



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Bachelorarbeit

Hubert Sumarto

Methodische Analyse von Lackfehlstellen an Bremspedalen

*Fakultät Technik und Informatik
Department Maschinenbau und Produktion*

*Faculty of Engineering and Computer Science
Department of Mechanical Engineering and
Production Management*

Hubert Sumarto

**Methodische Analyse von Lackfehlstellen
an Bremspedalen**

Bachelorarbeit eingereicht im Rahmen der Bachelorprüfung

im Studiengang Maschinenbau – Entwicklung & Konstruktion
am Department Maschinenbau und Produktion
der Fakultät Technik und Informatik
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

in Zusammenarbeit mit:

Firma Mercedes-Benz AG
Abteilung von PT/KH
Produktion Hamburg
Mercedesstraße 1
21079 Hamburg

Erstprüfer/in: Prof. Dr. Andreas Meyer-Eschenbach (HAW Hamburg)

Zweitprüfer/in: Dipl. -Ing. Torsten Kirchner (Mercedes-Benz AG)

Abgabedatum: 06.06.2023

Zusammenfassung

Hubert Sumarto

Thema der Bachelorthesis

Methodische Analyse von Lackfehlstellen an Bremspedalen

Stichworte

Methodische Problemanalyse, Sechs-Sigma-Methode, Automobilindustrie, Schmauchbildung beim Löten, Lackfehlstellen, Bremspedal

Kurzzusammenfassung

Bei dieser Arbeit handelt es sich um die Analyse von Lackfehlstellen an den Bremspedalen mit Hilfe der Sechs-Sigma-Methode, die die Produktion im Mercedes-Benz Werk Hamburg beeinträchtigen. Bei der Analyse zeigte sich, dass die häufigen Lackfehlstellen auf die Schmauchbildung während des Lötprozesses zurückzuführen sind. Die Schmauchbildung verursacht eine Verschmutzung der Pedaloberfläche, die zu der Beeinträchtigung der Lackierbarkeit der Pedale führt. Im Rahmen dieser Arbeit wurden folgende mögliche Maßnahmen untersucht: Verwendung anderer Materialien, zusätzlicher Reinigungsprozess und Abdecken der Oberfläche mit einer Kupferabdeckung während des Lötens. Bei den Untersuchungen zeigte die Kupferabdeckung das optimalste Ergebnis und gewährleistete den besten Zustand des Pedals für den folgende Lackiervorgang.

Hubert Sumarto

Title of the paper

Methodical analysis of coating imperfections on brake pedals

Keywords

Methodical problem analysis, six-sigma method, automotive industry, smouldering during brazing, paint imperfections, brake pedal.

Abstract

This Thesis analyses the paint imperfections on the brake pedals which affect production at the Mercedes-Benz plant in Hamburg with the help of the six-sigma method. From the analysis it was found that the frequent paint coat imperfections are due to the formation of smoulder during the soldering process. The formation of smoulder causes staining of the pedal surface, which leads to the reduced coatability of the pedals. As part of this study, the following possible measures were investigated: Use of different materials, additional chemical cleaning process with acid and surface protection with a copper cover during the brazing process. Based on the investigations, the copper cover showed the most optimal result and ensured the best condition of the pedal for the following coating process.

Vorwort

Diese Bachelorarbeit befasst sich mit der methodischen Analyse von Lackfehlstellen an Bremspedalen. In der Zeit von März 2023 bis Mai 2023 habe ich mich intensiv mit der Untersuchung der Thematik mittels der Six-Sigma-Methode und der Dokumentation meiner Bachelorarbeit beschäftigt. Diese Arbeit ist das Ergebnis intensiver Recherchen, praktischer Erfahrungen und des Bemühens während des gesamten Prozesses.

An dieser Stelle möchte ich mich bei der Firma Mercedes Benz für die Unterstützung bedanken, insbesondere bei Herrn Dipl.-Ing. Torsten Kirchner von Mercedes Benz und Herrn Prof. Dr. Andreas Meyer-Eschenbach von der HAW Hamburg, die mir wertvolle Unterstützung und Hinweise gegeben haben. Außerdem möchte ich mich bei den Teilnehmern meiner Untersuchungen und bei allen Kollegen von Mercedes-Benz in der Produktion Abteilung bedanken, die mir bei der Datenerfassung geholfen haben.

Zum Schluss möchte ich mich bei allen Leserinnen und Lesern für das Interesse an meiner Praxisarbeit bedanken. Ich wünsche Ihnen viel Spaß beim Lesen und hoffe, dass meine Arbeit einen Beitrag für Sie leisten kann.

Aufgabenstellung

Der Lackierungsprozess von Bremspedalen ist aktuell ungenügend. Die Bauteile kommen nach dem Lackierungsprozess sporadisch schlecht mit Lackfehlstellen zurück. Die Bauteile mit Lackfehlstellen sind dann nicht kundentauglich und nicht korrosionsfest. In dieser Arbeit sollen systematisch die Fehlerursachen bestimmt und geeignete Abhilfemaßnahmen gefunden werden.

Die Arbeit erfolgt in Zusammenarbeit mit der Firma Mercedes-Benz AG in Hamburg.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	I
Aufgabenstellung	I
Abkürzungsverzeichnis	IV
Formelzeichen	V
Abbildungsverzeichnis	VI
Tabellenverzeichnis.....	VII
1 Einleitung	1
1.1 Ziele und Stand der Technik	1
1.2 Methodische Vorgehensweise der Sechs-Sigma-Methode	2
2 Grundlagen.....	6
2.1 Verzinktes Blech	6
2.2 MIG-Lötverfahren.....	7
2.3 Kathodische Tauchlackierung	8
3 Behandlung der Thematik	10
3.1 Vorbereitung und Anwendung von Sechs-Sigma-Methode.....	10
3.2 Systemanalyse und Rahmenbedingungen	11
3.2.1 Das MRA2 polymerhybride Bremspedal	12
3.2.2 Der Fertigungsprozessfluss	14
3.2.3 Relevante Parameter und Rahmenbedingungen.....	15
3.2.4 Kundenanforderung/ Soll-Zustand.....	17
3.2.5 Messsystemanalyse	17
3.2.6 Prozessfähigkeitsanalyse.....	19
3.3 Analyse der möglichen Ursachen.....	21
3.3.1 Ist-Zustand.....	21
3.3.2 Ermittlung möglicher Ursachen	23
3.3.3 Aufbau der Lötstation.....	26

3.3.4	Temperatur-Schmuck-Analyse.....	28
3.3.5	Untersuchung der Verzinkung.....	30
3.3.6	Untersuchung der Reinigung verschmutzter Oberflächen	32
3.3.7	Nachweis der Abhängigkeit	33
3.3.8	Identifizierung der Ursachen.....	34
4	Verbesserung und Realisierung.....	35
4.1	Lösungsvorschläge.....	35
4.2	Konzeptentwicklung ausgewählter Lösung.....	37
4.2.1	Anforderungsliste.....	37
4.2.2	Funktionsliste/Funktionsstruktur.....	39
4.2.3	Galeriemethode	41
4.2.4	Nutzwertanalyse nach VDI2225	42
4.2.5	Materialauswahl	46
5	Anwendung und Überprüfung in den Serienprozess.....	46
5.1	Präzisierung und Anwendung von Lösungsvorschlag	46
5.2	Umgesetzte Lösung.....	48
5.3	Ausblick für die Überprüfung der Lösung in Serienprozess	48
5.4	Gelieferte Ergebnisse (Lieferschein).....	49
6	Zusammenfassung.....	50
	Quellenverzeichnis.....	51
	Anhang.....	
	Eidesstattliche Versicherung.....	

Abkürzungsverzeichnis

AG	Aktien Gesellschaft
BR	Baureihe
CO2	Karbondioxid
CP	Control Plan
DBL	Daimler-Benz Liefervorschrift
DMC	Data Matrix Code
EVA2	Electric Vehicle Architecture 2
GE	Glanzeinheit
I.O.	In Ordnung
KTL	Kathodische Tauchlackierung
LL	Linkslenker
MA	Mitarbeiter
MB	Mercedes-Benz
MBN	Mercedes-Benz Norm
MIG	Metall-Inert-Gas
MRA2	Modular Rear Architecture 2
N.I.O.	Nicht in Ordnung
O2	Sauerstoff
PL	Produktionslinie
PMH	Polymerhybrid
RL	Rechtslenker
ZB	Zusammenbau

Formelzeichen

\emptyset	Durchmesser
\bar{X}	Mittelwert
Σ	Summe
W	Watt
m	Meter
K	Kelvin

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Sechs-Sigma-Methode [04].....	3
Abbildung 2: Sechs-Sigma-Rollen [02]	4
Abbildung 3: Funktionsweise kathodischer Tauchlackierung [12].....	8
Abbildung 4: Aufbau der kathodischen Tauchlackierungsanlage [14]	9
Abbildung 5: Sechs-Sigma-Methode Arbeitsstufen.....	11
Abbildung 6: Einzelteile MRA2 PMH-Bremspedal Oberteil, Unterteil & Polymerhybride Kunststoff (links); eingespritztes MRA2 PMH-Bremspedal Oberteil (mittel); fertiges MRA2 PMH- Bremspedal (rechts)	12
Abbildung 7: Explosionsansicht der MRA2 Bremspedalanlage	13
Abbildung 8: Vorgänge der Herstellung MRA2 PMH-Bremspedale	14
Abbildung 9: Fehlerkatalog der KTL-Lackierung der MRA2-PMH-Bremspedale n.i.O. Zustand. 18	
Abbildung 10: Fehlerkatalog der KTL-Lackierung der MRA2-PMH-Bremspedale i.O. Zustand. 18	
Abbildung 11: KTL-Ausschussdiagramm	19
Abbildung 12: Vergleich EVA2-PMH-Bremspedale und MRA2-PMH-Bremspedale KTL- Ausschuss.....	20
Abbildung 13: Zustand MRA2 PMH-Bremspedale verschiedener Tage nach dem Lötten	21
Abbildung 14: Ergebnis MRA2 PMH-Bremspedale nach der Lackierung.....	22
Abbildung 15: Ishikawa-Diagramm.....	23
Abbildung 16: Lötstation Außenansicht	26
Abbildung 17: Lötstation Innenansicht (Lötkabine)	26
Abbildung 18: Die Lötvorrichtung.....	27
Abbildung 19: Vereinfachte Darstellung der Lötvorrichtung	27
Abbildung 20: Das Lötneist	28
Abbildung 21: Klassifizierung der Schmauchbildung des PMH-Bremspedals	29
Abbildung 22: Vergleich Lötten mit unverzinktem Pedalunterteil und normaler Serienprozess.....	31
Abbildung 23: Gebeizte Pedale vor und nach der Lackierung.....	32
Abbildung 24: Zustand während der Lackierung in der KTL-Anlage (links); Ergebnis nach Lackierung (rechts)	33
Abbildung 25: Übersicht Ursachen des Problems.....	34
Abbildung 26: Lösungsvorschläge.....	35
Abbildung 27: Funktionsstruktur der Abdeckung des Pedalunterteils.....	40
Abbildung 28: Konzept 1 Schmauchschirm.....	41
Abbildung 29: Konzept 2 Kupferabdeckung.....	42
Abbildung 30: Vergleich Schmauchbildung; mit Abdeckung (links) ohne Abdeckung/Serienteil (rechts).....	47
Abbildung 31: Ergebnis Teile mit Abdeckung während des Lötens nach der Lackierung.....	47

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Fertigungsprozessfluss MRA2 PMH-Bremspedal	15
Tabelle 2: PMH-Bremspedaloberteil Daten	16
Tabelle 3: PMH-Bremspedalunterteil Daten	16
Tabelle 4: MIG-Lötprozess Daten.....	16
Tabelle 5: Ausschuss KW1-KW8 2023	19
Tabelle 6: Bewertung möglicher Ursachen	25
Tabelle 7: Temperatur-Schmauch-Untersuchung	29
Tabelle 8: Ergebnis Lötten mit unverzinktem Pedalunterteil.....	30
Tabelle 9: Ergebnis Einsatz von Reinigung durch Beizen vor Lackierung.....	32
Tabelle 10: Bewertung der Lösungsvorschläge	36
Tabelle 11: Anforderungsliste.....	38
Tabelle 12: Funktionsliste der Abdeckung des Pedalunterteils beim Lötten	39
Tabelle 13: Nutzwertanalyse-Kriterien	43
Tabelle 14: Nutzwertanalyse Ranggewichtung.....	43
Tabelle 15: Nutzwertanalyse Kriterien-Freihandgewichtung	44
Tabelle 16: Nutzwertanalyse Rangliste und Erfüllungsgrad der Kriterien	44
Tabelle 17: Wertanalyse nach VDI2225	45
Tabelle 18: Materialauswahl	46
Tabelle 19: Ergebnis Anwendung Kupferabdeckung während des Lötens.....	46
Tabelle 20: Lieferschein zur Aufgabenstellung	49

1 Einleitung

Mercedes-Benz ist einer der renommiertesten Hersteller von Luxusautos. Seit dem Jahr 1926 liefert Mercedes-Benz seinen Kunden elegante und leistungsstarke Autos. Mit dem Motto „das Beste oder nichts“ [01], spielt die Kundenzufriedenheit eine sehr wichtige Rolle für Mercedes-Benz. Von der Karosserie bis zum Antrieb legt Mercedes-Benz großen Wert auf das Design und die Leistung, denn bei einem Luxusauto soll jedes einzelne Teil hochwertig sein. Das gilt auch für das Bremspedal in Mercedes-Fahrzeugen, denn diese gehören ebenfalls zu den Designprodukten und deshalb spielt die Sauberkeit, der Glanz und die Form eine bedeutende Rolle. Wenn Sie die Tür eines Mercedes-Benz Autos öffnen, leuchtet das Licht unter dem Fahrersitz und beleuchtet die Pedale. Die schwarzen und glänzenden Pedale vermitteln den Kunden das Gefühl von Exklusivität und Hochwertigkeit. Daher muss das Bremspedal nicht nur funktional, sondern auch ästhetisch sein.

