrekte Temperatur und Verweildauer beim Brennvorgang eingehalten werden, um ein Überbrennen (Farbabweichungen) bzw. Unterbrennen (Haftungsprobleme, schlechte Oberfläche) des Emails zu verhindern.

Durch eingehende Überprüfungen des Trockners und der Ofenanlage konnten keine Fehlfunktionen detektiert werden. Zudem entsprechen die Anlagen und Geräte dem aktuellen Stand der Technik. Wartungs- und Pflegearbeiten werden in definierten

Abständen durchgeführt. Ungeachtet dessen ist ein erheblicher Einfluss durch die Trocknung und das Einbrennen nicht von der Hand zu weisen, weshalb eine eingehende Untersuchung der entsprechenden Anlagen und Geräte über die Funktionsfähigkeit als solches hinaus erforderlich ist.

Eine weitere Haupteinflussgröße bildet die Mitwelt. Die Luftfeuchtigkeit und Temperatur in den Produktionsstätten wirkt sich auf die Trocknung der beschichteten, aber noch ungebrannten Stahlbleche aus. Des Weiteren wird dem Brennraum Frischluft zugeführt, so dass sich das Klima zudem auf die Atmosphäre im Ofen auswirken kann (*siehe Anhang 7*). Da Wasser sowohl für die chemische Vorbehandlung, wie auch für die Herstellung des Emailschlickers benötigt wird, kann es Einfluss auf die Produktionsergebnisse nehmen. Die Qualität des Wassers beeinflusst die Eigenschaften des Schlickers und somit auch die Güte der Emaillierung. Ölige Beimengungen, andere organische Verschmutzungen sowie hohe Salzgehalte sollten daher im Wasser vermieden werden.

Einflüsse durch die Mitwelt können als gegeben betrachtet werden, jedoch wirken sich diese schlussendlich erst an den entsprechenden Anlagen und Geräten aus, so dass die Mitwelt als mögliche Einflussgröße ausgeschlossen werden kann.

Zur Überprüfung und Bewertung der Messtechnik fanden Rücksprachen mit der Qualitätsbeauftragten des Unternehmens statt. Zudem wurde die Funktion der entsprechenden Messgeräte eigenständig geprüft. Daraus ergab sich, dass die Zuverlässigkeit der Messtechnik gegeben ist. Des Weiteren sind keine Auffälligkeiten oder Probleme bei der Bedienbarkeit durch die Mitarbeiter bekannt.

Als weitere Haupteinflussgröße muss das Material angeführt werden, da dieses für das Gelingen eines Erzeugnisses von zentraler Bedeutung ist. Hierbei ist Stahl und Email - im Speziellen deren chemische Zusammensetzung - von Bedeutung. Bei dem Stahl ist unter anderem auf einen geringen Kohlenstoffgehalt ($<0,10\%$) zu achten. Einerseits begünstigt dieser die Haftung des Emails, jedoch sorgt ein zu hoher Kohlenstoffgehalt, aufgrund der Ausgasung von CO und CO₂, für eine schlechte Oberflächenqualität. Eine Anforderung an das Email besteht darin, diesen Ausgasungen entgegenzuwirken bzw. diese im Email aufzufangen. Zudem soll es die chemische Beständigkeit des Verbundwerkstoffs gewährleisten.

Der Produktionsprozess als solches hat einen wesentlichen Einfluss auf die Qualität eines emaillierten Siloblechs. Aus diesem Grund kann eben dieser der Methode als Haupteinflussgröße zugeordnet werden. Um die Übersicht des Ishikawa-Diagramms zu gewährleisten, werden als Nebeneinflussgrößen lediglich die Rohfertigung und Beschichtung angeführt. Die Rohfertigung umfasst Lasern, Strahlen und Runden; wohingegen die chemische Vorbehandlung, die Emaillierung, die Trocknung und der Brennvorgang Bestandteile der Beschichtung sind.

Der Wärmeeintrag beim Laserstahlschneiden kann im Bereich der Schnittkanten des Stahlbleches zu einer Gefügeveränderung führen. Dies könnte sich negativ auf die Beschichtungsergebnisse auswirken. Bisher konnte jedoch nicht beobachtet werden, dass Emaillierfehler bevorzugt im Bereich der Schnittkanten auftreten. Die Form, Größe und Qualität des Strahlguts bestimmen - die durch das Sandstrahlen - erzeugte Oberfläche. Da es bei diesem Schritt Zielstellung ist, eine definierte Oberfläche zu erzeugen, sind die erwähnten Parameter regelmäßig zu überprüfen. Durch das Runden nimmt die Dimension des Stahlblechs in der Z-Achse zu. Diese Ausdehnung sorgt für eine ständige Veränderung des Abstandes zwischen den Spritzpistolen und dem Substrat während der Beschichtung. Somit kann das Spritzbild und die aufgetragene Menge Emailschricker deutlich variieren. Dennoch ist der eigentliche Vorgang des Rundens als mögliche Fehlerquelle auszuschließen, da durch diesen keine Rückschlüsse auf mögliche Beschichtungsfehler gezogen werden können.

Auf mögliche Einflüsse, durch die Vorbehandlung, den Emailauftrag, das Trocknen, den Brennvorgang bzw. entsprechende Anlagentechnik wurde bereits unter der Haupteinflussgröße Maschine eingegangen.

Trotz zahlreicher Faktoren in der Rohfertigung (z. B. Wärmeeintrag beim Lasern) konnte kein relevanter Einfluss auf das Emaillierergebnis hergestellt werden. Eine Umstellung des Beschichtungsverfahrens, beispielsweise auf ETE (Elektrotauchemaillierung) oder Pulverbeschichtung, stellt keine Alternative dar. Der finanzielle Aufwand einer Umstellung wäre zu hoch. Zudem wäre dadurch eine Verbesserung der Qualität nicht gewährleistet. Des Weiteren ist anzumerken, dass das verwendete Beschichtungsverfahren bereits gute Ergebnisse erzielt hat, so dass dieses nicht grundsätzlich in Frage gestellt werden sollte.

Anhand dieser Ausführungen wird ersichtlich, dass bei der Emaillierung eine Vielzahl an Einflussgrößen vorherrschen, die zu einer ungenügenden Emaillierqualität beitragen können. Der Mensch, die Mitwelt, die Messbarkeit, die Methode sowie deren Nebeneinflussgrößen werden aufgrund des wesentlich geringen Einflusses nicht weiter Betrachtet. Es zeigt sich, dass Material und Maschinen erheblich auf die Emaillierqualität einwirken können. Im Zuge der Praxisarbeit 3 wurde die Haupteinflussgröße Material bereits eingehend untersucht, so dass für die vorliegende Bachelorthesis der Bereich der Maschinen zu überprüfen ist.

4 Problemstellung

4.1 Problembeschreibung

Anhand der Qualitätsauswertung des vergangenen Jahres (*siehe Punkt 3.2*) wird ersichtlich, dass die Produktionsqualität der emaillierten Silobleche des Unternehmens stagnieren bzw. eine zunehmende Verschlechterung zu verzeichnen ist. Ein Vergleich der Jahre 2013 und 2014 zeigt einen Anstieg der Nacharbeitsquote um 8,9 %. Bei einer durchschnittlichen Jahresleistung von ca. 16.000 emaillierten Stahlblechen für segmentierte Behälter ergeben sich somit 1.424 Bleche, die eine Nacharbeit benötigen. Aus den hinterlegten Daten der Maschinenstundensätze kann entnommen werden, dass für die Nacharbeit 40 € pro Blech anfallen. In Summe ergibt sich somit ein Anstieg der Kosten um 56.960 € im Jahr, die auf ungenügende Emaillierqualität zurückzuführen sind.

Aufgrund der Implementierung einer detaillierten Auswertung der Produktionsergebnisse im Zuge der Praxisarbeit 3 konnte ermittelt werden, dass es sich hauptsächlich um zwei Fehlerbilder handelt. Der erste Emaillierfehler sind die sogenannten Fischechuppen. Dabei handelt es sich um wasserstoffbedingte halbmondförmige Ausplatzungen in der eingebrannten Emailschicht. Das Wasser aus der Luftfeuchtigkeit der Ofenatmosphäre dringt in das Email ein und wandert zur Grenzfläche zwischen Email und Stahl. Dort zerfällt es, dringt in den Stahl ein und rekombiniert als gasförmiger Wasserstoff zu H_2 . Beim Abkühlen verringert sich die Löslichkeit von Wasserstoff im Stahl, wodurch der überschüssige Anteil versucht aus dem Stahl zu entweichen. Daher wandert der Wasserstoff wieder zur Grenzfläche zwischen Stahl und Email. Dort wird dieser aufgrund des erhärteten Emails zurückgehalten, wodurch hoher Druck entstehen. Als Folge des Drucks entstehen Risse im Email, die bis zur Blechoberfläche reichen. Somit kann eine Korrosionsbeständigkeit nicht gewährleistet werden. Fischechuppen treten vereinzelt oder in Anhäufungen auf und haben eine Größe von 1-5 mm. Hierbei ist zu erwähnen, dass Fischechuppen sofort nach dem Emaillieren, aber auch mit erheblicher Zeitverzögerung auftreten können. *Abbildung 11* zeigt Fischechuppen im Deckemail.¹¹

¹¹ Vgl. ARCELOR MITTAL, S. 22

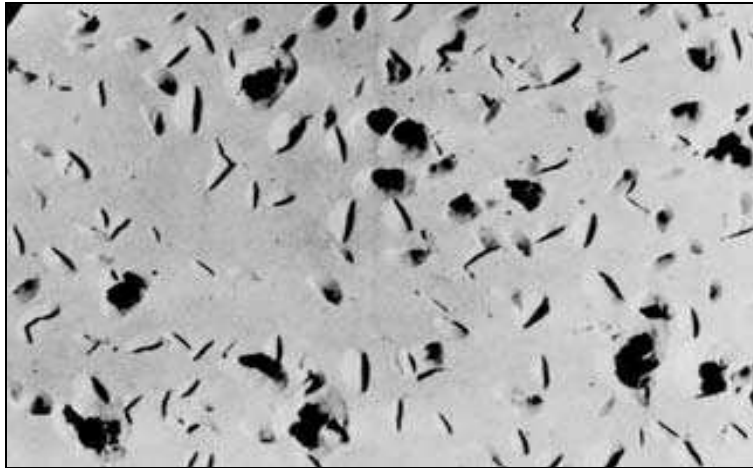


Abbildung 11: Fischschuppen im Deckemail

(ARCELOR MITTAL, S. 22)

Bei dem zweiten Fehler handelt es sich um sogenannte Schaumigkeit. Darunter versteht man eine intensive Gas- und Blasenbildung, die örtlich begrenzt, sich aber auch über die gesamte emaillierte Fläche erstrecken kann. In *Abbildung 12* ist die Schaumigkeit eines emaillierten Bleches dargestellt.