Diese Arbeit beschäftigt sich mit einem Problem im Mercedes-Benz Werk Hamburg. Das Problem ist kein neues im Werk Hamburg und stört die Produktion von Bremspedalen schon seit einiger Zeit. Bei den neuen Bremspedalen handelt es sich um eine neue Art von Pedalen, die sehr stark von unterschiedlichen Technologien und Kenntnissen profitieren. Bei diesen Pedalen handelt es sich um die sogenannten Hybridteile, die aus Kunststoff und Metall hergestellt wird. Dieses Wissen über Hybridteile ist keine neue Technologie in der Automobilindustrie und wird üblicherweise bei der Herstellung von Karosserie und Querträger verwendet. Der Vorteil dieser Technologie besteht darin, dass das Gewicht des Teils verringert und die Festigkeit des Teils erhöht wird. Mit all diesen Vorteilen sind jedoch Nachteile verbunden. Einige davon sind ein empfindlicher Produktionsprozess und spezielles Fachwissen über die Technologien, welche eine schwierige Behandlung des Problems zur Folge hat.

1.1 Ziele und Stand der Technik

Das Problem dieser Arbeit befindet sich an dem Produkt Bremspedal Variante MRA2, welches in der C-Klasse und S-Klasse verbaut wird. Das Problem tritt in Form einer Lackfahle auf, der zur Korrosionsgefahr und dadurch zum Ausschuss führen kann. Ziel

der Arbeit ist, die Ursache des Problems zu finden und eine optimale Maßnahme zu entwickeln, die das Problem optimal lösen kann, ohne die anderen Prozesse zu beeinträchtigen. Mit dem Ergebnis dieser Arbeit soll ein Beitrag zur Reduzierung von Verlusten durch Ausschuss und zur Stabilisierung der Produktion geleistet werden.

Die relevanten Kenntnisse und Technologien für den technischen Stand dieser Arbeit bestehen aus den Eigenschaften von verzinktem Blech, das MIG-Lötverfahren und dem Prozess der kathodischen Tauchlackierung. Das Bremspedal besteht aus zwei verzinkten Blechen, dem sogenannten Oberteil und dem Unterteil, die durch MIG-Löten miteinander verbunden werden. Nach dem Lötprozess wird das fertiggestellte Bremspedal im kathodischen Tauchlackierverfahren behandelt und beschichtet.

1.2 Methodische Vorgehensweise der Sechs-Sigma-Methode

Diese Praxisarbeit bedient sich der Sechs-Sigma-Methode. Diese ist eine systematische Methode zur Optimierung von Prozessen und Verbesserung der Qualität. [02] Sechs-Sigma-Projekte konzentrieren sich auf die Reduzierung von Abweichungen, Verschwendung, Defekte und fehlerhafte Produkte oder Dienstleistungen. In Mercedes-Benz AG wird Sechs-Sigma Methode üblich verwendet, besonders in der Optimierung von Produktionsprozesse und Produktqualität. Für diese Arbeit wird diese Methode verwendet, um die Defekte in der Produktion von Bremspedalen zu reduzieren und das Problem systematisch schnell zu erkennen und zu beseitigen.

Die Sechs-Sigma-Methode besteht aus fünf Phasen. Diese werden oft als DMAIC bezeichnet. DMAIC steht für „*Define*“ (Definieren), „*Measure*“ (Messen), „*Analyze*“ (Analysieren), „*Improve*“ (Verbessern) und „*Control*“ (Kontrollieren). Diese 5 Phasen haben die Aufgabe, die Prozesse klar messbar zu machen und sie dienen auch dazu, das Problem nachhaltig zu verbessern. In jeder Phase werden verschiedene Techniken und Methoden zur Sammlung und Untersuchung von Daten eingesetzt, um die Probleme möglichst effektiv zu identifizieren und zu lösen. [03]

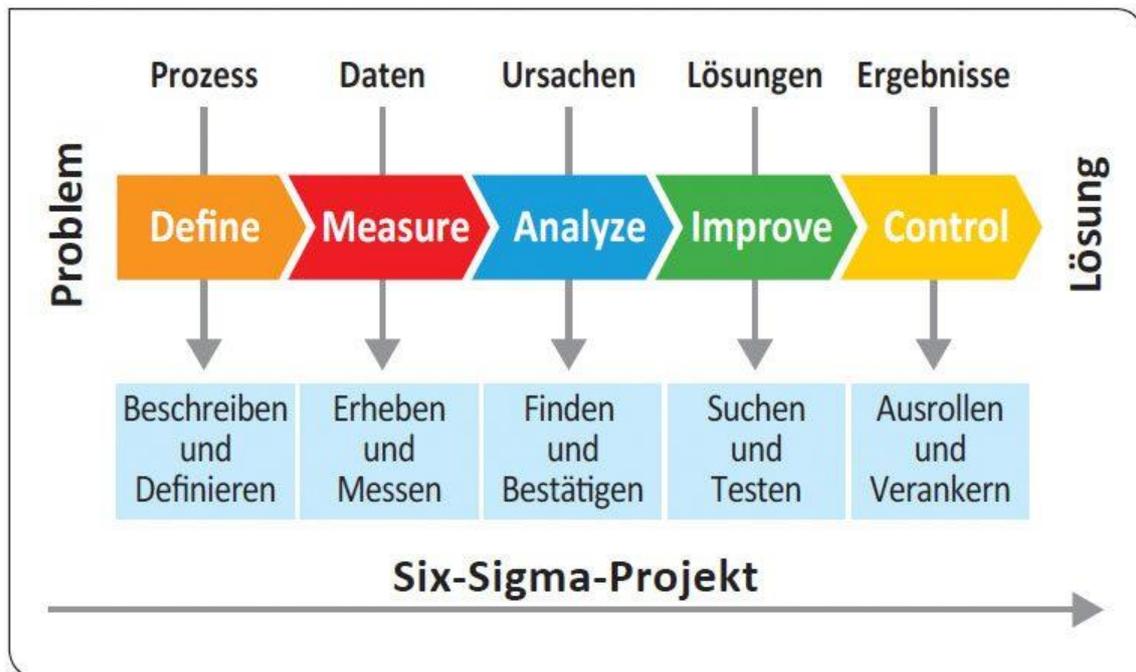


Abbildung 1: Sechs-Sigma-Methode [04]

Wie in Abbildung 1 zu erkennen, steht in der ersten Phase die Definition. Hier werden Probleme, Anforderungen, Potenziale, Rahmenbedingungen und das nötige Wissen definiert und aufbereitet. Das Ziel dieser Stufe ist es, einen Überblick über die gesamte Problemsituation zu erhalten und die nächsten Schritte vorzubereiten. [03]

Zweite ist Messen. Hier werden die notwendigen Größen und aktuellen Zustände des Prozesses bzw. des Produkts gemessen. Beim Messen wird die Messsystemanalyse und Prozessfähigkeitsanalyse bearbeitet, um den nächsten Schritt vorzubereiten. Außerdem werden auch die erforderlichen Rahmenbedingungen und vorhandenen Einschränkungen durchgegangen. [03]

Der nächste Schritt ist die Analysephase. Hier sollen alle mögliche Fehlerursache genauer betrachtet und Zusammenhänge zwischen dem Problem und der Ursache ermittelt werden. In dieser Phase werden die Messergebnisse ausgewertet, um die Ursache des Problems zu bestimmen und zu bestätigen. [03]

Nach der Analyse folgt die Verbesserungsphase. Durch die Identifizierung und Bestätigung der Ursache wird jetzt gezielte Verbesserungsvorschläge gesammelt und die notwendigen Maßnahmen geplant, um die optimale Lösung zu finden und zu entwickeln. [03]

Am Ende steht die Steuerung/Kontrolle. Der neue Prozess wird überwacht und geprüft, um die Wirksamkeit der umgesetzten Maßnahmen beurteilen zu können. Ein Vergleich der

neuen Ist-Werte mit den in der Definitionsphase festgelegten Zielen und Soll-Werten wird als Maß für die Zielerreichung herangezogen werden. [03]

Darüber hinaus existiert in Sechs-Sigma-Methode verschiedene Rollen. Sowie unten in Abbildung 2 gezeigt. Es gibt eine Hierarchie für Sechs-Sigma-Methode, die von oben dem „Champion“ fängt, dann folgt die „Master Black Belts“, „Black Belts“, „Green Belts“, „Yellow Belts“ und „White Belts“. Diese Rollen haben ihre eigenen Aufgaben in dem Projekt, die man durch Schulungen und Prüfungen lernt, um das Problem so effizient wie möglich zu beseitigen. [02]



Abbildung 2: Sechs-Sigma-Rollen [02]

Der „Champion“ oder der Leiter steht ganz an der Spitze. Der ist normalerweise der Projektponsor oder der, der Projekt beauftragt hat. Der beschäftigt sich üblicherweise mit dem strategischen Management mit der Geschäftsführung. Seine Aufgabe besteht aus Steuerung der Sechs-Sigma-Projekte des Unternehmens, Initiierung neuer Projekte, Zusammenstellung von Projektteams, Ausstattung von den notwendigen Ressourcen und Sicherstellung der erforderlichen Unterstützung. [02]

Die „Master Black Belts“ dienen als Coaches und Trainer für die „Black Belts“ und „Green Belts“. Ihre Hauptaufgabe ist, die „Black Belts“ und „Green Belts“ bei ihren Projekten zu unterstützen. [02]

Die „Black Belts“ haben die Aufgabe, große Verbesserungsprojekte zu verwalten. Sie übernehmen die Rolle von Projektmanager und Begleiter für verschiedene Projekte. [02]

Die „Green Belts“ leiten kleinere Teams bei Optimierungsprojekten. Die „Green Belts“ haben eine nähere Zusammenarbeit mit dem unteren Management zum Beispiel die Techniker, Facharbeiter und Meister. Sie sind mit einem tiefen methodischen Wissen ausgestattet. Damit können sie als Six-Sigma-Teamleiter die Prozessoptimierung in ihrem eigenen Verantwortungsbereich vorantreiben. [02]

„Yellow Belts“ und „White Belts“ haben keine Managementfunktion. Sie sind Beteiligte an den Projekten. Ihre Hauptaufgabe ist, die „Green Belts“ und „Black Belts“ mit ihren fachlichen Erkenntnissen zu unterstützen. [02]

2 Grundlagen

Dieses Kapitel befasst sich mit den Grundlagen des Themas dieser Arbeit. In diesem Kapitel wird das Wissen über verzinkte Bleche, MIG-Löten und kathodische Tauchlackierung gegeben, um das erforderliche Wissen zu vermitteln.

2.1 Verzinktes Blech

Verzinktes Blech ist ein Metall Blech, das mit einer Zinkschicht geschützt wird. Durch die Verzinkung erhält das Blech eine langlebige, widerstandsfähige Eigenschaft besonders gegen Korrosion. Die Zinkbeschichtungen bilden eine dauerhafte Schutzschicht für Eisen und Stahl. Zink formt unter normalen atmosphärischen Bedingungen eine fest haftende Überzugsschicht aus Zinkoxid und Zinkkarbonat, die vor Korrosion schützt oder diese verlangsamt. Darüber hinaus ist Zink im Vergleich zu Stahl unedler, und es besteht eine galvanische Spannungsdifferenz zwischen Eisen und Zink. Dadurch kann das Zink den Stahl schützen, indem es sich bei Kontakt mit einem Elektrolyten auflöst und die Korrosion von Eisen und Stahl verhindert. Diese Art des Korrosionsschutzes wird als kathodischer Korrosionsschutz bezeichnet und das Zink dient als das sogenannte Opfermetall. Das Zink opfert sich für den Stahl und schützt ihn für lange Zeit vor Korrosion. Außerdem hat Zink auch den Vorteil, dass es bei einer Beschädigung der Schutzschicht die Eigenschaft hat, sich selbst zu heilen. [05] Die Zinkschicht hat eine Schmelztemperatur bei 419,5°C und die Siedetemperatur bei 907°C. [06]

Es existieren mehrere Arten verschiedener Herstellungsprozesse für verzinkte Bleche. Die häufigsten Verfahren sind das Feuerverzinken und ein elektrolytisches Verfahren wie beispielweise das Galvanisieren. Der Hauptunterschied zwischen der beiden Art der Herstellung liegt bei der produzierbaren Zinkschichtdicke. Beim Galvanisieren kann eine Zinkschicht bis 2,5µm (17,8g/m²) Dicke hergestellt werden, während beim Feuerverzinken eine Zinkschichtdicke bis zu 150µm (1069,5g/m²) erreicht werden kann. [07]

Mit den zuvor erwähnten Eigenschaften und günstigen Herstellungskosten hat Verzinkung eine große Anwendung in der Industrie wie beispielweise in der Automobilindustrie, bei Haushaltsgeräten, Verpackungsindustrie usw. [08]

2.2 MIG-Lötverfahren

Löten ist ein thermisches Verfahren zum Verbinden von zwei metallischen Werkstoffen unter Verwendung eines Zusatzwerkstoffes oder Lotes zusammen mit einem Flussmittel oder Schutzgas. Die Schmelztemperatur des Lotes muss unter der Temperatur der Werkstoffe liegen, da es der zu verbindende Grundwerkstoff nicht aufgeschmolzen werden darf. Durch das Aufschmelzen des Zusatzwerkstoffes werden die Werkstoffe durch das Lot benetzt und bilden eine Verbindung mit hoher Festigkeit. beim Löten ist es häufig Flussmittel zu verwenden, um die Oxidschicht auf den Oberflächen des Grundwerkstoffs zu entfernen. Das Flussmittel dient dafür die Oberflächenspannung zu verringern und die Benetzbarkeit der Grundwerkstoffe zu verbessern.