Abbildung 12: Schaumigkeit eines emaillierten Stahlblechs

(OMERAS GMBH, 2014)

Als Ursache für die entstandene schaumige, schwammige Emailsicht ist in den meisten Fällen eine schädliche, SO_2 enthaltene Ofenatmosphäre verantwortlich. Des Weiteren kann eine zu grobe Mahlung, zu niedrige oder zu kurze Brenntemperaturen bzw. –dauer sowie ein unzumessiger Ton- und Trübungsmittelzusatz dieses Fehlerbild hervorrufen.¹²

¹² Vgl. PETZOLD, 1955, S. 464

4.2 Lösungsansatz

4.2.1 Ergebnisse der Praxisarbeit 3

Um den Anforderungen der Problemstellung gerecht zu werden und einen möglichen Lösungsansatz generieren zu können, war es zunächst erforderlich, diverse organisatorische Veränderungen herbeizuführen. Im Zuge der Praxisarbeit 3 wurden die Strukturen dahingehend angepasst, dass zukünftig Rückschlüsse zwischen den eingesetzten Rohstoffen und der Produktionsqualität gezogen werden können.

Aus diesem Grund wurde festgelegt, wird seit dem 30.10.2014 von jeder neuen Schmelze einer Stahllieferung eine definierte Menge an Rückstellmustern durch die Rohfertigung bereitgestellt. Um Stabilität und Routine für diese neue Vorschrift zu erreichen, fand zunächst eine Beschränkung auf Stahlbleche mit einer Materialstärke von 5 mm statt. Zudem sollte gewährleistet werden, dass ein strukturierter Ablauf sowie eine transparente Zuordnung der Verantwortlichkeit vorliegt. Daher wurde eine entsprechende Arbeitsanweisung ausgearbeitet.

Um zu ermitteln, ob Schwankungen der Emailzusammensetzung Einfluss auf die Produktionsqualität nehmen, mussten für die chemische Analyse geeignete Proben entnommen werden. Daher wurde festgelegt, dass ab dem 27.10.2014 täglich ein Rückstellmuster des Emails durch die Anlagenfahrer des Emaillierwerks zu entnehmen ist. Zu diesem Zweck wurden geeignete Weithalsflaschen bereitgestellt und eine entsprechende Arbeitsanweisung (*siehe Anhang 8*) für die Ausführung schriftlich fixiert. Des Weiteren fand eine Unterweisung der betreffenden Produktionsarbeiter im Beisein des Abteilungsleiters statt.

Um Rückschlüsse zwischen der Produktionsqualität und den verwendeten Rohstoffen ziehen zu können, bedarf es einer gezielten Überwachung der Produktionsergebnisse mit einer entsprechenden statistischen Auswertung. Daher wurde die bestehende Qualitätsauswertung in Zusammenarbeit mit der Qualitätsbeauftragten und dem Abteilungsleiter des Emaillierwerks überarbeitet und um einige Parameter ergänzt. Dabei handelte es sich um Unterteilung nach Materialstärke sowie einer quantitativen Verteilung der häufigsten Emaillierfehler (*siehe Tabelle 1 unter Punkt 3.2*). Die erarbeitete Auswertung wird seit August 2014 gepflegt.

Eine weitere Zielstellung der Praxisarbeit 3 bestand darin, geeignete Analyseverfahren zu recherchieren und zu erproben, die für eine künftige Wareneingangskontrolle in Betracht gezogen werden können. Ein wichtiges Charakteristikum hierfür war die Klassifizierung der chemischen Zusammensetzung, um sicherzustellen, dass der Stahl und das Email den gewünschten Kriterien entsprechen. Des Weiteren sollte durch ein entsprechendes Analyseverfahren eine Aussage bezüglich der Eignung für die Emaillierung getroffen werden können. In Betracht gezogen wurden die Thermogravimetrie, die Ermittlung des Beizabtrags, die Ermittlung der Fischschuppenbeständigkeit, der Königswasseraufschluss sowie die Energiedispersive Röntgenspektroskopie. Zunächst erfolgten eine detaillierte Ausarbeitung des Versuchsablaufs sowie eine Aufstellung der benötigten Apparaturen, Geräte und Hilfsmittel. Abschließend wurde ein Variantenvergleich durchgeführt, in welchem eine Beurteilung der recherchierten Analyseverfahren hinsichtlich Anwendungsbereich (Stahl oder Email), Eignung sowie Dauer und Preis stattfand. Die Ergebnisse dieses Vergleichs sind *Tabelle 2* zu entnehmen.

Tabelle 2: Variantenvergleich der Analyseverfahren

Analyseverfahren	Anwendung		Eignung	Dauer	Preis
	Email	Stahl			
Thermogravimetrie	x	✓	+++++	+	+++
Ermittlung des Beizabtrags	x	✓	+++	+++	+
EDX – Analyse	x	✓	+	++	+++++
Ermittlung der Fischschuppenbeständigkeit	x	✓	+	+++++	++++
Königswasseraufschluss	✓	x	+++++	++++	++

✓ Zweckmäßig + /+++++ Dauer (Kurz – Lang), Eignung und Preis (Niedrig – Hoch)

x unzweckmäßig

Anhand der Tabelle ist ersichtlich, dass die Analyseverfahren unterschiedliche Eignungen aufweisen. Dies lässt sich auf die Analysemöglichkeiten der verwendeten Stahlsorten in der Omeras GmbH zurückführen. Überdies wurde dabei berücksichtigt, wie realistisch eine Anschaffung der benötigten Materialien und Anlagen ist. Aufgrund des hohen Preises und der Einschränkung, dass die chemische Zusammensetzung des Stahls nur oberflächlich und zudem in einem begrenzten Bereich bestimmt werden kann, wurde die EDX – Analyse nicht als mögliches Analyseverfahren in Betracht gezogen. Um nach der Literaturrecherche und dem Varianten abschließend beurteilen zu können, in welchem Maß eine tatsächliche Eignung für eine Wareneingangskontrolle in der Praxis vorlag, fanden Vorversuche statt. Aufgrund der vorherrschenden Gegebenheiten in der Omeras GmbH war nicht gewährleistet, dass diese Analyseverfahren DIN- gerecht durchgeführt werden konnten. Daher war es notwendig, Verfahren extern betreuen zu lassen bzw. Versuchsaufbau und –durchführung an die Anforderungen und Möglichkeiten im Unternehmen anzupassen.

Die Thermogravimetrie wurde mit drei verschiedenen Stahlchargen durchgeführt (M 1216, M 1101, M 1259). Die Ergebnisse sind der *Tabelle 3* zu entnehmen.

Tabelle 3: Ergebnisse der Thermogravimetrie

Parameter Stahlcharge	m1 [g]	m2 [g]	Δm [g]
M 1216	93,360	93,430	+0,07
	94,515	94,595	+0,08
	92,085	92,165	+0,08
	93,395	93,480	+0,085
M 1101	93,280	93,370	+0,09
	93,360	93,430	+0,07
	93,542	93,612	+0,07
	93,395	93,475	+0,08
M 1259	93,356	93,436	+0,08
	94,248	94,318	+0,07
	93,125	93,925	+0,08
	93,710	93,790	+0,08

Anhand der Resultate wurde ersichtlich, dass der Versuch reproduzierbare Ergebnisse lieferte, die als repräsentativ angesehen werden können. Zudem konnte kein negativer Einfluss auf die Wirkungsweise des Verfahrens durch die Anpassung der Versuchsdurchführung ermittelt werden. Es konnte jedoch nicht abschließend beurteilt werden, in welchem Maß die ermittelten Werte eine Aussagekraft bezüglich der Eignung des Stahls für die Emaillierung darstellen. Dies war unter anderem auf fehlende Vergleichswerte zurückzuführen. Des Weiteren konnte bei der Gegenüberstellung der Versuchsergebnisse keine Übereinstimmung mit der Qualitätsauswertung ermittelt werden. Aus diesen Gründen wurde festgelegt, dass in bisherigem Rhythmus weitere Versuch stattfinden, um künftig Zusammenhänge zur Qualitätsauswertung ziehen zu können.

Die Ermittlung des Beizabtrags erfolgte ebenfalls mit den Chargen M 1216, M 1101 und M 1259. Die Resultate sind in der Tabelle 4 zusammengefasst.

Tabelle 4: Ergebnisse des Beizabtrags

Parameter Stahlcharge	P1 [g]	P2 [g]	P [g/m²]
M 1216	377,16	376,77	19,5
	379,25	378,88	18,5
	375,99	375,66	16,5
M 1101	378,60	377,53	53,5
	378,01	376,95	53
	378,82	377,82	50,5
M 1259	377,98	377,56	21
	378,48	377,93	27,5
	379,16	378,67	24,5

Durch die Ermittlung des Beizabtrags konnten keine konstanten Resultate erzielt werden. Um auszuschließen, dass hierfür Inkorrektheiten bei der Versuchsdurchführung und Auswertung zu Grunde liegen, erfolgte ein Abgleich mit der DIN-Norm und eine Überprüfung der Ergebnisse. Daraus ergaben sich keinerlei

Auffälligkeiten. Somit musste angenommen werden, dass die Ermittlung des Beizabtrags ein weites Spektrum an Werten liefert. Bei der Gegenüberstellung der Ergebnisse mit der Qualitätsauswertung konnte keine eindeutige Zuordnung ermittelt werden. Daher wurde beschlossen, dass auch bei diesem Analyseverfahren weitere Daten erhoben werden müssen, um repräsentative Rückschlüsse zur Produktionsqualität ziehen zu können.

Tabelle 5 zeigt eine Zusammenfassung der ermittelten Werte der Fischechuppenbeständigkeit.