Die Arten des Lötverfahrens unterteilen sich nach den Liquidustemperaturen des Lotes. Die sind Weichlöten, Hartlöten und Hochtemperaturlöten. Beim Weichlöten liegt die Liquidustemperatur unter 450°C während beim Hartlöten die Temperatur über 450°C liegt. Anders als bei den anderen beiden Verfahren wird bei Hochtemperaturlöten kein Flussmittel verwendet. Beim Hochtemperaturlöten werden unter Schutzgasatmosphäre Liquidustemperatur von über 900 °C erreicht. [09]

Ein Beispiel des Lötverfahrens ist das MIG-Löten. MIG-Löten oder Metall-Inertgas-Löten ist eines der zahlreichen Lötverfahren, die verwendet werden. MIG-Löten gehört zum Hochtemperaturlöten und verwendet kein Flussmittel, sondern ein inertes Schutzgas, wie zum Beispiel Argon Gas. Außerdem wird in einigen Fällen das Argon Gas mit einer geringen Menge O₂ oder CO₂ gemischt, um die Festigkeit der Lötnaht zu steigern. Das Schutzgas verhindert die Bildung von Oxiden und sorgt für eine saubere und qualitativ hochwertige Lötnaht. [09] Der Hauptvorteil des MIG-Lötens ist die relativ geringe Wärmeeinbringung im Vergleich zu üblichem Schweißverfahren, daher wird das MIG-Löten häufig für die Produktion von beschichteten Materialien wie zum Beispiel verzinkte Stahlbleche oder Material mit Aluminiumanteil eingesetzt, insbesondere in der Automobil- und Luftfahrtindustrie. Andere Vorteile des MIG-Lötens liegen in dem geringeren Materialverzugs, der spritzer- und porenfreien Verarbeitung, der guten Spaltüberbrückung, dem Entfall von Flussmitteln der korrosionsbeständigen Lötnaht und dem guten Lötnahtfestigkeit. Einige Nachteile des MIG-Lötens sind aber die teuren Ausrüstungen/Vorrichtungen, der sensiblere Arbeitsvorgang, und teurerer Zusatzwerkstoff. [10]

2.3 Kathodische Tauchlackierung

Kathodische Tauchlackierung oder oft als KTL bezeichnet ist einer Art der vielen Lackierverfahren zur Beschichtung von Metallbauteilen. Es ist ein elektrochemisches Verfahren der Oberflächenbeschichtung, wo elektrisch leitfähige Bauteile in eine Lösung mit Lackpartikeln getaucht werden. Wie in Abbildung 3 zu erkennen, wird das Metallteil negativ (Kathode) geladen und in das Tauchbad getaucht. Die Lackteilchen in dem Tauchbad sind positiv (Anode) geladen, und deswegen werden die Lackteilchen von dem Metallteil angezogen und lagern sich auf der Metalloberfläche ab. Durch diesen Prozess bildet sich eine gleichmäßige Lackschicht auf der gesamten Metalloberfläche. Die Lackschicht bildet sich bis zu einer bestimmten Schichtdicke, die durch die Stromstärke frei eingestellt werden kann, und nach der entsprechenden Schichtdicke verhindert die Lackschicht eine weitere elektrische Anziehung der Lackpartikeln. Anschließend werden die lackierten Bauteile bei 180°C bis 220°C im Einbrennofen eingebrannt, um die Lackierung permanent zu haften. [11]

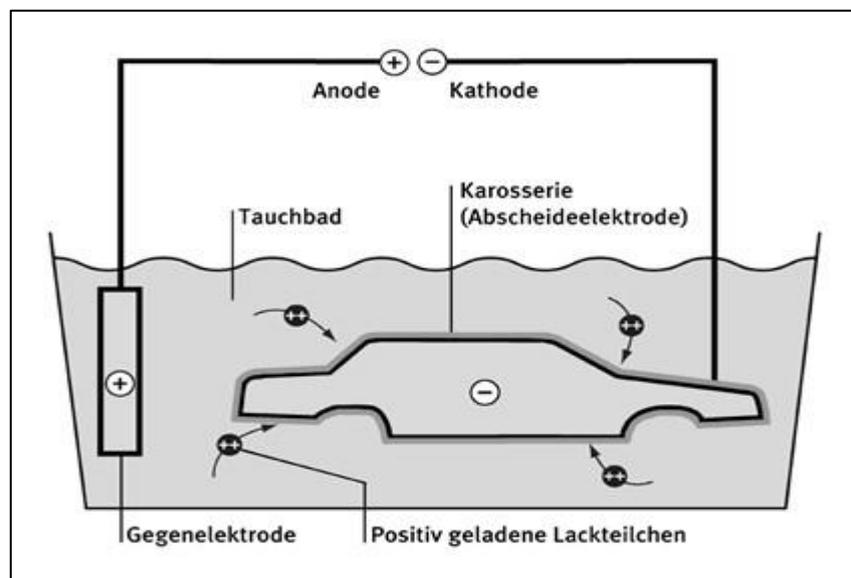


Abbildung 3: Funktionsweise kathodischer Tauchlackierung [12]

Diese Art des Lackierverfahrens ist vorteilhaft für die Anwendung bei der Serienproduktion mit Automatisierung. Die kathodische Tauchlackierung wird oft in der Automobilindustrie verwendet, um Karosserien und Komponenten zu beschichten, um sie vor Korrosion und Verschleiß zu schützen. Außerdem bietet das Verfahren eine sehr gleichmäßige

Beschichtung selbst für schwer zugängliche Bereiche, wie scharfe Kanten, Hohlräume und feine Fugen. [13] Die weiteren Vorteile sind, dass man mit diesem Verfahren Zeitsparen kann, da man mit dem Verfahren mehrere Teile gleichzeitig bearbeiten kann und eine Beschichtung mit guter Korrosionsfestigkeit, Kratzfestigkeit und Schlagfestigkeit liefert. Anschließend ist dieses Verfahren einsetzbar für viele verschiedene Werkstoffe, mit der Voraussetzung, dass die Werkstoffe elektrisch leitfähig sind.

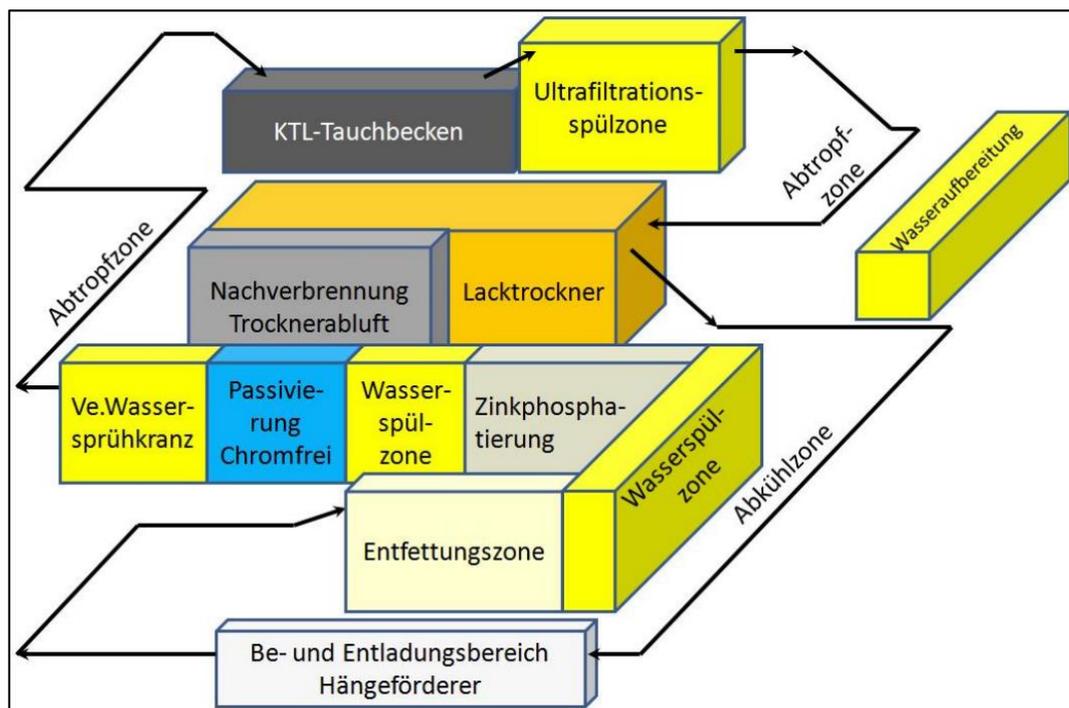


Abbildung 4: Aufbau der kathodischen Tauchlackierungsanlage [14]

Wie in Abbildung 4 gezeigt, besteht die KTL-Anlage aus mehreren Bädern/Prozessen. Der Prozess besteht aus zwei Schritten, nämlich Vorbehandlung und Lackierung. Die Vorbehandlung besteht in der Regel aus verschiedenen Reinigungsprozessen wie Entfettung, Phosphatierung, Wasserspülung und Passivierung. Bei der Lackierung wird das vorbehandelte Bauteil in das KTL-Tauchbad getaucht und durch Elektrolyse mit den Lackpartikeln verbunden, anschließend wird das Bauteil in den Einbrennofen geschickt und zur Aushärtung des Lacks eingebrannt. [15]

3 Behandlung der Thematik

Dieser Kapitel befasst sich mit der Vorbereitung auf die Analyse der Aufgaben und den durchgeführten Untersuchungen im Rahmen der Analyse. In diesem Abschnitt wird die Ursache des Problems gesucht und bestätigt.

3.1 Vorbereitung und Anwendung von Sechs-Sigma-Methode

Das Sechs-Sigma-Methode begann mit einem Projekt Steckbrief. Hier wurden einige Rolle sowie das Projekt-Champion, Coach, und Projektleiter abgestimmt, um das Projekt zu unterstützen und die Arbeit zu kontrollieren, sodass das Projekt immer in den richtigen Weg und Effizient bleibt. Das Projekt Steckbrief beinhaltet die Problembeschreibung, Projektmitglieder mit Ihrer Rolle, Projekt-Ziel, Defekt Definition und das Projekt-Metrik. Durch die Erstellung des Projektauftrags wurde das Ziel dieser Arbeit und die Erwartungen an dieser Arbeit verdeutlicht, damit es möglich ist, das Problem systematisch zu beseitigen. Nach der Abstimmung des Projektsteckbriefs wurde danach die Kundenanforderung festgelegt. Diese dient dafür, die Rahmenbedingungen und Forderungen der Arbeit zu betrachten. Anschließend wurde das Prozessfluss und Potenzial für einen Überblick des Prozesses erläutert, um den möglichen Gewinn dieser Arbeit zu verdeutlichen.

Danach wurden für diese Arbeit den Arbeitsplan/Arbeitsstufen geplant. (s. Abbildung 5) Dieser Arbeitsplan ist eine Vorgabe von Mercedes-Benz für die üblichen Sechs-Sigma-Projekte, der in Mercedes-benz verwendet wird. In diesem Arbeitsplan gibt es 15 Schritte, die schrittweise von unten nach oben durchgeführt werden. Es beginnt mit der Definition des Problems und endet mit der Kontrolle der Lösung. Wobei die Stufen 1 bis 4 zur Definitionsphase gehören, die Stufen 5 und 6 zur Messung, die Stufen 7 bis 10 zur Analyse, die Stufen 11 bis 13 zur Verbesserung und die Stufen 14 und 15 zur Kontrolle.

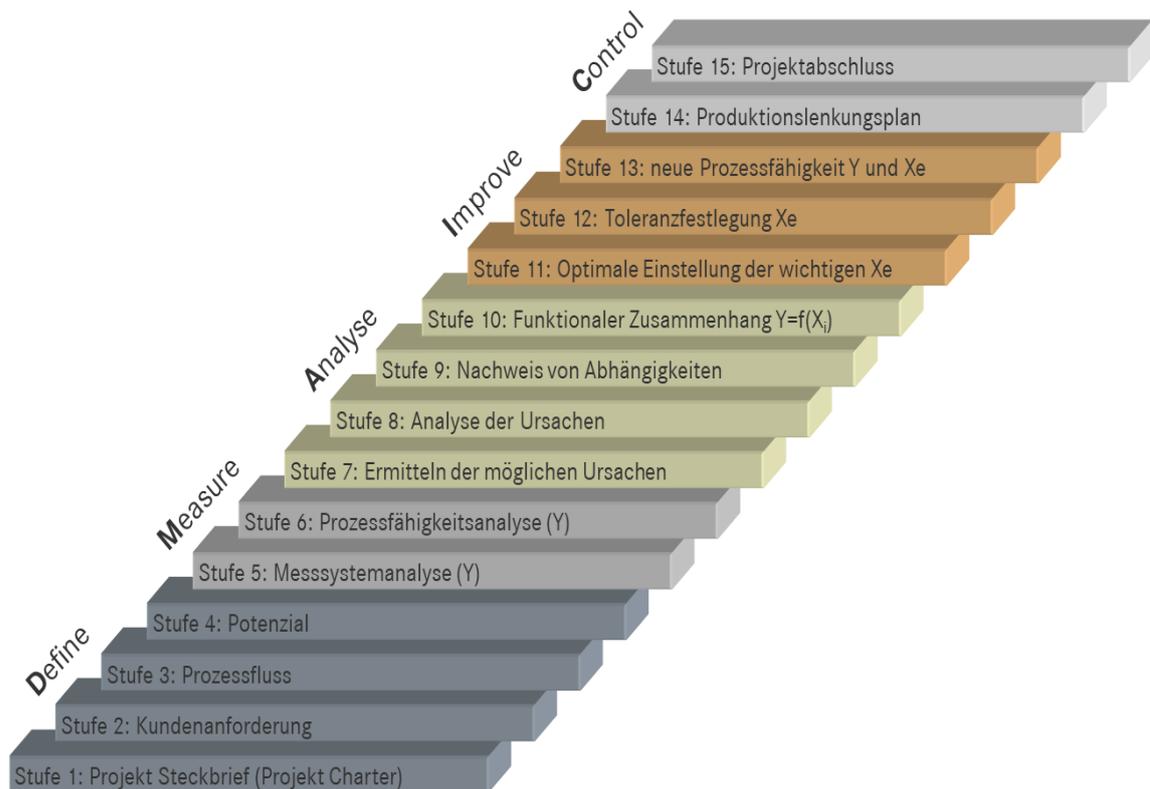


Abbildung 5: Sechs-Sigma-Methode Arbeitsstufen

Diese Bachelorarbeit folgt im Prinzip den Schritten in Abbildung 5. Es kann aber leider nicht genauso in der Dokumentation umgesetzt werden, weil sie für die Dokumentation nicht so passend ist. Daher wurden einige Anpassungen vorgenommen. Wie zum Beispiel Stufe 11 und Stufe 12. Die beiden Stufen sind nicht für diese Arbeit geeignet, und wurde als Konzeptentwicklung und Präzisierung geändert. Die Haupte Erwartung bei diesem Ansatz ist Null-Ausschuss-Niveau zu erreichen durch Minimierung der Schwankungen.

3.2 Systemanalyse und Rahmenbedingungen

Dieser Abschnitt befasst sich mit den vorhandenen Parametern, den Soll-Zuständen und den Randbedingungen bzw. Einschränkungen dieser Arbeit. Darüber hinaus wird ein Überblick über den Prozessfluss und das Produkt gegeben, um ein besserer Überblick des Themas zu bekommen.

3.2.1 Das MRA2 polymerhybride Bremspedal

Das MRA2 polymerhybride Bremspedal oder das sogenannte MRA2 PMH-Pedal ist eine der vielen Varianten des Bremspedals von Mercedes Benz AG, die in dem Werk Hamburg produziert werden. MRA2 steht für „*Modular Rear Architecture 2*“. MRA2 ist eine Bezeichnung für die Variante der Antriebkomponente von Mercedes-Benz. Dieses Bremspedal wird in den Autos der S-Klasse, C-Klasse, AMG und Maybach eingebaut, deswegen ist es nicht nur ein Sicherheitsbauteil, sondern auch ein Designbauteil.

Diese Art von Pedal unterscheidet sich von herkömmlichen Pedalen durch die Verwendung von Polymerhybrid. Polymerhybrid ist eine Art des Kunststoffes, die aus zwei oder mehrere Arten von Polymeren hergestellt wird. Bei den polymerhybriden Bremspedalen von Mercedes wird das Polymerhybrid aus Polyamid und Glasfaser hergestellt. Dieser polymerhybride Kunststoff nimmt die Form von Stützrippen und Pedalplatte nach dem Spritzgussvorgang an. Diese hat die Aufgabe, die Festigkeit des Bremspedals zu erhöhen. Das MRA2 PMH-Bremspedal benutzt 2 Teile verzinkten Bleches, das Oberteil und Unterteil. Die polymerhybriden Stützrippen befinden sich in dem Oberteil des Pedals, sowie unten in Abbildung 6 gezeigt. Am Ende wird das Pedal durch die kathodische Tauchlackierung lackiert, um ein schwarz glänzendes Pedal als Ergebnis zu erhalten.

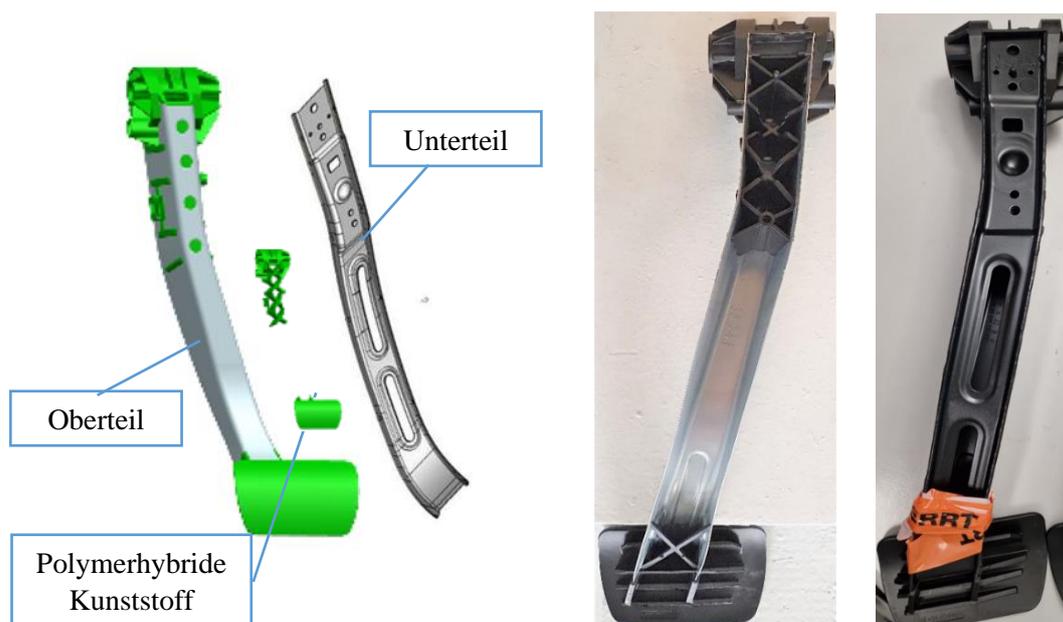


Abbildung 6: Einzelteile MRA2 PMH-Bremspedal Oberteil, Unterteil & Polymerhybride Kunststoff (links); eingespritztes MRA2 PMH-Bremspedal Oberteil (mittel); fertiges MRA2 PMH-Bremspedal (rechts)

Die MRA2 PMH-Bremspedale bestehen aus drei ähnlichen Produkten. Die Baureihen 206 Linkslenker, 206 Rechtslenker und 223 Linkslenker. Der Unterschied zwischen 206 Linkslenker und 223 Linkslenker liegt bei dem Winkel der Pedalplatte und der 206 Rechtslenker ist für Rechtslenker Autos. Wegen der Ähnlichkeit wird in dieser Arbeit nur die Baureihe 206 Linkslenker berücksichtigt.

Das Bremspedal wird danach mit anderen Teilen verbaut werden, um als eine Bremspedalanlage zu sein. Diese setzt sich zusammen aus dem polymerhybriden Bremspedal, dem Pedalüberzug, der Führungsbuchse, den Lagerbuchsen, dem polymerhybriden Lagerbock, den Sicherungsringen und dem Drehwinkelsensor., sowie in Abbildung 7 Explosionsansicht der MRA2 Bremspedalanlage dargestellt. Die Montage der Pedalanlage befindet sich in dem Werk Hamburg, Bremen und China statt.

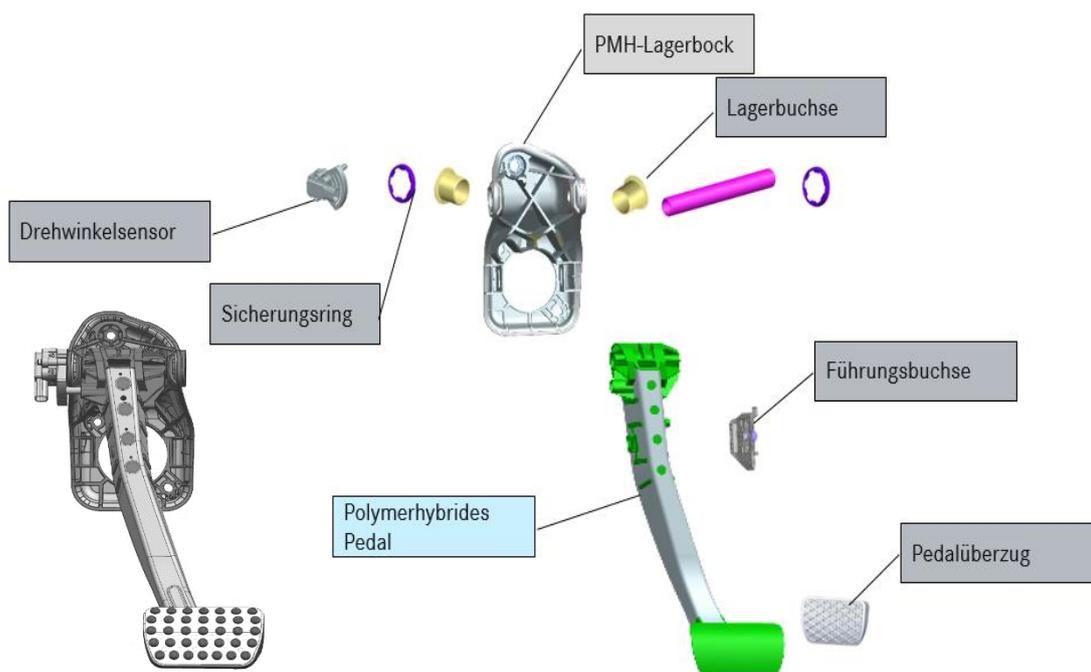


Abbildung 7: Explosionsansicht der MRA2 Bremspedalanlage

3.2.2 Der Fertigungsprozessfluss

Die Herstellung des MRA2 PMH-Bremspedal findet komplett von dem Umformen der Bleche bis zur Lackierung in dem Werk Hamburg statt. In der Herstellung gibt es 3 Hauptvorgänge. Die Vorgänge sind Spritzgießen, Lötten und Lackieren.

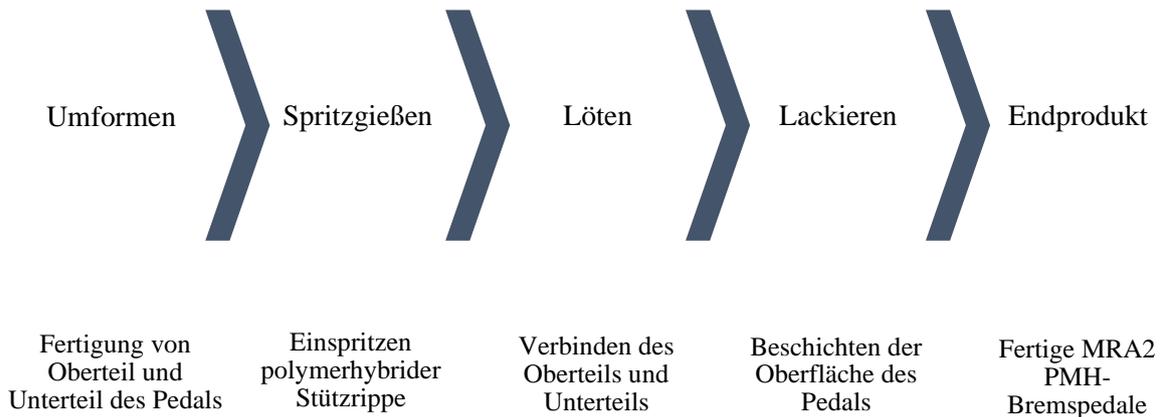


Abbildung 8: Vorgänge der Herstellung MRA2 PMH-Bremspedale

Wie in Abbildung 8 dargestellt, werden im Presswerk die Oberteile und Unterteile des Pedals aus verzinktem Blech umgeformt. Anschließend werden die Oberteile und Unterteile werden dann an die Produktionslinien weitergegeben. Wo in der Produktionslinie das Oberteil durch das Spritzgießen die Stützrippe eingespritzt und durch das MIG-Lötten mit dem Unterteil verschweißt wird. Die gelöteten Pedale werden danach von der Produktionslinie an die Lackieranlage weitergeleitet, um die Pedale durch kathodische Tauchlackierung zu beschichten. Die Lackieranlage und Pressanlage befinden sich in verschiedenen Abteilungen, die auch für Vorderachsen, Hinterachsen und anderen Komponenten verwendet werden. Außerdem ist die Kathodische Tauchlackieranlage und das Presswerk in dem Mercedes-Benz Werk Hamburg für die Achsenkomponenten optimiert und eine Änderung der Einstellung könnte den stabilen Prozess beeinträchtigen. Deshalb wird in dieser Arbeit der Lackier- und Pressprozess als Black-Box betrachtet.