Tabelle 5: Ergebnisse der Fischechuppenbeständigkeit

Parameter Stahlcharge	d [mm]	t₀ [min]	TH [min/mm²]
M 1216	5	682	409
		716	430
		679	407
M 1101	5	705	423
		684	410
		712	427
M 1259	5	702	421
		718	431
		721	433

Gemäß Literaturrecherche und den Erfahrungen externer Analyselabore konnte ermittelt werden, dass eine Eignung des Stahls für die Emaillierung vorliegt.

Mittels Königswasseraufschluss wurden bisher 16 Emailproben auf ihre chemische Zusammensetzung hin überprüft. *Tabelle 6* beinhaltet die Ergebnisse der Proben, die den Stahlchargen M 1216, M 1101 und M 1259 zugeordnet werden konnten.

Tabelle 6: Ergebnisse des Königswasseraufschluss

Stahlcharge		M 1216	M 1101	M 1259
Trockenrückstand	% OS	58,5	58,6	54,9
Wassergehalt	% OS	41,5	41,4	45,1
Nickel	% TS	1,91	1,94	1,51
Natrium	% TS	12	12	8,7
Bor	% TS	3,68	3,76	3,06
Phosphor	% TS	0,312	0,356	0,293
Kupfer	% TS	0,289	0,309	0,453
Chrom	% TS	0,0147	0,0163	0,0587
Cobalt	% TS	0,326	0,256	0,423
Zink	% TS	0,0155	0,0132	0,0707
Aluminium	% TS	1,06	1,06	0,971
Barium	% TS	5,7	5,6	5,1
Calcium	% TS	3,81	3,87	3,37
Eisen	% TS	0,281	0,285	0,218
Kalium	% TS	0,776	0,778	0,764
Mangan	% TS	0,291	0,296	0,299
Magnesium	% TS	0,13	0,13	0,135

Bei der Auswertung dieser Ergebnisse wurde ersichtlich, dass bei dem Mengenanteil einiger Elemente Abweichungen bestehen, die durch Produktionsschwankungen nicht zu erklären sind. Dabei handelte es sich hauptsächlich um die Elemente Natrium, Bor, Kupfer, Chrom, Cobalt, Zink und Eisen. Die größte Abweichung wurde bei Zink ermittelt (80%), die kleinste bei Bor (20%). Zusammenhänge mit der Qualitätsauswertung und den vorherrschenden Emailierfehler konnte nicht ermittelt werden. Durch einen Dialog mit dem Lieferanten konnte ermittelt werden, wie diese Schwankungen zu Stande kommen und künftig vermieden werden können.

Als Quintessenz der Praxisarbeit 3 ging hervor, dass Analyseverfahren existieren, die für eine Wareneingangskontrolle geeignet sind. Vor einer endgültigen Implementierung einer Wareneingangskontrolle waren jedoch weitere Versuche notwendig, um abschließend bewerten zu können, welches bzw. welche Verfahren künftig in Betracht gezogen werden. Zudem konnte der Verschlechterung der Produktionsergebnisse nicht entgegengewirkt werden

4.2.2 Vorgehen in der Bachelorthesis

Auf Grundlage der ermittelten Zusammenhänge und Parameter sollen Schritte eingeleitet werden, die der Stagnation bzw. Verschlechterung der Produktionsqualität entgegenwirken. Die Basis hierfür bildet weiterhin eine gezielte Überwachung der Produktionsergebnisse mit einer entsprechenden statistischen Auswertung.

Aufbauend auf den Ergebnissen und den Optimierungen im Zuge der Praxisarbeit 3 soll weiterhin untersucht werden, welche Erkenntnisse aus den theoretischen Betrachtungen des Produktionsprozesses sowie der Ermittlung und Bewertung möglicher Einflussfaktoren bei der Herstellung eines emaillierten Stahlblechs gezogen werden können. Ferner gilt es zu untersuchen, in welchem Maß sich die Erkenntnisse der theoretischen Betrachtungen in der Praxis widerspiegeln.

Zu diesem Zweck sollen einige organisatorische Veränderungen angestrebt werden sowie Versuche hinsichtlich:

- Chemischer Vorbehandlung
- Trocknung
- Emailauftrag
- Einbrennen

durchgeführt werden.

5 Methoden und Umsetzung

5.1 Organisatorisch

Um den Anforderungen der Problemstellung gerecht zu werden und einen möglichen Lösungsansatz generieren zu können, war es erforderlich, dass diverse organisatorische Veränderungen herbeigeführt wurden. Diese bezogen sich im Wesentlichen drauf, die Strukturen dahingehend anzupassen, dass künftig Rückschlüsse zwischen dem alkalischen Reiniger sowie der Dichte und des Auftragsgewichtes des Emailslickers und der Produktionsqualität gezogen werden können. Welche Veränderungen dafür im Speziellen stattfanden, wird unter den Punkten 5.1.1 und 5.1.2 erläutert.

5.1.1 Implementierung einer kontinuierlichen Überwachung des alkalischen Reinigers

Um zu gewährleisten, dass das aufzubringende Email die Metalloberfläche gleichmäßig benetzt, bedarf es einer sauberen und fettfreien Oberfläche. Sichergestellt wird dies durch eine bestimmte Menge des alkalischen Reinigers in der chemischen Vorbehandlungsanlage. Um zu ermitteln, ob Schwankungen hinsichtlich der Konzentration des alkalischen Reinigers Einfluss auf die Produktionsqualität nehmen, musste diese Konzentration zunächst kontinuierlich bestimmt werden. Eine entsprechende Prüfanweisung bestand bereits, bedurfte jedoch einer Überarbeitung. Des Weiteren mussten die betroffenen Mitarbeiter in die korrekte Ausführung unterwiesen und die Wichtigkeit dieser Kontrolle unterrichtet werden. Um den Umgang mit diesem Prüfverfahren zu festigen und verifizieren zu können, ob die Unterweisung des Prüfverfahrens exakte Ergebnisse lieferte, wurden täglich eigenständige Messungen durchgeführt. Die Arbeitsanweisung ist *Anhang 9* zu entnehmen.

5.1.2 Implementierung einer kontinuierlichen Überwachung des Emailslickers

Aufgrund der Ermittlung und Bewertung möglicher Einflussfaktoren (*siehe Punkt 3.3*) konnte festgestellt werden, dass die Dichte und das Auftragsgewicht des

Emailschlickers eine mögliche Einflussgröße für die Emaillierqualität bilden können. Zur Bestimmung eines möglichen Einflusses, bedurfte es einer stetigen Kontrolle dieser Parameter, die bisher sporadisch ermittelt und nicht dokumentiert wurden. Um eine systematische und sorgfältige Durchführung sicherzustellen, wurde eine entsprechende Arbeitsanweisung ausgehangen. Im Beisein des Abteilungsleiters wurde den Arbeitern die Relevanz verdeutlicht. Zudem fand eine Unterweisung in die Abläufe statt. Die erwähnte Arbeitsanweisung ist im *Anhang 10* aufgeführt.

5.2 Versuche

5.2.1 Anpassung der Konzentration des alkalischen Reinigers

Wie eingehend erwähnt, existiert theoretisch ein Zusammenhang zwischen einer ungenügenden Vorbehandlung des metallischen Trägers und der Emaillierqualität. Auf die Funktionsweise der chemischen Vorbehandlungsanlage wurde bereits unter *Punkt 3.1* eingegangen. In *Abbildung 13* sind die benötigten Prüf- und Hilfsmittel dargestellt.



Abbildung 13: Prüfmittel zur Bestimmung der Konzentration des alkalischen Reinigers
(eigene Darstellung)

Zudem soll an dieser Stelle auf die Durchführung der Prüfung eingegangen werden. Der Prüfungsablauf zur Bestimmung der Konzentration des alkalischen Reinigers umfasst:

- Messbecher mit 100 ml Wasser auffüllen
- Spülwasser mittels Saugrohr bis zur Markierung auffüllen
- Spülwasser in Messbecher geben
- Zugabe von drei Tropfen Indikatorlösung
- Die Skala des Säurebehälters auf das Ausgangsmaß stellen
- Dem Messbecher unter ständigem Rühren H_2SO_4 zuführen, bis eine bleibende Farbveränderung eintritt
- Zahlenwert auf Skala des Säurebehälters ablesen und entsprechenden Wert der Waschmittelzugabe der Vorgabeliste entnehmen
- Entsprechende Menge an alkalischem Reiniger zugeben

Die Überwachung der Waschmittelkonzentration erfolgte zunächst täglich über einen Zeitraum von zwei Wochen. Während dieser Zeit wurde der bisherige Standard für die entsprechenden Reinigungsbecken kontinuierlich eingehalten. Um die Auswirkung des alkalischen Reinigers bzw. dessen Konzentration differenzieren und den entsprechenden Produktionsergebnissen gegenüberstellen zu können, fanden zwei weitere Versuche statt.

Im ersten Versuch sollte ermittelt werden, ob eine erhöhte Reinigungswirkung – durch Erhöhung der Waschmittelkonzentration – zu einer Veränderung der Emaillierqualität führen würde. Zu diesem Zweck wurde die Konzentration um 20 % des bisherigen Standards erhöht. Dieser Versuch mit der entsprechenden Datenerhebung erstreckte sich ebenfalls über einen Zeitraum von zwei Wochen.

Für eine umfassende Verifizierung dieser Einflussgröße musste noch ermittelt werden, wie sich eine ungenügende Konzentration des Reinigers auf die Emaillierqualität auswirkt. Daher wurden die Becken 1 und 2 ausgeschaltet, wodurch ein kompletter Verzicht des alkalischen Reinigers simuliert wurde. Um bei einem negativen Ausgang dieses Versuches den wirtschaftlichen Schaden in einem überschaubaren Maß zu halten, erstreckte sich dieser Versuch lediglich über eine Woche. Darüber hinaus erfolgte während dieser Phase eine unentwegte Kontrolle der Produktionsqualität, um auf eine deutliche Verschlechterung schnellstmöglich korrigierend eingreifen zu können.