Der genauere Fertigungsprozess der Bremspedale läuft wie folgt:

Tabelle 1: Fertigungsprozessfluss MRA2 PMH-Bremspedal



Die Lackierung der Bauteile folgt der Werk-Norm DBL 7382:20. Das DBL 7382:20 ist eine Werk-Norm von Mercedes-Benz, die die Anforderungen der Beschichtungsqualität von beschichtete Metallteilen spezifiziert und die Prüfverfahren beschreibt.

3.2.3 Relevante Parameter und Rahmenbedingungen

Das Problem dieser Arbeit tritt nach der Lackierung auf. Das Presswerk und der Spritzgießprozess werden hier ausgelassen, da sie keinen direkten Einfluss auf das Problem haben.

Verzinktes Blech:

Tabelle 2: PMH-Bremspedaloberteil Daten

Bezeichnung	MRA2 PMH-Bremspedal Oberteil
Blechdicke	1,00 mm
Material	Stahl MBN 11251- CR380LA UC-U
Zinkschichtdicke	54 - 61 g/m ²
Schmelztemperatur	419,5°C
Siedetemperatur	907°C

Tabelle 3: PMH-Bremspedalunterteil Daten

Bezeichnung	MRA2 PMH-Bremspedal Unterteil
Blechdicke	1,25 mm
Material	Stahl MBN 11251- CR380LA UC-U
Zinkschichtdicke	50 – 60 g/m ²

MIG-Lötprozess

Tabelle 4: MIG-Lötprozess Daten

Lötverfahren	Hochtemperaturlöten
Flussmittel	-
Schutzgas	CRONIGON 2 – 97,5% Argon 2,5% CO ₂
Lötendraht	CuAl8 1,00mm
Schmelztemperatur	1040°C

Allgemeine Rahmenbedingung:

Bei der Durchführung von Änderungen oder Verbesserungen des Prozesses sind einige Punkte zu beachten, um Störungen oder Beeinflussungen anderer Prozesse zu vermeiden. Erstens darf die Qualität der Lötnaht nicht beeinflusst werden, da das Bremspedal ein Sicherheitsteil ist und eine Beeinflussung der Lötnaht die Qualität der Serienproduktion beeinträchtigen kann. Zweitens ist eine Veränderung der Parameter der Lackier-/KTL-Anlage nicht erwünscht, da die KTL-Anlage nicht nur für Bremspedale eingesetzt wird, sondern auch für verschiedene Bauteile, die das Werk Hamburg produziert, verwendet wird.

Eine Änderung dort könnte sich auf die anderen stabilen Prozesse auswirken. Letztlich ist eine Verschlechterung der Produktionseffizienz oder der Produktionstaktzeit zu vermeiden, da eine hohe Produktionszahl erreicht werden muss.

3.2.4 Kundenanforderung/ Soll-Zustand

Um die Qualität des Pedals zu gewährleisten, genormte Qualität erforderlich. Von Beschichtungsmaterial, Schichtdicken, Lötnahtqualität, Qualitätsprüfungen bis das optische Aussehen des Pedals wird alles mit dem Daimler-Benz Liefervorschrift genormt. In diesem Fall ist eine schwarze, glänzende Lackierung der Pedale mit einer Schichtdicken von ca. 23µm wünschenswert. Denn diese Lackierung beeinflusst nicht nur die Ästhetik des Pedals, sondern auch seine Korrosionsbeständigkeit. Darüber hinaus ist das Bremspedal ein Sicherheitsteil und befindet sich im unteren Teil des Fahrzeugs, wo die Feuchtigkeit höher ist, deswegen muss der Qualität die entsprechende Vorgabe erfüllen.

Anschließend soll die Beschichtung:

- keine Fehlstelle aufweisen.
- gleichmäßig und glänzend sein
- die Korrosionsanforderung nach DBL7382_2020 erfüllen

3.2.5 Messsystemanalyse

Die Messsystemanalyse überprüft die Messfähigkeit von Messmitteln bzw. der Messmethode eines Prozesses. Diese Analyse dient dafür, die Messgenauigkeit, Richtigkeit und die Messabweichung zu untersuchen. [17]

Als Messgerät für den Prozess wird ein Lackfehlerkatalog von Mercedes-Benz verwendet. Das Messsystem erfolgt attributiv zwischen „in Ordnung“ und „nicht in Ordnung“, indem die Mitarbeiter mit Hilfe des Fehlerkatalogs die Teile optisch prüfen, bevor die Pedale in den Montagelinien montiert oder nach China geschickt werden.

Um die Messfähigkeit des Prozesses zu untersuchen, wurden 10 Stichproben mit 15 Probanden durchgeführt. Diese Untersuchung ergab, dass der Fehlerkatalog eine

durchschnittliche Übereinstimmung von 95% aufweist. Von 150 Versuchen wurde die Antwort bei 143 Versuchen identisch. Das bedeutet, dass von 150 Versuchen die meistens Probanden die Fehler anhand des Fehlerkatalogs identisch sortieren können.

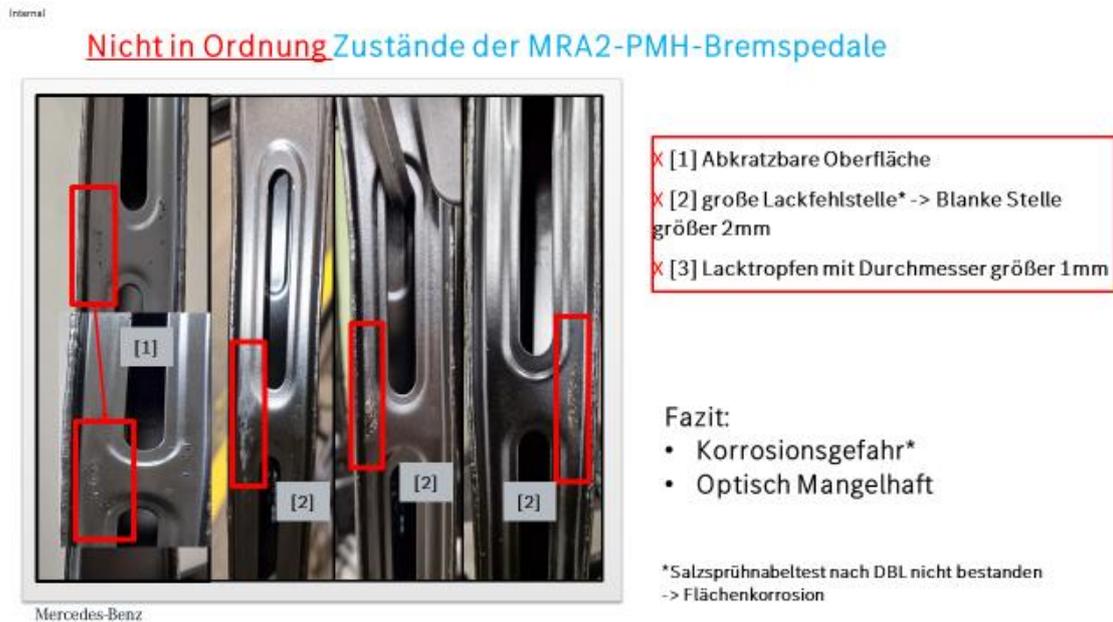


Abbildung 9: Fehlerkatalog der KTL-Lackierung der MRA2-PMH-Bremspedale n.i.O. Zustand

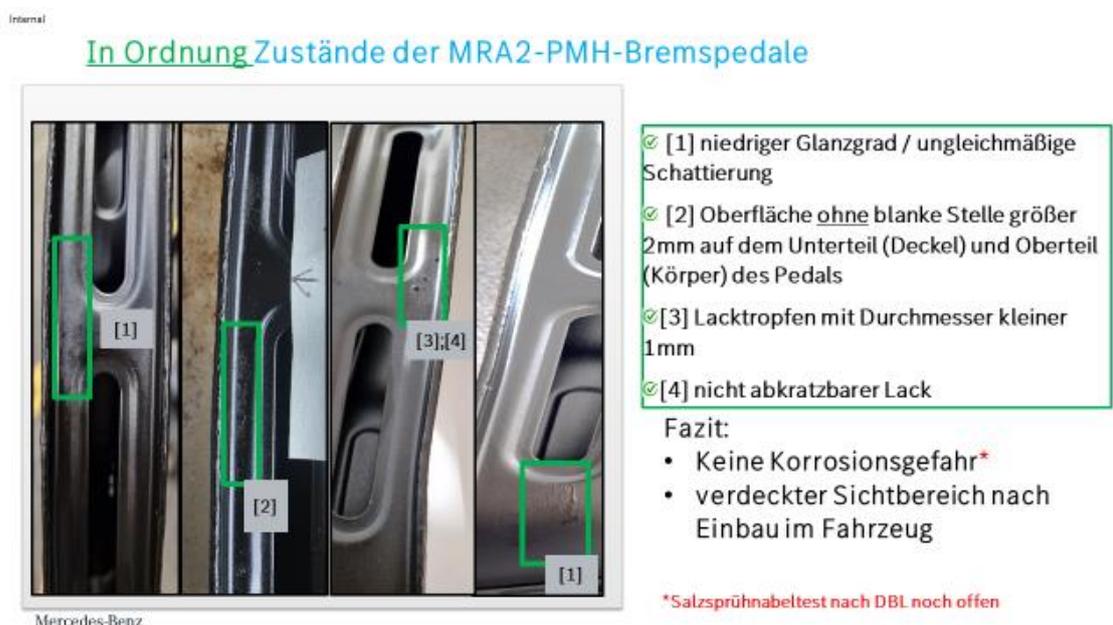


Abbildung 10: Fehlerkatalog der KTL-Lackierung der MRA2-PMH-Bremspedale i.O. Zustand

Abbildung 9 und Abbildung 10 zeigt die n.i.O und i.O Zustände und Definition der KTL-Lackfehler. Anhand dieses Kataloges werden die Teile geprüft und sortiert. Wenn eine der oben gezeigten Auffälligkeit auftritt, wird die Teile entweder als „nicht in Ordnung“ aussortiert und weggeworfen oder als „in Ordnung“ bezeichnet und an den Montagelinien

weitergegeben. Die Auffälligkeit für „n.i.O.“ besteht aus abkratzbarer Oberfläche, Lackfleckstelle größer 2mm und Lacktropfen größer 1mm.

3.2.6 Prozessfähigkeitsanalyse

Die Prozessfähigkeitsanalyse dient dafür zu überprüfen, ob ein System oder eine Maschine die Fähigkeit hat, ihr definiertes oder gewünschtes Ergebnis zu erreichen. [18] In dieser Arbeit wird die Anzahl des Ausschusses als Referenz genommen, um die Prozessfähigkeit zu beurteilen.

Tabelle 5: Ausschuss KW1-KW8 2023

KW	Produziert	∑ Anfahrteile	∑ N.i.O PL	∑ N.i.O KTL	∑ Ausschuss	% Anfahrteile	% N.i.O PL	% N.i.O KTL	% Gesamtausschuss
1	15589	634	486	108	1228	4,07%	3,12%	0,69%	7,88%
2	23939	973	782	253	2008	4,06%	3,27%	1,06%	8,39%
3	21944	885	884	186	1955	4,03%	4,03%	0,85%	8,91%
4	25400	1034	771	550	2355	4,07%	3,04%	2,17%	9,27%
5	15160	615	511	630	1756	4,06%	3,37%	4,16%	11,58%
6	22285	901	827	464	2192	4,04%	3,71%	2,08%	9,84%
7	12383	417	1038	481	1936	3,37%	8,38%	3,88%	15,63%
8	20329	846	1872	1603	4321	4,16%	9,21%	7,89%	21,26%

Tabelle 5: Ausschuss KW1-KW8 2023 zeigt, dass die Anzahl des Ausschusses von MRA2 PMH-Bremspedal prozentual Werte von 8% bis zu 21% aufweist. Diese verteilt sich in drei Kategorien von Ausschuss. Die erste Kategorie ist auf den Spritzgießprozess zurückzuführen und tritt auf, wenn es an der Spritzgießmaschine zu Standzeiten von mehr als 4 Minuten kommt, wie zum Beispiel bei einer Störung oder Wechsel des Spritzgieß-Werkzeuges. Die zweite Kategorie ist der Ausschuss von n.i.O Teilen der Lötprozess sowie Lötnahtfehler und die dritte Kategorie ist das Auftreten von Lackfehlern im Anschluss an den KTL-Prozess.



Abbildung 11: KTL-Ausschussdiagramm

Aus der Abbildung 11: KTL-Ausschussdiagramm ist erkennbar, dass die Anzahl des KTL-Ausschusses schwankt und pro Woche variiert. Beispielweise in der Kalenderwoche 1 nimmt der KTL-Ausschuss ca. 1% des Gesamtausschusses aber in der Kalenderwoche 8 beträgt den KTL-Ausschuss 8% der Gesamtausschuss mit Ausschusszahl von ca. 1600 Stück in der Woche. Diese Schwanken ist nicht vorhersehbar und beeinflusst die Stückzahlplanung der Produktion und führt zur Verschwendung des Materials.

Eine Berechnung des Cp-Werts (Kontrollwert) für die Prozessfähigkeitsanalyse ist für diese Untersuchung nicht einsetzbar, da eine Toleranzvorgabe nicht vorhanden ist. Als alternativ wird ein Vergleich zwischen der Anzahl des Ausschusses von MRA2 Bremspedale mit dem Schwesterpedal EVA2 dargestellt. Die beide Pedalen werden in der gleichen Anlage produziert, jedoch weist das EVA2-Bremspedal weniger Ausschuss nach dem KTL-Prozess auf.

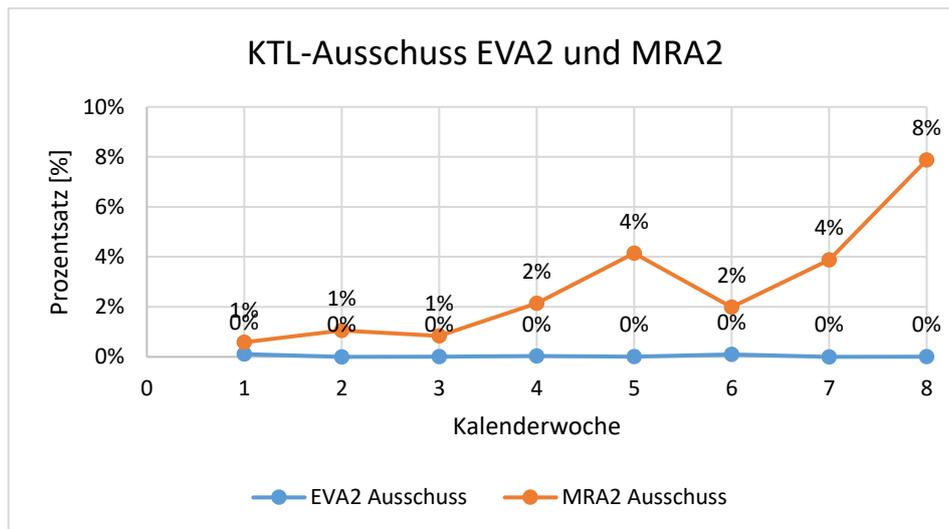


Abbildung 12: Vergleich EVA2-PMH-Bremspedale und MRA2-PMH-Bremspedale KTL-Ausschuss

In Abbildung 12 ist es deutlich zu erkennen, dass das Schwesterpedal EVA2 aufgrund von Lackfehlern einen geringen wöchentlichen Ausschuss von durchschnittlich ca. 7 Stück (ca. 0%) aufweist. Im Gegensatz dazu erzeugt das Bremspedal MRA2, obwohl es auf der gleichen Anlage produziert wird, einen durchschnittlichen Ausschuss von ca. 480 Stück pro Woche.

3.3 Analyse der möglichen Ursachen

Dieser Abschnitt befasst sich mit der Analysephase dieser Arbeit. Hier werden Problemursachen gesammelt und analysiert, um die Ursachen zu identifizieren.

3.3.1 Ist-Zustand

Ist-Zustand nach dem Löten:

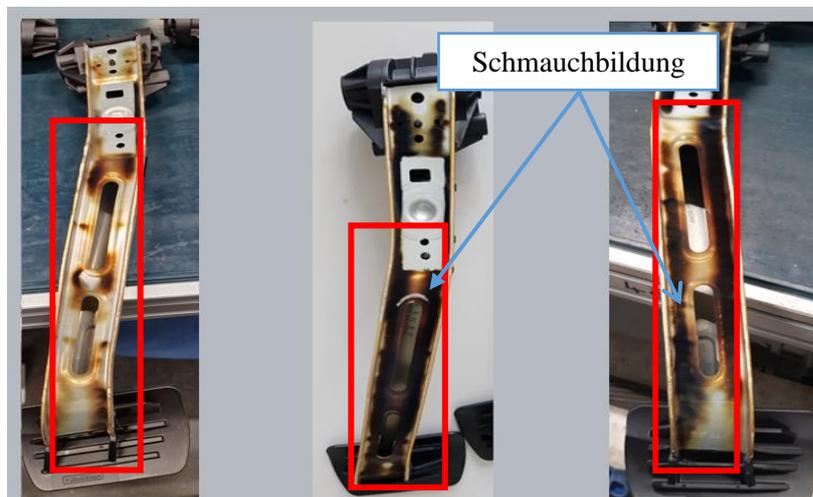


Abbildung 13: Zustand MRA2 PMH-Bremspedale verschiedener Tage nach dem Löten

Während der Produktion von den Pedalen wurde nach dem Lötvorgang häufig eine sogenannte Schmauchbildung beobachtet. Diese Schmauchbildung handelt es sich um eine Ablagerung von Schmauch neben der Schweiß-/Lötnaht, die durch die Verdampfung der Stoffe in dem Bereich der Wärmeeinbringung beim Löten bzw. Schweißen entsteht. [22] In diesem Fall wurde die Zinkschicht verdampft und lagert sich an der kälteren Oberfläche des Blechs in Form von Schmauch ab. Wie in Abbildung 13 dargestellt. Auffallend ist auch, dass es einen Unterschied in der Schmauchmenge gibt. In Abbildung 13 ist es zu erkennen, dass die Schmauchbildung am linken Pedal sich von der Menge an den beiden anderen Pedalen unterscheidet, obwohl die Pedale auf der gleichen Anlage gefertigt wurden. Darüber hinaus befindet sich auf der Pedaloberseite ein rechteckiger Bereich, in dem kein Schmauch sichtbar

ist. Dies ist darauf zurückzuführen, dass sich an dieser Stelle ein Spanner der Lötvorrichtung befindet, der den Bereich abdeckt.

Darüber hinaus ist eine manuelle Reinigung der Schmauchbildung vor dem Lackieren bzw. nach dem Lötten nicht möglich, da eine manuelle Reinigung des Schmauchs aufgrund des giftigen Zinkoxidanteils gesundheitsschädlich ist. Diese wurde bereits nach kurzer Verarbeitungszeit mit gesundheitlichen Schäden in Verbindung gebracht.

Ist-Zustand nach der Beschichtung/ Lackierung:

Nach dem Lötprozess wird die Pedale an die KTL-Anlage zur Beschichtung übergeben. Wie in Abbildung 14 dargestellt, ist nach der Lackierung häufig eine Lackfehlstelle zu sehen. Wobei zu erkennen ist, dass der Lackfehler von Pedal zu Pedal unterschiedlich ist. Bei einigen Pedalen ist nur ein kleiner Fehler zu sehen, während andere Pedale eine kritische Lackfehlstelle aufweisen. Diese Lackfehlstelle ist ein aktuelles Problem in der Produktion, da diese nicht nur eine mangelnde optische Qualität vorweist, sondern auch die Produktsicherheit der Teile beeinträchtigt. Eine Korrosionsprüfung mittels Salzsprühstest nach Mercedes-Benz Norm wurde durchgeführt und an diesen Lackfehlstellen kam es zu einem Auftreten von Oberflächenkorrosion. Dies führt zu einer hohen Anzahl von Ausschuss und daraus resultierend in einer erschwerten Planbarkeit für die Produktion.



Abbildung 14: Ergebnis MRA2 PMH-Bremspedale nach der Lackierung

3.3.2 Ermittlung möglicher Ursachen

Durch Beobachtungen und Überlegungen wurden einige mögliche Ursachen für das Problem ermittelt. Die möglichen Ursachen werden in Form einer Ursache-Wirkungs-Grafik des sogenannten Ishikawa-Diagramms dargestellt. Das Ishikawa-Diagramm dient dazu, einen Überblick über die möglichen Ursachen zu geben, um die Hauptursachen des Problems aufzuschlüsseln, bis die Wurzeln klar erkennbar sind.

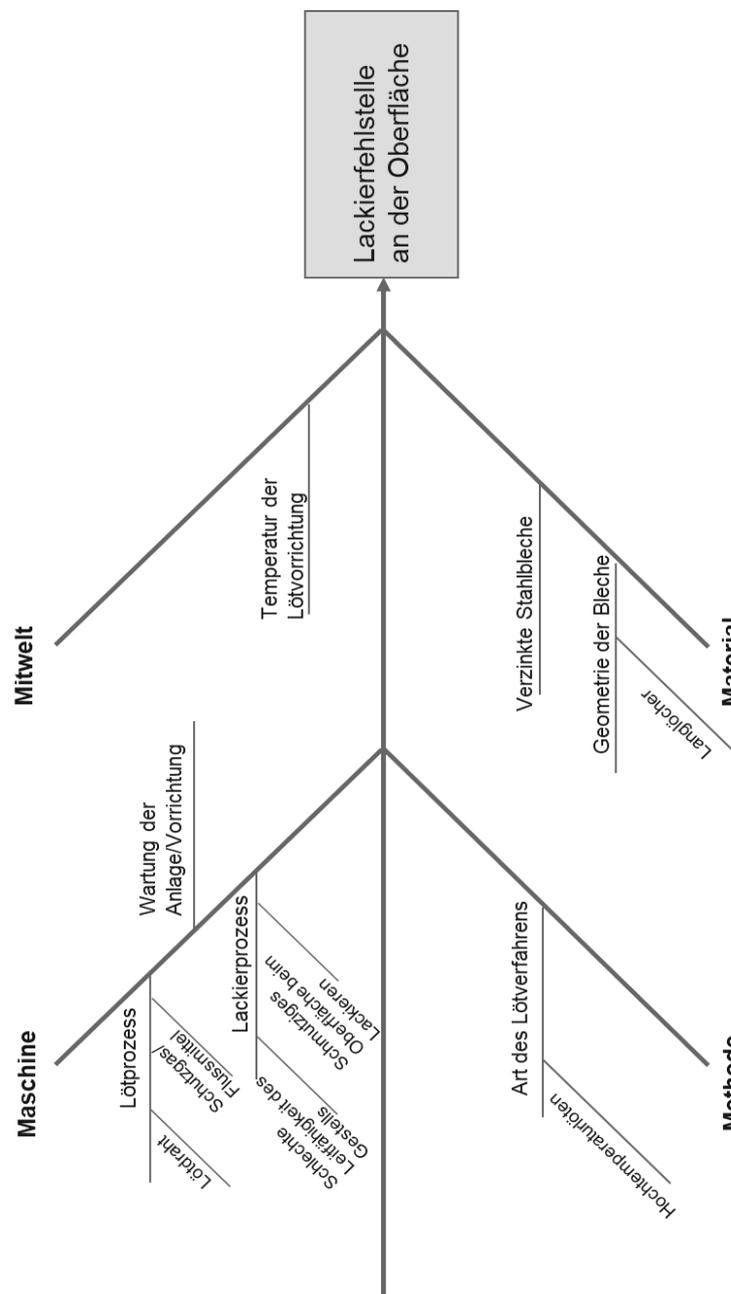


Abbildung 15: Ishikawa-Diagramm

Das Ishikawa-Diagramm in Abbildung 15 zeigt, dass vier Schwerpunkte vorliegen. Der erste Schwerpunkt ist die Maschine. In diesem Bereich sind die möglichen Ursachen eingezeichnet, die aufgrund ihres Einflusses auf die Maschine zu Problemen verursachen können. Diese Ursachen bestehen aus dem Lötprozess und dem Lackierprozess. Bei dem Löten haben der Lötdraht und das Schutzgas den größten Einfluss auf den Prozess. Beim Lackieren haben die Leitfähigkeit der Gestelle und die Sauberkeit der Bauteile die größte Auswirkung. Der nächste Schwerpunkt ist die Mitwelt. Diese beinhaltet äußeren Einflüsse, die sich auf den Produktionsprozess auswirken können, wie z.B. die Temperatur der Umgebung, in der der Prozess stattfindet. Hier werden die Temperatur der Lötvorrichtung betrachtet, da pro Schicht mehrere hundert Teile auf der Anlage produziert werden. Dabei kann es zu einer Erwärmung der Lötvorrichtung kommen, und damit zu einer Erwärmung der Umgebung der Lötstation führen. Ein weiterer Schwerpunkt ist die Methode, wie z. B. die Art des Lötprozesses und der letzte Schwerpunkt ist das Material, welches eine vorgegebene Blechgeometrie hat und aus verzinktem Blech besteht.