5.2.2 Anpassung des Emailschlickers hinsichtlich Dichte und Auftragsgewicht

Zur Erbringung des Nachweises, dass neben den theoretischen auch ein praktischer Einfluss durch die Dichte und das Auftragsgewicht des Emails besteht, wurden dahingehend Versuche durchgeführt. Aufgrund der Implementierung einer kontinuierlichen Überwachung des Emailschlickers konnte ermittelt werden, dass die durchschnittliche Dichte des Grundemails für die Innen- und Außenseite bei $1,56 \text{ g/cm}^3$ liegt. Bei dem Auftragsgewicht konnten Unterschiede zwischen der Innenseite ($15,70 \text{ g/200 cm}^2$) und der Außenseite ($16,80 \text{ g/200 cm}^2$) ausgemacht werden. Die entsprechenden Werte sind in *Anhang 11* hinterlegt. Die *Abbildung 13 bzw. Anhang 12* zeigen die benötigten Prüfmittel zur Bestimmung von Dichte und Auftragsgewicht.



Abbildung 14: Prüfmittel zur Bestimmung der Dichte des Emailschlickers
(eigene Darstellung)

Für ein besseres Verständnis soll an dieser Stelle auf die Durchführung der Prüfungen eingegangen werden. Der Prüfablauf zur Ermittlung der Dichte umfasst:

- Leergewicht des Messbechers ermitteln; Waage auf Nullwert tarieren
- Email im Fass gut verrühren
- Email entnehmen und 100 ml in Messbecher geben
- Gefüllten Messbecher wiegen und Dichte in g/cm^3 ablesen
- Korrigieren der Dichte bei Abweichung
- Prüfung erneut durchführen

Um das Auftragsgewicht zu ermitteln werden folgende Schritte durchgeführt:

- Entsprechendes Prüfblech wiegen; Waage auf Nullwert tarieren
- Email im Fass gut verrühren
- Prüfblech eintauchen und langsam herausziehen
- Beschichtetes Blech wiegen und Auftragsgewicht in $\text{g}/200 \text{ cm}^3$ ablesen
- Korrigieren des Auftragsgewichtes
- Prüfung erneut durchführen

Zur Ermittlung der tatsächlichen Einflussnahme dieser Parameter wurden Versuche mit verschiedener Dichte und Auftragsgewicht durchgeführt. Für eine bessere Vergleichbarkeit wurden zunächst Versuche mit dem bisherigem Produktionsstandard durchgeführt. Um weitere Einflussgrößen ausschließen zu können, durchliefen die Versuchsbleche den gewohnten Produktionsdurchlauf. Des Weiteren wurde untersucht, wie sich eine geringere/erhöhte Dichte bzw. ein geringeres/erhöhtes Auftragsgewicht auf die Emaillierqualität auswirken.

Für die Versuche wurden jeweils zwei Silobleche verwendet. Bei dem Versuch mit den bisherigen Standards, der als Vergleichsprobe dienen sollte, wurden keinerlei Veränderungen vorgenommen. Um festzustellen, wie sich eine geringere Dichte respektive Auftragsgewicht auf die Produktionsergebnisse auswirken, wurden diese Parameter – laut Angaben der Arbeitsanweisung – durch eine Zugabe von sauberem Wasser dahingehend verändert. Die Dichte betrug $1,51 \text{ g/cm}^3$, das Auftragsgewicht $8,6 \text{ g}/200 \text{ cm}^2$. Für eine umfassende Beurteilung dieser Parameter war es zudem notwendig, die Auswirkungen einer erhöhten Dichte und eines erhöhten

Auftragsgewichtes auf die Emaillierqualität zu untersuchen. Die Dichte wurde auf $1,60 \text{ g/cm}^3$ angehoben, wodurch sich das Auftragsgewicht auf $19,0 \text{ g/200 cm}^2$ erhöhte. Erreicht wurde dies durch die Zugabe von Natriumnitrit.

5.2.3 Untersuchung und Anpassung von Ofenatmosphäre und Brennkurve

Wie bereits im Vorfeld erwähnt, kann die Ofenatmosphäre – im Speziellen der Wasserstoff – entscheidenden Einfluss auf die Emaillierqualität nehmen. Zudem könnte durch die Ausführungen unter *Punkt 4.1* belegt werden, dass sich dieser auf die vorherrschenden Emaillierfehler zurückführen lässt. Um die Konzentration des Wasserstoffs in der Ofenatmosphäre bestimmen zu können, wurden sogenannte Kurzzeitröhrchen verwendet. In *Abbildung 15* ist ein Röhrchen im Originalzustand dargestellt.

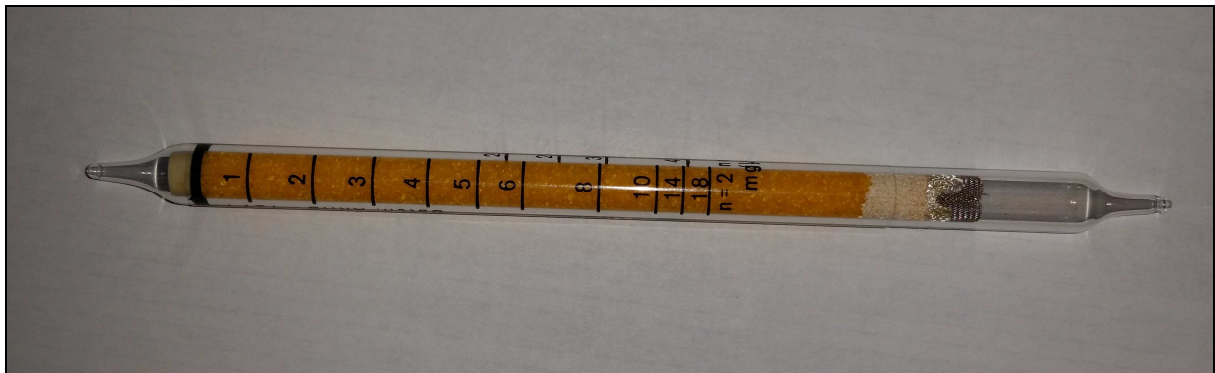


Abbildung 15: Kurzzeitröhrchen zur Bestimmung des Wasserstoffgehalts
(eigene Darstellung)

Mittels Kurzzeitröhrchen ließ sich die Momentankonzentration der zu messenden Substanz bestimmen. Dabei wurde die gemessene Konzentration über die Zeitspanne der Messdauer (ca. 30 Sek.) ermittelt. Bis zu Beginn des Versuchs blieb das Röhrchen verschlossen, so dass keine Reaktionen mit der Umgebungsluft vor der eigentlichen Messung stattfinden konnten. Im weiteren Fortgang wurden die Enden des Kurzzeitröhrchens mit der entsprechenden Vorrichtung an dem Balg (siehe *Anhang 13*) abgebrochen und das Röhrchen in den Balg eingeführt.

Zur Gewährleistung, dass die aufgenommene Substanz tatsächlich nur aus der Brennkammer stammt und um Beschädigungen an den Prüfmittel zu vermeiden,

wurde eine Lanze aus Edelstahl verwendet. Diese wurde mit der Spitze des Kurzzeitröhrchens verbunden und durch eine, dafür vorgesehene Prüföffnung, in die Brennkammer des Ofens eingeführt. Durch Betätigung des Balgs wurde die Messung gestartet.

Die Messung der Wasserstoffkonzentration erstreckte sich über einen Zeitraum von zwei Wochen. Dabei wurde die Messung in definierten Zyklen (Schichtbeginn, Schichtmitte, Schichtende) durchgeführt.

Des Weiteren sollte ermittelt werden, wie sich die Temperaturverteilung innerhalb der Brennkammer gestaltet und ob sich diese über die Versuchsdauer verändert. Zu diesem Zweck wurden zwei Silobleche am Öfenförderer befestigt, die zur späteren Aufnahme der Messfühler dienen sollten. Zudem sollte somit der Einfluss der Silobleche simuliert werden, der während der täglichen Produktion vorherrscht. Für ein besseres Verständnis des Versuchsaufbaus dient *Abbildung 16*.



Abbildung 16: Versuchsaufbau zur Bestimmung der Wärmeverteilung in Brennofen
(eigene Darstellung)

Die Silobleche wurden so an der Ofenkette befestigt, dass die Messfühler 7,90 m voneinander entfernt waren. Somit sollte der Messbereich nahezu die gesamte Länge der Brennkammer einschließen. Die Befestigung der Messfühler erfolgte

durch verschrauben in den Löchern des Silobleches. Die Fühler wurden mit dem Datenlogger verbunden, welcher durch eine Hitzeschutzbox vor den Einwirkungen des Ofens geschützt werden sollte. Der Datenlogger befand sich zwischen den beiden Blechen, im mittleren Bereich der Brennkammer. Die Messung und Speicherung erfolgte kontinuierlich über ein bestimmtes Intervall, welches im Vorfeld festgelegt wurde. Im Zuge der Bachelorthesis wurden fünf Messungen durchgeführt.

5.2.4 Anpassung der Trocknungsbedingungen

Da die Einflüsse, die durch das Trocknen entstehen, vielseitig sind, wurden verschiedene Versuche durchgeführt, um Zusammenhänge zur Produktionsqualität gezielt bestimmen zu können. Des Weiteren sollte ermittelt werden, ob sich die vorherrschenden Emaillierfehler reproduzieren lassen.

5.2.4.1 Variation der Trocknungsparameter

Die Trocknertemperaturen stehen üblicherweise im Zusammenhang zur Materialstärke der Stahlbleche, da diese aufgrund ihrer Masse einen entsprechenden Anteil an Wärmeenergie aufnehmen können. Für eine bessere Vergleichbarkeit der Ergebnisse wurden die Versuche daher bei nur einer Materialstärke (5 mm) durchgeführt. Die Trocknertemperaturen lagen bei 100°C (Trockner 1) bzw. 120°C (Trockner 2).

Zunächst sollte überprüft werden, welche Auswirkungen eine zu schnelle Trocknung hervorruft. Daher wurden die Temperaturen beider Trockner um jeweils 20°C erhöht. Auch eine ungenügende Trocknung sollte betrachtet werden. Aus diesem Grund wurden die Temperaturen beider Trockner um 20°C des üblichen Standards reduziert. Um eine maximale Reaktion zu provozieren, erfolgten zudem eine Erhöhung der Trocknertemperaturen auf das Maximum (140°C) sowie ein kompletter Verzicht auf eine Trocknung. Während dieser Versuche fand eine stetige Kontrolle der Produktionsqualität statt, um bei negativem Ausgang korrigierend eingreifen zu können.

5.2.4.2 Veränderung des Produktionsablaufs

Um festzustellen, ob eine ungenügende bzw. eine zu frühe oder späte Trocknung während des Produktionsprozesses für die unbefriedigenden Emaillierungsergebnisse verantwortlich ist, wurden dahingehend weitere Versuche durchgeführt. Zu diesem Zweck wurden die Versuchsbleche an verschiedenen Stufen des Beschichtungsprozesses getrocknet. Für eine bessere Vergleichbarkeit der Ergebnisse wurde als Gegenprobe ein Versuchsblech im bekannten Durchlauf produziert.

Eine Veränderung des Produktionsablaufs war aufgrund technischer Gegebenheiten und der Anordnung der Beschichtungsstrecke nicht ohne weiteres möglich. Um den Versuch dennoch - mit einem vertretbaren Aufwand - durchführen zu können, wurden Prüfbleche angefertigt. Diese wiesen die gleichen Spezifikationen wie die zur Produktion verwendeten Silobleche auf. Es wurden lediglich eine Anpassung der Abmaße (250 x 250 mm) durchgeführt. Für eine bessere Vergleichbarkeit mit den anderen Trocknungsversuchen wurden ebenfalls 5 mm Bleche verwendet. Für die Versuche ergaben sich folgende Varianten:

- Variante 1
 - o Grundemail – Deckemail – Trocknen
- Variante 2
 - o Grundemail – Trocknen – Deckemail
- Variante 3
 - o Grundemail – Trocknen – Deckemail – Trocknen

Für die erste Variante konnten die Bleche im bekannten Produktionsdurchlauf beschichtet werden. Bei der zweiten und dritten Variante wurden die Bleche an den entsprechenden Produktionsschritten den Trocknern manuell zugeführt. Für die Varianten wurden jeweils 2 Bleche verwendet.

5.2.4.3 Trocknung mittels Infrarotstrahler

Dieser Versuch ist im Prinzip eine Variante der vorherigen. Zielstellung war, die Wahrscheinlichkeit zu erhöhen, Wasser aus tiefer liegenden Schichten diffundieren zu lassen. Hierbei war jedoch vorgesehen, eine Kombination aus der bisherigen Trocknung inklusive einer Trocknung mittels Infrarotstrahler sowie einer reinen Trocknung mittels Infrarotstrahler zu testen. Für die Versuche wurden Bleche mit einer Materialstärke von 2,5 und 4 mm verwendet. Der Versuchsaufbau ist in *Anhang 14* dargestellt. Bei Variante 3 fand eine beidseitige Trocknung durch den Infrarotstrahler statt, bei den übrigen Varianten wurde lediglich die Innenseite getrocknet.

- Variante 1
 - o Menge: 13 Stück
 - o Anordnung Infrarotstrahler: übereinander senkrecht
 - o Leistung Infrarotstrahler: 80%
 - o Temperatur Blech: 80°C
 - o Temperatur Strahler: 350°C
 - o Position Infrarotstrahler: Ausgang Spritzkabine
 - o Abstand Infrarotstrahler zum Blech: 50 cm
- Variante 2
 - o Menge: 14 Stück
 - o Anordnung Infrarotstrahler: übereinander senkrecht
 - o Leistung Infrarotstrahler: 90%
 - o Temperatur Blech: 90°C
 - o Temperatur Strahler: 420°C
 - o Position Infrarotstrahler: Ausgang Spritzkabine
 - o Abstand Infrarotstrahler zum Blech: 50 cm
- Variante 3
 - o Menge: 24 Stück
 - o Anordnung Infrarotstrahler: gegenüber senkrecht
 - o Leistung Infrarotstrahler: 95%
 - o Temperatur Blech: 95°C
 - o Temperatur Strahler: 420°C
 - o Position Infrarotstrahler: Ausgang Spritzkabine
 - o Abstand Infrarotstrahler zum Blech: 50 cm

- Variante 4
 - o Menge: 130 Stück
 - o Anordnung Infrarotstrahler: nebeneinander senkrecht
 - o Leistung Infrarotstrahler: 95%
 - o Temperatur Trockner 1: 80°C
 - o Temperatur Trockner 2: 100°C
 - o Temperatur Blech: 95°C
 - o Temperatur Strahler: 420°C
 - o Position Infrarotstrahler: Ausgang Trockner 2
 - o Abstand Infrarotstrahler zum Blech: 50 cm

- Variante 5
 - o Menge: 103 Stück
 - o Anordnung Infrarotstrahler: nebeneinander senkrecht
 - o Leistung Infrarotstrahler: 95%
 - o Temperatur Trockner 1: 100°C
 - o Temperatur Trockner 2: 120°C
 - o Temperatur Blech: 95°C
 - o Temperatur Strahler: 420°C
 - o Position Infrarotstrahler: Ausgang Trockner 2
 - o Abstand Infrarotstrahler zum Blech: 50 cm

- Variante 6
 - o Menge: 3 Stück
 - o Leistung Infrarotstrahler: ausgeschaltet
 - o Temperatur Trockner 1: ausgeschaltet
 - o Temperatur Trockner 2: ausgeschaltet
 - o Temperatur Blech: 25°C

6 Ergebnisse

6.1 Anpassung der Konzentration des alkalischen Reinigers

In der folgenden Tabelle sind die Werte vermerkt, die im Zuge der Überwachung (Standardbedingungen) der Reinigungsmittelkonzentration eigenständig ermittelt wurden.

Tabelle 7: Ergebnisse der Bestimmung der Reinigungsmittelkonzentration

Datum	Bad 1	Bad 2
	Abgelesener Wert	Abgelesener Wert
13.07.2015	8	7,5
14.07.2015	8	7,5
15.07.2015	7,5	8
16.07.2015	1	8
17.07.2015	7,5	7,5
20.07.2015	7,5	8
21.07.2015	8	8
22.07.2015	8	8
23.07.2015	8	7,5
24.07.2015	7,5	8

Es wird ersichtlich, dass die Werte auf einem konstanten Niveau liegen, und somit eine Zugabe von Reinigungsmittel nicht erforderlich ist. Aus diesem Grund kann davon ausgegangen werden, dass eine Einhaltung der täglichen Kontrolle der Konzentration sowie eine entsprechende Zugabe des alkalischen Reinigers reibungslos stattfindet.

Während der entsprechenden Zeiträume, in denen die bisherige und die erhöhte Konzentration des Reinigers Anwendung fand, traten weiterhin die beschriebenen Fehlerbilder auf. Darüber hinaus konnten diese Fehler während der Zeitspanne, in der ein Verzicht des alkalischen Reinigers stattfand, beobachtet werden. Durch einen

Abgleich der Qualitätsauswertung und der Produktionsqualität der entsprechenden Zeiträume konnte keine signifikante Veränderung festgestellt werden. Während der Phase des Verzichts auf Reinigungsmittel ergab sich eine minimale Verschlechterung der Emaillierqualität. Es konnte jedoch nicht abschließend geklärt werden, ob dies ausschließlich auf diesen Aspekt zurückzuführen ist. Zudem kann davon ausgegangen werden, dass die bisherige Konzentration des alkalischen Reinigers bereits in einem optimalen Bereich liegt.

6.2 Anpassung des Emailslickers hinsichtlich Dichte und Auftragsgewicht

Tabelle 8: Ergebnisse der Anpassung des Emailslickers

Variante	Hochspannungsprüfung	Visuelle Einschätzung		Schichtdicke	
		Innen	Außen	Innen	Außen
Bisherige Dichte	1,1 kV bestanden	Näpfchen	Gut	215-240 μm	230-250 μm
Verringerte Dichte	0,9 KV bestanden	Näpfchen Nadelstiche Blasen	Gut	195-230 μm	195-220 μm
Erhöhte Dichte	0,9 kV bestanden	Nadelstiche Blasen	Gut	200-270 μm	230-270 μm

Anhand der *Tabelle 8* wird ersichtlich, dass der bisherige Produktionsstandard die besten Emaillierergebnisse lieferte. Dies umfasst das Bestehen der Hochspannungsprüfung sowie die visuelle Einschätzung des emaillierten Stahlbleches. Daher wird davon ausgegangen, dass der bisher genutzte Standard in einem optimalen Bereich liegt und eine Anpassung der Dichte und des Auftragsgewichts nicht notwendig ist.

6.3 Anpassung der Trocknungsbedingungen

6.3.1 Variation der Trocknungsparameter

Bei der Absenkung und der Erhöhung der Trocknertemperaturen konnte kein signifikanter Einfluss auf die Produktionsergebnisse ermittelt werden. Die Bleche, die die Trockner bei maximaler Temperatur durchfuhren, wiesen anschließend Trocknungsstellen (siehe Anhang 15) auf. An diesen Stellen konnte nach der Emaillierung Schaumigkeit festgestellt werden. Des Weiteren zeigten die Bleche, die ohne eine Trocknung emailliert wurden, eine verschlechterte Oberfläche im Vergleich zu den sonstigen Produktionsergebnissen. Somit konnte allgemein eine Kausalität zwischen Trocknung und Emaillierqualität nachgewiesen werden. Im Speziellen konnte ermittelt werden, dass mit den bisherigen Trocknereinstellungen die besten Emaillierungsergebnisse erzielt werden konnten.

6.3.2 Veränderung des Produktionsdurchlaufs

Die Ergebnisse dieses Versuchs sind *Tabelle 9* zu entnehmen. Auch bei diesem Versuch kristallisierte sich heraus, dass sich mit den bisherigen Abläufen und Standards die beste Produktionsqualität erzielen ließ.

Tabelle 9: Ergebnisse des Veränderten Produktionsdurchlaufs

Variante	Hochspannungsprüfung	Visuelle Einschätzung		Schichtdicke	
		Innen	Außen	Innen	Außen
1	1,1 kV bestanden	Leicht Schaumig	Gut	200-220 µm	220-240 µm
2	0,9 KV bestanden	Trockenstellen Schaumig	Schaumig	210-240 µm	200-220 µm
3	0,9 kV bestanden	Trockenstellen Schaumig	Schaumig	190-240 µm	190-230 µm

6.3.3 Trocknung mittels Infrarotstrahler

Die Versuchsergebnisse der verschiedenen Varianten sind in der *Tabelle 10* zusammengefasst. Im Zuge der Auswertung erfolgte ein Abgleich mit der entsprechenden Qualitätsauswertung. Es wurde ersichtlich, dass keine der Varianten den Qualitätsanforderungen vollumfänglich gerecht wird. Aus diesem Grund wurde nach diesem Versuch beschlossen, eine Trocknung mittels Infrarotstrahler vorerst nicht zu implementieren.