Zur Bewertung der möglichen Ursachen wurde eine Gewichtung der Ursachen in Form einer vereinfachten FME-Analyse durchgeführt, die in Tabelle 6: „Bewertung möglicher Ursachen“ dargestellt ist. Die Tabelle beschreibt die Punkte aus dem Ishikawa-Diagramm und wurde in einer Arbeitsgruppe bei Mercedes-Benz bewertet. Die Tabelle besteht aus der Einflusswahrscheinlichkeit und der Einflussnahme. Die Einflusswahrscheinlichkeit bewertet die verschiedenen Ursachen, welche die Wirkung verursachen, und die Einflussnahme sagt aus, wie kritisch die Wirkung für das Problem ist. Beide Bewertungsfaktoren werden auf einer Skala von null bis zehn bewertet, wobei zehn die höchste Skala bzw. den größten Einfluss und null die niedrigste Skala darstellt. Die Einflusswahrscheinlichkeit wird mit der Einflussnahme multipliziert, um die Einflusszahl zu erhalten. Damit werden die Ursachen mit der höchsten Relevanz identifiziert. Die beiden Ursachen mit der höchsten Wertung wurden hervorgehoben und in den folgenden Arbeitsschritten genauer analysiert.

Nach der Bearbeitung der Tabelle wurde festgestellt, dass die Punkte „schmutzige Oberfläche der Teile bei dem Lackieren“ und die „Verzinkung der Bleche“ mit einer Einflusszahl von 76 bzw. 56 den größten Einfluss auf das Problem hatten.

Es wurde angenommen, dass die verschmutzte Oberfläche aufgrund der Schmauchbildung beim Löten die größte Einflusswahrscheinlichkeit besitzt, da es keine mechanische Vorbehandlung vor dem Lackieren existiert. Aktuell werden die Teile nur durch chemische

Reinigung mit Entfettung, Phosphatierung und Wasserspülen vorbehandelt. Außerdem hat das verzinkte Blech die gleiche Einflusswahrscheinlichkeit aufgrund ihrer niedrigen Schmelz- und Siedetemperatur Schmauchbildung. Darüber hinaus ist auch zu erkennen, dass die anderen möglichen Ursachen einen geringen Einfluss haben, da das Problem tritt sich nicht bei den anderen Baureihen auf, obwohl diese in der gleichen Anlage mit den gleichen Parametern produziert werden.

Tabelle 6: Bewertung möglicher Ursachen

Mögliche Ursachen	Grund/Zustand	mögliche Auswirkung	Einflusswahrscheinlichkeit	Einflussnahme	Einflusszahl	Bemerkung
Maschine						
Lötprozess						
Lötdraht	CuAl18 Ø1mm; Schmelztemperatur von 1030-1040°C	zu hohe Temperatur für verzinktes Blech	1	2	2	Lötdraht hat eine Schmelztemperatur von 1030-1040°C und verzinktes Blech hat eine Schmelztemperatur von 420°C und Siedetemperatur von 907°C
Schutzgas	CRONIGON 2- Ar 97,5% +CO2 2,5%	Oxidation mit Lötendraht	1	2	2	Alluminiumanteil im Lötendraht könnte mit dem CO2 Anteil im Schutzgas reagieren
Lackierprozess						
Schlechte Leitfähigkeit des Gestells	Kassette und Gestelle für KTL-Anlage werden nicht regelmäßig entlackt.	nicht optimale Lackierung	3	2	6	Entlacken der Gestelle wird durch eine externe Firma ohne festen Termin durchgeführt
Schmutzige Oberfläche der Bauteile	die Bauteile sind nach dem Löten stark durch Schmutzabildung verschmutzt und keine mechanische Vorbehandlung vor dem Lackierung	nicht optimale Lackierung	8	9	72	Für Pedale wird keine mechanische Vorbehandlung vor der Lackierung durchgeführt. Entfettung ist nicht genügend um den Schmutz zu entfernen
Wartung der Anlage/Vorrichtung	Wartung KTL-Anlage findet an jedem Wochenende statt	schmutziges Tauchbad führt zu niedriger Leistung	2	3	6	Die KTL-Anlage läuft von Montag bis Freitag 3 Schichten/Tag und am Wochenende wird sie gewartet
Mitwert						
Temperatur der Lötvorrichtung	Die Lötvorrichtung nimmt Wärme auf, und verursacht eine wärme Umgebung	Extra Wärmeeinbringung zur Bauteile	1	1	1	Die Anlage produziert mehrere hundert Teile pro Schicht ohne Pause
Methode						
Art des Lötverfahrens	Hochtemperaturlöten mit Temperatur von >900°C	Temperatur zu hoch für Bauteile	2	0	0	Parameter soll nicht geändert werden, um die Qualität der Lötmaht nicht zu beeinflussen.
Material						
Verzinktes Blech	Schmelztemperatur 420°C Siedetemperatur 907°C	schmelzen und sieden während des Lötens	8	7	56	Das verzinkte Blech liefert einen extra Korrosionsschutz während des Fertigungsprozesses (vor der Lackierung)
Geometrie des Blechs	Das Pedalunterteil hat 2 lange Löcher. Diese können die Wärmekapazität des Unterteils reduzieren	Wirbelströme verursacht; Erhitzung des Bauteils	3	4	12	Teile sind bereits in Serienproduktion und auf dem Markt vertrieben. Eine Änderung der Geometrie ist nicht erwünscht

3.3.3 Aufbau der Lötstation

Zur besseren Übersicht über die Problematik wird in diesem Unterkapitel der Aufbau der Lötstation erläutert. Die Lötanlage hat ein vollautomatisches Lötssystem. Die Anlage besteht aus zwei Schweißrobotern in der Löt kabine, einem Transportroboter und einer drehbaren Löt vorrichtung mit 8 Löt nestern. Wie in Abbildung 16 und Abbildung 17 dargestellt.

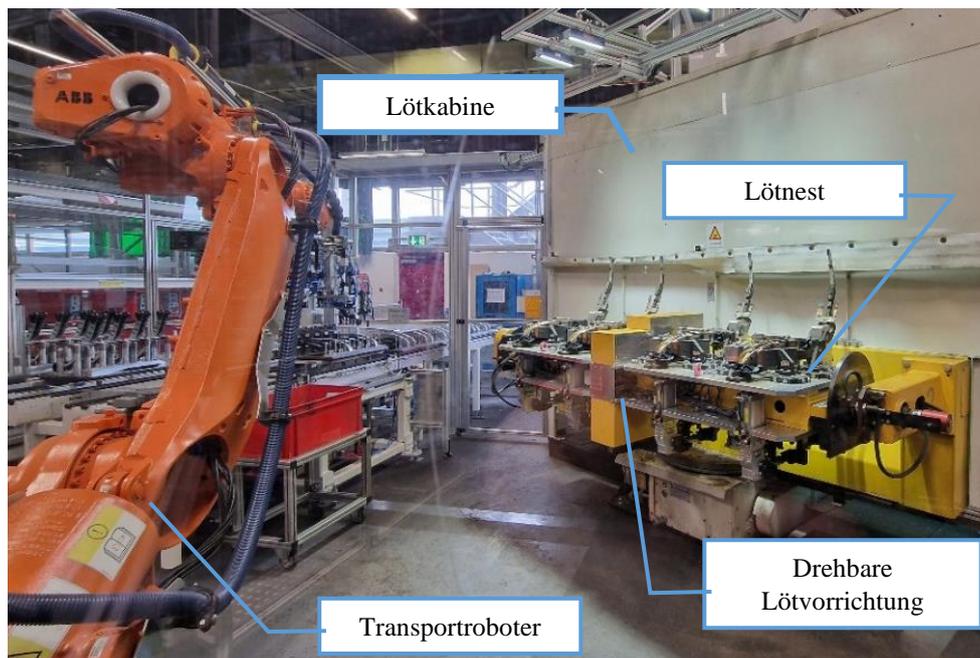


Abbildung 16: Löt station Außenansicht

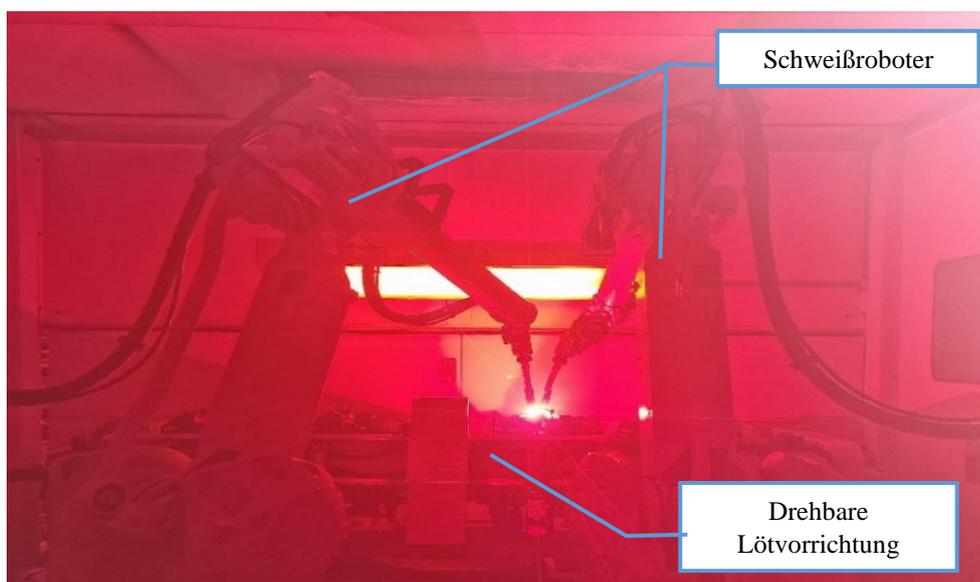


Abbildung 17: Löt station Innenansicht (Löt kabine)

Die Fertigung der Pedale besteht aus einem Spritzgießprozess und einem Lötprozess, die miteinander verbunden sind. Der Lötvorgang beginnt im Anschluss an den Spritzgussprozess, indem der Roboter das spritzgegossene Pedaloberteil zur Lötstation bringt, das zuvor fertig gelötete Pedal entnimmt und das neue Pedaloberteil auf das Lötgestell legt. Anschließend legt der Roboter das Pedalunterteil auf das aufgesetzte Pedaloberteil, wie in Abbildung 17 dargestellt. Danach dreht sich die Lötvorrichtung horizontal um 180° und bringt die Teile in die Lötkabine, wo das spritzgegossene Pedaloberteil mit dem Pedalunterteil durch den Lötprozess verschweißt wird.



Abbildung 18: Die Lötvorrichtung

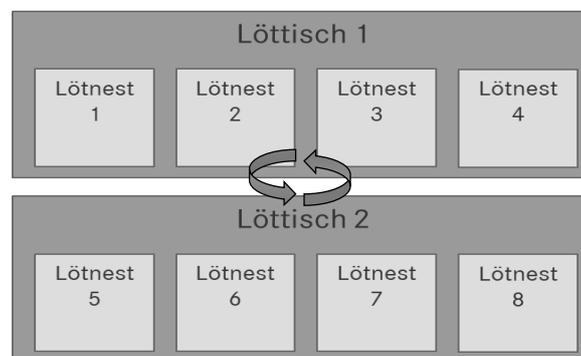


Abbildung 19: Vereinfachte Darstellung der Lötvorrichtung

Jede Seite der Lötvorrichtung enthält ein Drehtisch mit vier Lötnerstern wie in Abbildung 19: Vereinfachte Darstellung der Lötvorrichtung“ gezeigt. Der Lötprozess beginnt bei Lötnerstern 1 und endet bei Lötnerstern 4, danach dreht sich der Tisch horizontal und der Roboter startet erneut von Lötnerstern 8 zu Lötnerstern 5. Der Lötvorgang wird von zwei Robotern durch gleichzeitiges Auftragen der beiden Lötnerstern ausgeführt, um Verzug beim Lötten zu vermeiden.

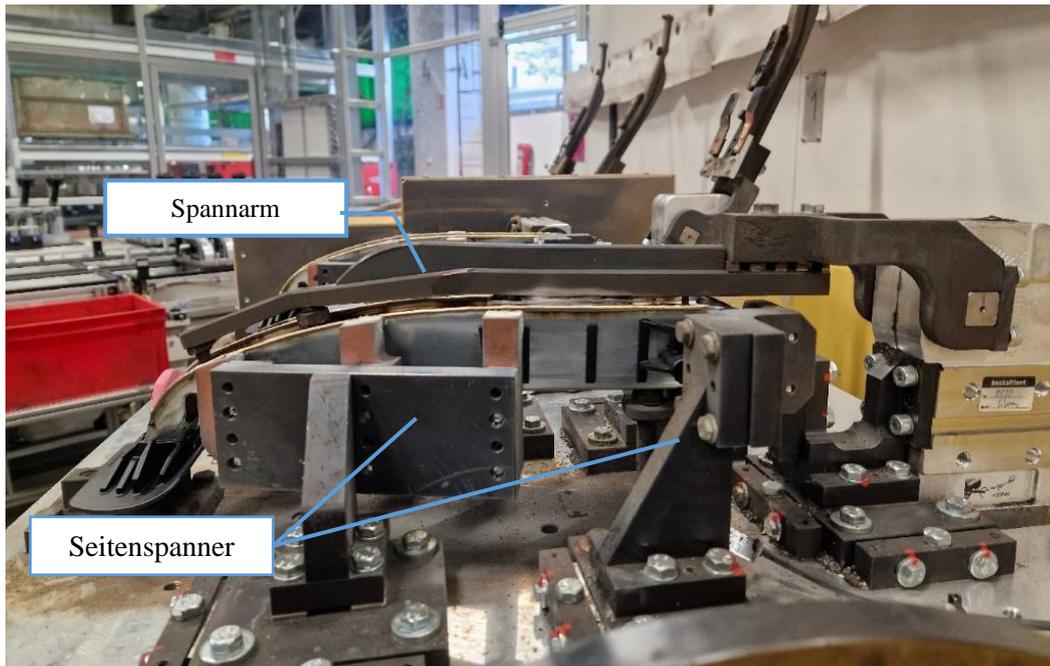


Abbildung 20: Das Lötnerstern

Die Lötnerstern setzen sich zusammen aus einem Spannarm und vier Seitenspannern, wie in Abbildung 20 gezeigt. Die Lötvorrichtung hat die Aufgabe, das eingespritzte Pedaloberteil mit dem Unterteil zu spannen. Die Seitenspanner befestigen das Pedal, um ein seitliches Verschieben zu verhindern und der Spannarm drückt das Pedalunterteil auf das Pedaloberteil.