Tabelle 10: Ergebnisse der Trocknung mittels Infrarotstrahler

Variante	Hochspannungsprüfung	Visuelle Einschätzung	
		Innen	Außen
1	0,9 kV bestanden	Leicht schaumig	Gut
2	0,7 KV bestanden	Trockenstellen Schaumig	Leicht Schaumig
3	0,9 kV bestanden	Trockenstellen Schaumig	Gut
4	0,6 kV bestanden	Schaumig Blasen	Leicht Schaumig
5	0,9 kV bestanden	Blasen	Schaumig
6	0,6 kV bestanden	Schaumig Blasen	Schaumig

6.4 Untersuchung und Anpassung von Ofenatmosphäre und Brennkurve

Die Untersuchungen des Wasserstoffgehalts in der Brennkammer ergeben verwertbare Ergebnisse. Eine Fehlfunktion oder Bedienungsfehler sind innerhalb der

Versuchsdurchführung nicht aufgetreten. Darüber hinaus befanden sich die Werte in einem engen Korridor (3-4 mg/L). *Abbildung xx* zeigt ein Kurzzeitröhrchen nach Beendigung des Versuchs. Rückschlüsse zur Produktionsqualität konnte nicht ermittelt werden. Im Zeitraum der Messung traten die benannten Emaillierfehler weiterhin azyklisch auf. Aus diesen Gründen konnte nicht bestimmt werden, in welchem Maß der Wasserstoffgehalt einen tatsächlichen Anteil an den vorherrschenden Problemen hat.

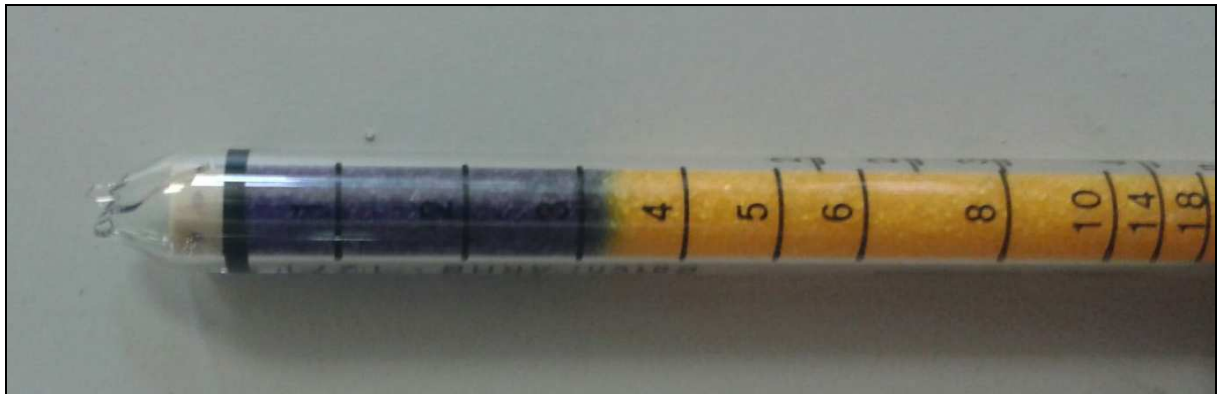


Abbildung 17: Röhrchen zur Bestimmung des Wasserstoffgehalts nach Versuchsdurchführung
(eigene Darstellung)

Die Bestimmungen der Temperaturverteilung innerhalb der Brennkammer ergaben repräsentative Ergebnisse. Eine Gegenüberstellung mit Ofenmessungen aus den Jahren 2013 und 2014 zeigte, dass die Temperaturverteilung unverändert ist. Zum Zeitpunkt dieser Messungen könnten positive Produktionsergebnisse erzielt werden. Daher ist davon auszugehen, dass eine Fehlfunktion des Ofens nicht gegeben ist. Einflüsse auf die Emaillierqualität durch ebendiesen können daher ausgeschlossen werden. *Anhang 16* zeigt die Aufzeichnungen des Datenloggers der ersten Messung.

7 Fazit und Ausblick

Im Zuge der Praxisarbeit 3 wurde ermittelt, dass ein tatsächlicher Einfluss durch das Material besteht. Es konnte jedoch nicht abschließend bewertet werden, in welchem Maß sich dieser Einfluss bemerkbar macht. Des Weiteren wurden Analyseverfahren recherchiert, die für eine zukünftige Wareneingangskontrolle geeignet sind. Es bedarf weiterer Versuche, um abschließend bewerten zu können, welches dieser Verfahren für eine Implementierung in Betracht gezogen wird.

In der Nachbetrachtung zeigte sich, dass die Einführung der organisatorischen Maßnahmen durch die Bachelorthesis von den Abteilungsleitern und Mitarbeitern positiv aufgenommen wurden. Aufgestellte Kompetenzen und Verantwortungsbereiche wurden entsprechend der Arbeitsanweisungen umgesetzt. Zudem konnten seit der Einführung keine signifikanten Problemstellungen bzw. Störungen in der Durchführung ermittelt werden.

Die Ergebnisse der Bachelorthesis lassen darauf schließen, dass die Maschinen – bei ungünstiger Einstellung – auf die Emaillierqualität Einfluss nehmen können. Durch die Anpassungen der Trocknungsbedingungen, der Konzentration des alkalischen Reinigers sowie der Anpassung des Emailschlickers hinsichtlich Dichte und Auftragsgewicht wurde belegt, dass die bisherigen Standards durchaus geeignet sind, um positive Produktionsqualitäten zu erzielen. Darüberhinaus wurden durch Veränderungen dieser Standards negative Werte erzielt. Eine Reproduktion des Fehlers konnte somit jedoch nicht provoziert werden. Ein Einfluss durch den Ofen konnte nicht ermittelt werden.

Daher konnte trotz einer umfassenden Betrachtung der Parameter Material und Maschine bisher nicht endgültig ermittelt werden, wie sich die Emaillierfehler begründen lassen. An dieser Stelle bedarf es der Erhebung weiterer Daten. Zudem sollte überdacht werden, ob sich die auftretenden Fehlerbilder auf eine einzige Haupteinflussgröße zurückführen lassen oder diese durch eine Kombination mehrerer Einflüsse hervorgerufen werden.

Neben der Möglichkeit der Prozessoptimierung - unter Anbetracht der vorherrschenden Gegebenheiten - besteht ferner die Möglichkeit, die benötigten Rohstoffe zu substituieren bzw. zu kultivieren.

Wie bereits im Vorfeld erwähnt, weist Glas und Stahl eine günstige Werkstoffkombination für segmentierte Behälter auf. Daher ist ein Austausch des Stahls lediglich hinsichtlich der chemischen Zusammensetzung in Betracht zu ziehen. Als Hauptkriterien für den Stahl sind Streckgrenze und Festigkeit anzuführen. Um diesen Kriterien gerecht zu werden, muss mit zunehmender Behältergröße die Materialstärke der einzelnen Silobleche erhöht werden. Als negative Aspekte daraus ergeben sich ein Anstieg der Material- und Herstellungskosten sowie eine erhöhte Fehleranfälligkeit bei der Emaillierung. Um dem entgegenzuwirken, besteht die Möglichkeit den Anteil des Legierungsbestandteils Bor im Stahl zu erhöhen, da dieser positiven Einfluss auf die Streckgrenze und die Festigkeit hat. Somit sollte es möglich sein, bei einer gleichzeitigen Reduzierung der Materialstärke des einzelnen Blechs, den statischen Anforderungen an einen montierten Behälter aus emaillierten Stahlblechen weiterhin gerecht zu werden. Zudem könnten somit die Material- und Herstellungskosten minimiert werden und die Anfälligkeit für Emaillierfehler in einem kontrollierbarem Niveau gehalten werden.

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, den Stahl in seiner chemischen Zusammensetzung dahingehend zu verändern, dass dieser eine bessere Eignung für die Emaillierung aufweist. Beispielsweise kann dies durch eine Reduzierung der Legierungselemente Kohlenstoff und Schwefel realisiert werden. Neben der positiven Eigenschaft des Kohlenstoffs - die Erhöhung der Festigkeit - verursacht dieser beim Emaillieren unter partieller Entkohlung und Oxydation zu CO und CO₂ Blasenbildung. Daher gilt allgemein der Richtwert von < 0,08% C, um die Wahrscheinlichkeit des Auftretens dieses Fehlerbilds zu minimieren. Mittels Schwefel soll die Wasserstoffaufnahme im Stahl bei der Emaillierung erhöht werden. Eine ungenügende Aufnahme des Wasserstoffs kann zur Bildung von Fischeschuppen führen. Der Schwefel liegt in Form von FeS oder MnS vor. Während des Emailliervorgangs kommt es zur Reaktion von FeS mit Fe₃C und Sauerstoff unter Bildung von SO₂ und CO₂. Diese Reaktion kann Aufkochungen der Beschichtung hervorrufen.¹³ Daher sollte bei diesem Legierungsbestandteil darauf geachtet werden, dass dessen Konzentration in einem Bereich liegt, der eine ausreichende Wasserstoffaufnahme ermöglicht, jedoch nicht so hoch ist, dass es zu Aufkochungen kommen kann.

Da das Email anhand der Bewertung möglicher Einflussfaktoren in der Praxisarbeit 3 ebenfalls als Haupteinflussgröße auf die Emaillierqualität ausgemacht werden

¹³ Vgl. PETZOLD, 1986, S. 157

konnte, gilt es auch dieses auf etwaige Kultivierungen zu überprüfen. Die unter dem *Punkt 4.1* aufgeführten Fehlerbilder lassen sich auf Ausgasungen zurückführen. Diese entstehen während des Brennvorgangs und können aus dem Stahl, dem Email oder aus beiden Rohstoffen stammen. Gänzlich verhindern lassen sich diese Ausgasungen nicht, jedoch kann durch eine Anpassung des Emails dafür gesorgt werden, Beschichtungsfehler zu reduzieren. Der theoretische Ansatz besteht darin eine Emailfritte zu verwenden, die dafür sorgt, dass die Emailschiicht während des Brennvorganges so lange durchlässig bleibt, bis die Ausgasungsvorgänge weitestgehend abgeschlossen sind. Somit soll gewährleistet werden, dass die verbliebene Menge an Wasserstoff im Stahl und der Beschichtung nicht so groß ist, dass es nach der Emaillierung zur Bildung von Fischschuppen kommt. Zudem sollte somit die Möglichkeit für die Emailschiicht gegeben sein, die unruhige Oberfläche, die durch das austretende Gas entstanden ist, noch glatt zu verschmelzen, bevor die Beschichtung erstarrt.

Um das Know-how der Beteiligten Parteien (Omeras GmbH, Stahllieferant, Emaillieferant) zu Bündeln, wurde eine Arbeitsgruppe gegründet. Innerhalb dieser wurden die vorherrschenden Produktionsprobleme bei der Omeras GmbH erläutert, analysiert und mögliche Veränderungen besprochen. Zudem fand eine Aufgabenverteilung statt, um die eben erwähnten Optimierungen hinsichtlich chemischer Zusammensetzung des Stahl und des Emails zu realisieren.

Quellverzeichnis

ARCELOR MITTAL [Hrsg.]: Anwenderhandbuch – Emaillierstahl und emaillierter Stahl

PETZOLD, Armin: Email, Berlin, 1955

PETZOLD, Armin: Email und Emailiertechnik, Leipzig, 1986

PIETSCHMANN, Judith: Industrielle Pulverbeschichtung, Wiesbaden 2003

RÖMPP, Hermann: Römpp Lexikon Lacke und Druckfarben, Stuttgart, 1998

Anhangverzeichnis

- Anhang 1 Die Produktionsstätten der Omeras GmbH
- Anhang 2 Café zur Expo in Hannover
- Anhang 3 U-Bahn-Station Westminster in London
- Anhang 4 Absacker
- Anhang 5 Hochspannungsmessung
- Anhang 6 Transportfertige Silobleche
- Anhang 7 Abluftkreislauf des Brennofens
- Anhang 8 Arbeitsanweisung – Rückstellmuster Grundemail
- Anhang 9 Arbeitsanweisung – Bestimmung Konzentration alkalischer Reiniger
- Anhang 10 Arbeitsanweisung – Bestimmung Dichte und Auftragsgewicht
- Anhang 11 Ergebnisse der Messung von Dichte und Auftragsgewicht
- Anhang 12 Prüfblech zur Bestimmung des Auftragsgewichts
- Anhang 13 Prüfmittel zur Bestimmung Wasserstoffkonzentration
- Anhang 14 Versuchsaufbau Infrarotstrahler
- Anhang 15 Trockenstelle
- Anhang 16 Ofenkurve



Die Produktionsstätten der Omeras GmbH
(Quelle: Omeras GmbH)



Café zur Expo in Hannover
(Quelle: Omeras GmbH)

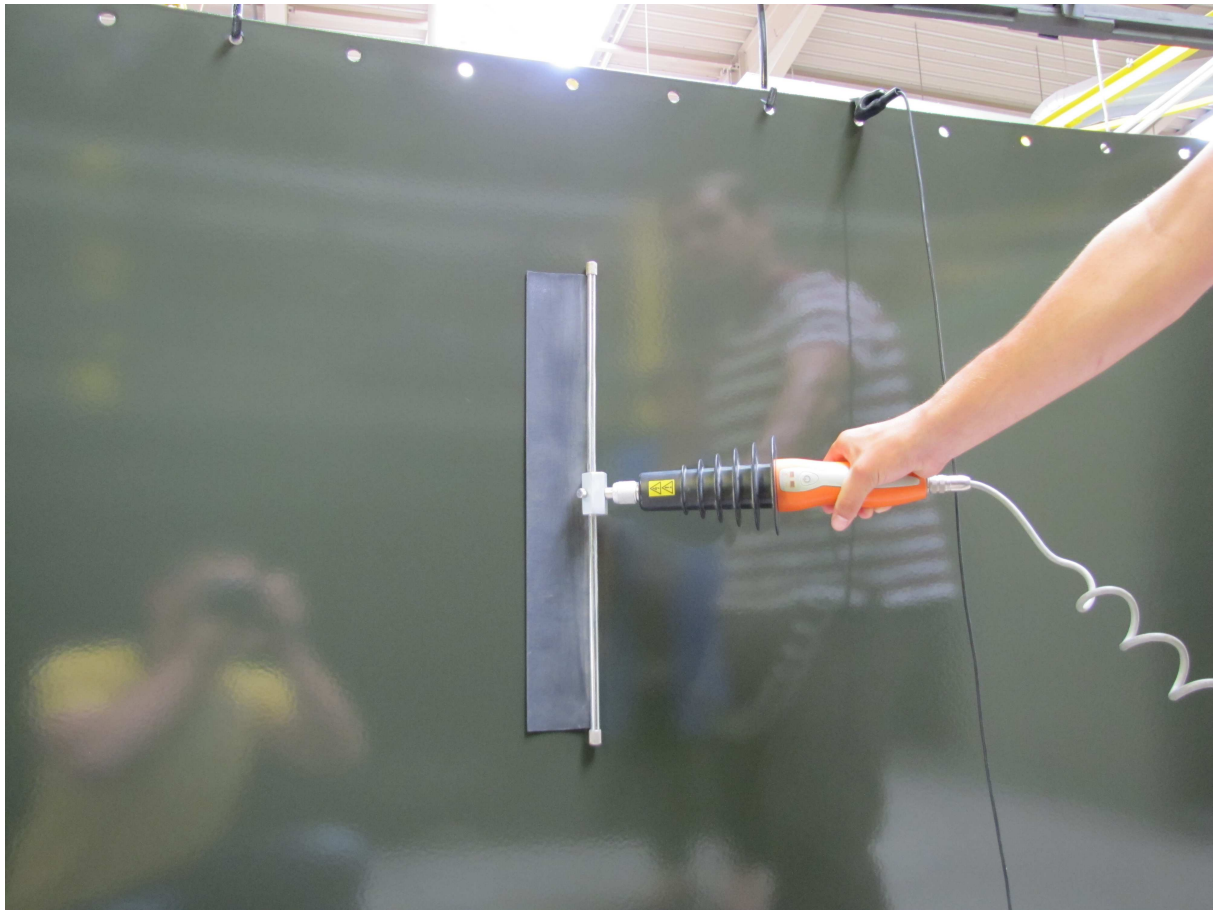


U-Bahn-Station Westminster in London

(Quelle: Omeras GmbH)



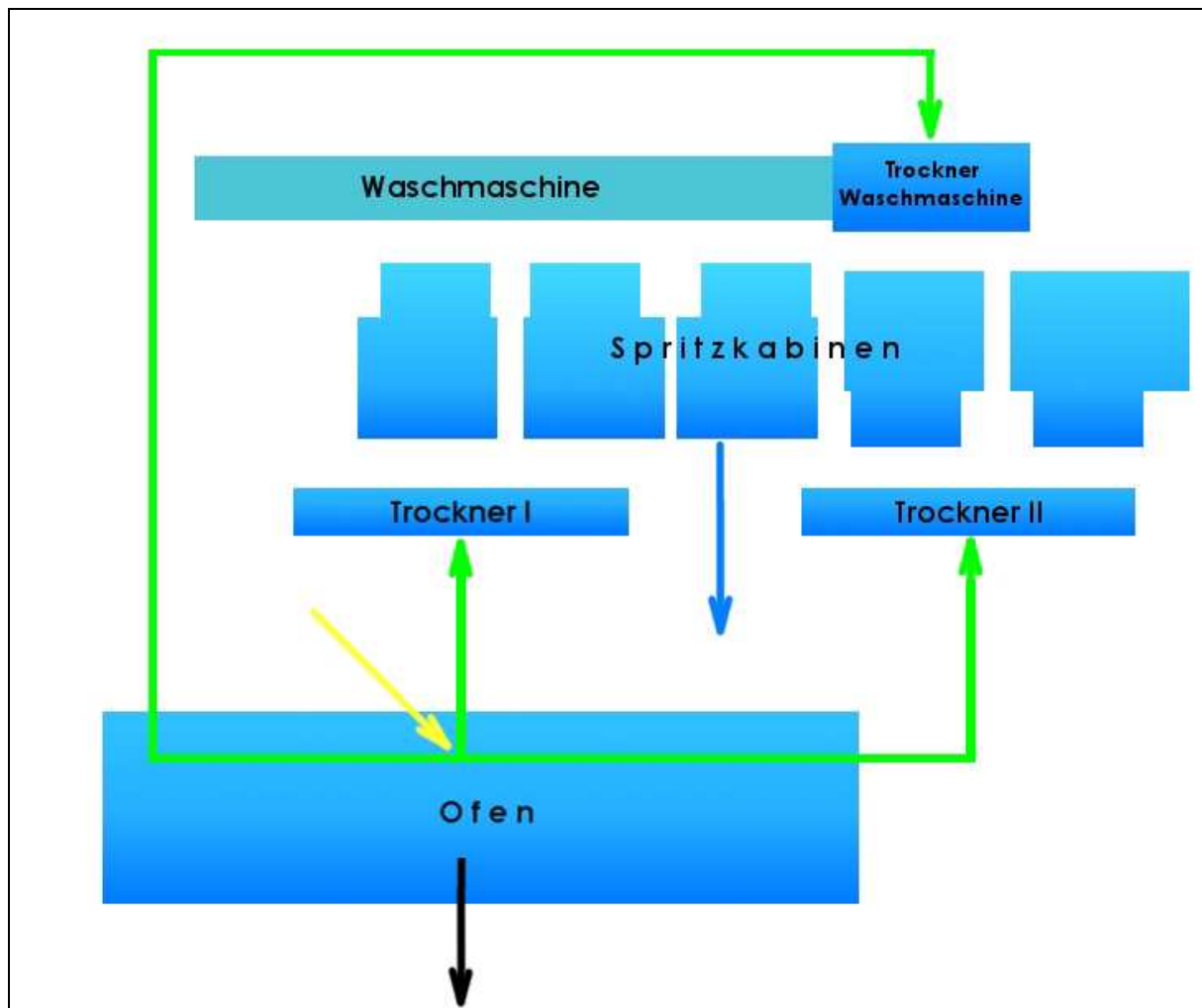
Absacker
(eigene Darstellung)



Hochspannungsmessung
(Quelle: Omeras GmbH)



Transportfertige Silobleche
(Quelle: Omeras GmbH)



Abluftkreislauf des Brennofens
(eigene Darstellung)

omeras
OBERFLÄCHEN AUS EMAIL

Rückstellmuster Silodünnschicht

Um zukünftig Rückschlüsse zwischen der Produktionsqualität und dem verwendeten Dünnsschicht zu erhalten, werden ab sofort täglich Rückstellmuster des Grundemails abgefüllt. Das Abfüllen erfolgt durch die entsprechenden Spritzer.

Die Weithalsflasche muss komplett gefüllt und mit folgenden Informationen versehen werden:



- Abfülldatum
- Innen/Außen
- Mühldatum
- Mühlennummer

Arbeitsanweisung – Rückstellmuster Grundemail
(eigene Darstellung)



Bestimmung von Dichte und Auftragsgewicht

Mit dieser Arbeitsanweisung wird beschrieben, wie die Prüfung der Waschmittelkonzentration erfolgt. Diese Prüfanweisung gilt für die Überprüfung der Waschmittelkonzentration der Spülbecken 1 und 2 im Emailierwerk.

1 Beschreibung

Damit das aufzubringende Email den Metallgegenstand gut und gleichmäßig benetzt, ist eine saubere und fettfreie Oberfläche erforderlich. Um dies zu erreichen, ist eine bestimmte Waschmittelkonzentration erforderlich.

2 Durchführung

1. Messbecher mit 100 ml Wasser auffüllen
2. Mit Saugrohr Spülwasser bis zu Markierung ansaugen und in den Messbecher einfüllen
3. Zugabe von 3 Tropfen Indikatorlösung
4. Die Skala des Säurebehälters auf „Null“ stellen, dabei den Behälter mit der Hand zusammendrücken
5. Durch drücken des Ablasshahnes dem Messbecher langsam und unter ständigem Rühren H₂SO₄ bis zur bleibenden Farbveränderung zugeben
6. Zahlenwert auf Skala ablesen und Wert aus der Vorgabeliste ablesen
7. Dem Zahlenwert entsprechende Waschmittelmenge –gemäß Anlage 1- dem Spülbecken 1 bzw. 2 zugeben.

3 Dokumentation

Die Ergebnisse (Zahlenwert und Waschmittelzugabe) sind im Formblatt Badkontrolle Waschmaschine einzutragen.

Spülbecken 1		Spülbecken 2	
Abgelesener Wert	Zugabe von Ekasit Spray 1420/ F in Liter	Abgelesener Wert	Zugabe von Ekasit Spray 1420/ F in Liter
1	56	1	40
2	45	2	37
3	33	3	31
4	22	4	25
5	15	5	18
6	10	6	12
7	6	7	6
8	-	8	-

Arbeitsanweisung – Bestimmung Konzentration alkalischer Reiniger
(Quelle: Omeras GmbH)

QMH Omeras GmbH – Prüfanweisung

1. Zweck

Diese Prüfanweisung gilt für die Kontrolle des Emailsclickers vor dem Einsatz in der Produktion im Emaillierwerk

2. Geltungsbereich

Die Prüfanweisung ist gültig für den Bereich Emaillierwerk

3. Allgemeine Vorgehensweise

3.1 Grundsätzliche Festlegungen

Damit der Emailsclicker die erforderliche Konsistenz für die vorgegebene Auftragsart besitzt, sind die Parameter Dichte und Auftragsgewicht zu ermitteln und gemäß Versatz einzustellen.

3.2 Dichtemessung

Das im Fass gut durchgerührte Email ist in ein Messgefäß (100 ml) zu füllen, dessen Leergewicht vorher ermittelt wurde (die Waage ist auf den Nullwert zu tarieren). Das gefüllte Messgefäß wird gewogen und die Dichte in g/100 ml abgelesen.

3.3 Korrigieren der Dichte bei Abweichungen

Dicht zu hoch → verdünnen mit sauberem Wasser

Dicht zu niedrig → dickes Email zusetzen (vorher Wasser abschöpfen)

Nach der Korrektur ist die Dichte nochmals zu überprüfen.

3.4 Ermitteln des Auftragsgewichts

Ein unbeschichtetes Blech 10x 10 cm ist zu wägen und die Waage ist auf „0“ zu tarieren. In das gut aufgerührte Emailfass ist dann das unbeschichtete Auftragsblech 10 x 10 cm einzutauchen und **langsam** wieder herauszuziehen. Das so beschichtete Blech ist zu wägen und das Gewicht g/200 cm² abzulesen.

3.4.1 Korrigieren des Auftragsgewichtes

Auftragsgewicht zu niedrig:	→	Mit Stellmittel anstellen
		Grundemail Zusatz von Natriumnitrit
		Deckemail Zusatz von Pottaschelösung
		Cd-Email Verwendung von Zusatz SR
Auftragsgewicht zu hoch	→	Sclicker mit Entsteller (Natriumpyrophosphat)

Arbeitsanweisung – Bestimmung Dichte und Auftragsgewicht
(Quelle: Omeras GmbH)

Datum	Dichte		Gewicht		Schicht
	Innen	Außen	Innen	Außen	
13.07.2015	1,56	1,57	16,54	17,23	Früh
14.07.2015	1,55	1,56	15,23	16,88	Früh
15.07.2015	1,56	1,56	15,60	17,03	Mittel
16.07.2015	1,57	1,55	16,12	17,47	Mittel
17.07.2015	1,56	1,57	14,89	16,51	Früh
20.07.2015	1,56	1,56	15,61	16,24	Früh
21.07.2015	1,55	1,56	15,86	17,49	Früh
22.07.2015	1,57	1,57	15,44	17,03	Mittel
23.07.2015	1,56	1,57	15,64	16,84	Mittel
24.07.2015	1,56	1,57	16,01	16,16	Mittel

Ergebnisse der Messung von Dichte und Auftragsgewicht
(eigene Darstellung)



Prüfblech zur Bestimmung des Auftragsgewichts
(eigene Darstellung)



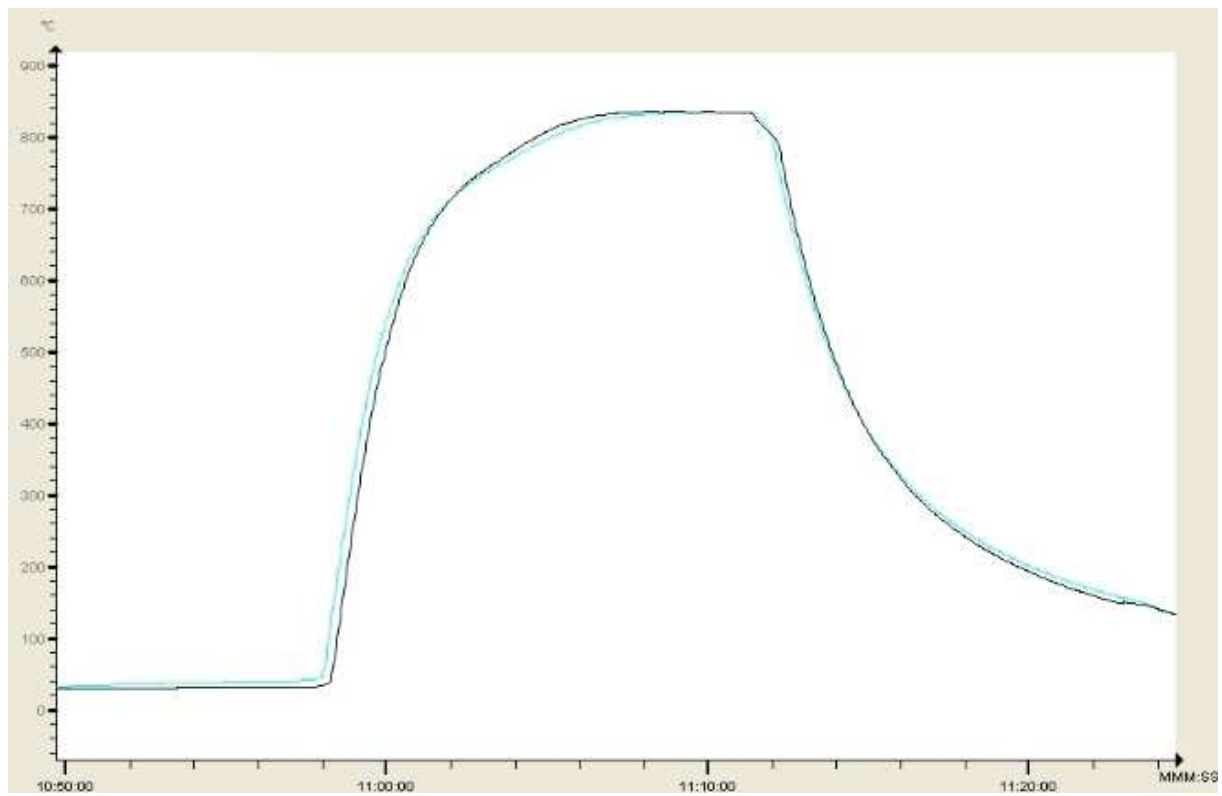
Prüfmittel zur Bestimmung Wasserstoffkonzentration
(eigene Darstellung)



Versuchsaufbau Infrarotstrahler
(Quelle: Omeras GmbH)



Trockenstelle
(eigene Darstellung)



Ofenkurve
(eigene Darstellung)

Ehrenwörtliche Erklärung

"Ich erkläre hiermit ehrenwörtlich",

1. dass ich meine mit dem Thema

.....
.....
.....

ohne fremde Hilfe angefertigt habe,

2. dass ich die Übernahme wörtlicher Zitate aus der Literatur sowie die Verwendung der Gedanken anderer Autoren an den entsprechenden Stellen innerhalb der Arbeit gekennzeichnet habe und
3. dass ich meine bei keiner anderen Prüfung vorgelegt habe.

Ich bin mir bewusst, dass eine falsche Erklärung rechtliche Folgen haben wird.