3.3.4 Temperatur-Schmauch-Analyse

Um eine Korrelation zwischen die Temperatur des Bauteils beim Lötten und die Bildung des Schmauchs zu suchen, wurden ein Temperatur-Schmauch-Analyse durchgeführt. Als Hilfsmittel wurden ein Temperaturmessgerät und Katalog für Klassifizierung der

Schmauchbildung wie in Abbildung 21: Klassifizierung der Schmauchbildung des PMH-Bremspedals dargestellt, verwendet.



Abbildung 21: Klassifizierung der Schmauchbildung des PMH-Bremspedals

Tabelle 7: Temperatur-Schmauch-Untersuchung

Versuch	Temperatur-Schmauchbildung-Untersuchung															
	Strang 2 - Baureihe 206LL															
	Löttisch 1								Löttisch 2							
	Lötnest 1		Lötnest 2		Lötnest 3		Lötnest 4		Lötnest 8		Lötnest 7		Lötnest 6		Lötnest 5	
Temp. [°C]	Klass. (A,B,C)	Temp. [°C]	Klass. (A,B,C)	Temp. [°C]	Klass. (A,B,C)	Temp. [°C]	Klass. (A,B,C)	Temp. [°C]	Klass. (A,B,C)	Temp. [°C]	Klass. (A,B,C)	Temp. [°C]	Klass. (A,B,C)	Temp. [°C]	Klass. (A,B,C)	
1	232	B	248	C	256	C	251	C	231	B	237	C	253	C	240	C
2	257	C	241	C	256	C	261	C	245	C	231	C	232	B	241	C
3	235	C	206	C	245	C	275	C	233	B	240	C	252	C	242	C
\bar{x}	241,3		231,7		252,3		262,3		236,3		236		245,7		241	
Raumtemperatur : 24,1°C																

Um den Zusammenhang zwischen der Temperatur und der Schmauchbildung zu messen, wurden drei Versuche für jede Lötstelle durchgeführt. (S. Tabelle 7) Die Temperatur der Teile wurde nach jedem Lötvorgang gemessen und die Schmauchbildung mit der Klassifizierung angeordnet. Bei diesem Versuch wurde festgestellt, dass eine genaue Messung der Temperatur für diese Anlage schwierig möglich ist, da die Wärme schnell mit der Zeit dissipiert wurde. Darüber hinaus war die Anzahl der Messungen begrenzt, da pro Versuch zehn Teile als Ausschuss wegen Störung des Spritzgieß- und Lötprozesses verworfen wurden, weshalb weitere Versuche ungünstig waren. Daher bleibt der Zusammenhang zwischen Temperatur und

Schmouchbildung unklar, da es zwei Werte in der Messung gibt (rot markiert), die stark von den anderen Werten abweichen. Eine weitere Messung wurde optimal, war aber schwierig zu realisieren, weil das Kosten-Nutzen-Verhältnis nicht gut genug für weitere Versuche war.

Außerdem ist eine direkte Messung während des Lötens unmöglich, da keine Person in der Anlage, während der Roboter die Teile löten, sein darf. Deswegen ist eine genaue Abmessung der Temperatur nach dem Lötens schwierig. Darüber hinaus kann die Temperaturmessung nur manuell vorgenommen werden, da der Einbau einer statischen Messvorrichtung nicht erlaubt ist, da diese den Lötprozess und die Bewegung der Roboter beeinflussen würde. Außerdem würde die Anwendung von einer Wärmebildkamera schwer umsetzbar sein, da das verzinkte Blech das Infrarot reflektieren kann.

Als Anregung für zukünftige Experimente wäre es besser, wenn ein besseres Temperaturmessgerät, das eine Fernsteuerungsfunktion oder ein Fernablesegerät für die Messergebnisse besitzt, zur Verfügung gestellt würde, sodass der Spritzgieß- und Lötprozess nicht beeinflusst während der manuellen Messung werden.

3.3.5 Untersuchung der Verzinkung

Um die mögliche Ursache „Verzinktes Blech“ zu bestätigen, wurde eine Erprobung mit unverzinktem Pedalunterteil durchgeführt. Für den Versuch wurde 32 Teile mit unverzinkten Pedalunterteil in die Anlage durchgelaufen. In der gleichen Anlage wurde dazu 32 Serienteil produziert. Diese Teile wurden danach an die KTL-Anlage geschickt und beschichtet.

Tabelle 8: Ergebnis Löten mit unverzinktem Pedalunterteil

Bauteilbezeichnung	MRA2 PMH-BREMSPEDAL BR 206 LL		
	I.O Teile	N.i.O Teile	Ausschuss
Versuch			
mit verzinktem Pedalunterteil	6	26	81,3%
mit unverzinktem Pedalunterteil	32	0	0%

Von dieser Untersuchung wurde gefunden, dass durch die Verwendung unverzinktes Pedalunterteil die Ausschusszahl reduziert werden könnte. Dabei anzumerken ist, dass der obere Teil des Pedals weiterhin verzinkt war. Der Grund dafür ist, dass ein unverzinktes

Blech für den oberen Teil des Pedals nicht erwünscht wurde, da es beim Produktion Kontaktkorrosion verursachen kann. Außerdem beim Löten mit unverzinktem Pedalunterteil wurde noch Schmauchbildung getroffen. Der unterscheidet sich jedoch optisch von dem Schmauch mit verzinktem Blech. Optisch ist der Schmauch pulvriger, während der Schmauch aus verzinktem Blech optisch wie verbrannte Rauchspuren aussieht.



Abbildung 22: Vergleich Lötens mit unverzinktem Pedalunterteil und normaler Serienprozess

Um den Schmauch genauer zu betrachten, wurde eine Restschmutzuntersuchung durchgeführt. Als Ergebnis wurde festgestellt, dass den Schmauch von dem Serienteil 36%-38% Zinkoxid und 61% Kupferoxid beinhaltet, wobei bei dem Probeteil nur 18%-21% Zinkoxid, und 78%-81% Kupferoxid beinhaltet. Von dieser Untersuchung wurde gefasst, dass die Reduzierung der Menge des Zinkoxids-Anteil zur Verbesserung der Lackierbarkeit der Teile führt.

3.3.6 Untersuchung der Reinigung verschmutzter Oberflächen

Um der Schmutzbildung als Ursache zu bestätigen, wurde eine Erprobung durchgeführt, indem 200 Serienteile in eine Beisanlage vor der Lackierung geschickt, um die Teile chemisch von allen Verunreinigungen zu reinigen. Diese Erprobung wurde im Werk Hamburg durchgeführt.

Die Teile wurde beim Beizen/ chemische Reinigung 5x getaucht mit jeweils 180 Sekunde Verweilzeit.

Tabelle 9: Ergebnis Einsatz von Reinigung durch Beizen vor Lackierung

Beizen		GARDACID N 4480/1 (BULK) Fa. CHEMETALL		
Bauteilbezeichnung	MRA2 PMH-Bremspedal BR 206 LL			
Anzahl Versuch	Anzahl i.O	Anzahl N.i.O	Ausschuss	
200	200	0	0%	

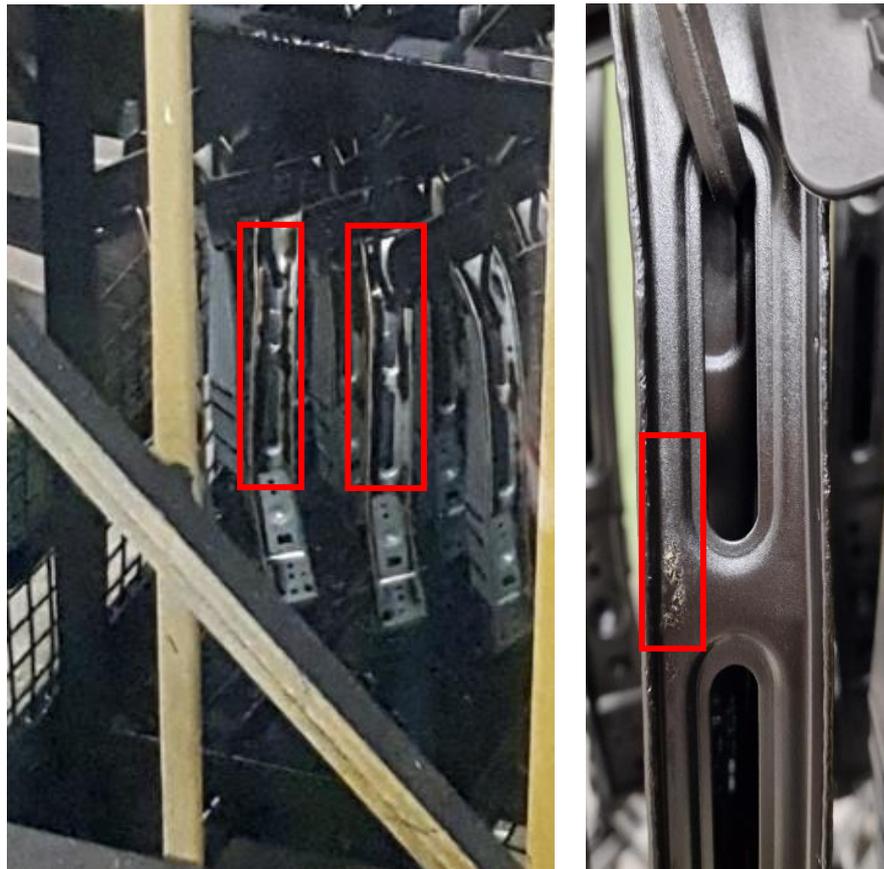


Abbildung 23: Gebeizte Pedale vor und nach der Lackierung

Wie in Abbildung 23 gezeigt. Nach dem Beizen waren alle Teile Schmutzfrei und mit dem Daten aus Tabelle 9 und Abbildung 23 wird bestätigt, dass durch das Reinigen der Schmutzbildung auf der Pedaloberfläche gar keine Auffälligkeit und Lackfahstelle gefunden wurde.

3.3.7 Nachweis der Abhängigkeit

Durch eine vor Ort Untersuchung wurde aufgezeigt, dass die Teile beim Lackieren nicht sauber sind, wie In Abbildung 24 dargestellt. Die Teile werden in eine Kasette eingehängt und in die Bäder eingetaucht. Außerdem werden die Teile vor dem Lackieren durch eine Reihe von Vorbehandlungsbädern, wie z.B. Entfettungsbäder, Phosphatierungsbäder und einige Spülbäder, getaucht. Durch diese vor Ort Untersuchung wurde aber gemerkt, dass die Vorbehandlung der Teile beim Lackiervorgang ungenügend ist, um die Teile von Verunreinigung zu befreien. Infolgedessen wird die Lackierbarkeit der Teile während des Lackiervorgangs beeinträchtigt. Wenn ein zusätzliches Verfahren, wie z. B. das Beizen, angewendet wird, ist es möglich, den Schmutz in einem ausreichenden Grad zu entfernen, um keine Lackfehlstelle zu verursachen.



*Abbildung 24: Zustand während der Lackierung in der KTL-Anlage (links);
Ergebnis nach Lackierung (rechts)*

3.3.8 Identifizierung der Ursachen

Durch Untersuchungen und Analysen wurde gezeigt, dass es eine direkte und indirekte Ursache für dieses Problem existiert. Als direkte Ursache wurde festgestellt, dass die Schmauchbildung beim Lötén Verschmutzungen auf der Pedaloberfläche verursacht, und die Reinigung während des Lackierprozesses nicht ausreichend ist, um diese zu entfernen. Diese Verschmutzungen führen zu einer Reduzierung der Lackierbarkeit der Pedale und verursachen dadurch Lackfehlstellen.

Die indirekte Ursache ist auf die Zinkbeschichtung an dem verzinkten Blech zurückzuführen. Durch die Untersuchungen wurden gezeigt, dass die derzeitige Temperatur des Lötprozesses bei ca. 1030-1040°C für das verzinkte Blech zu hoch ist, und als Folge bildet sich der Schmauch auf der Oberfläche des Pedals wegen der Verdampfung des Zinks. Für eine deutlicher Übersicht siehe Abbildung 25.

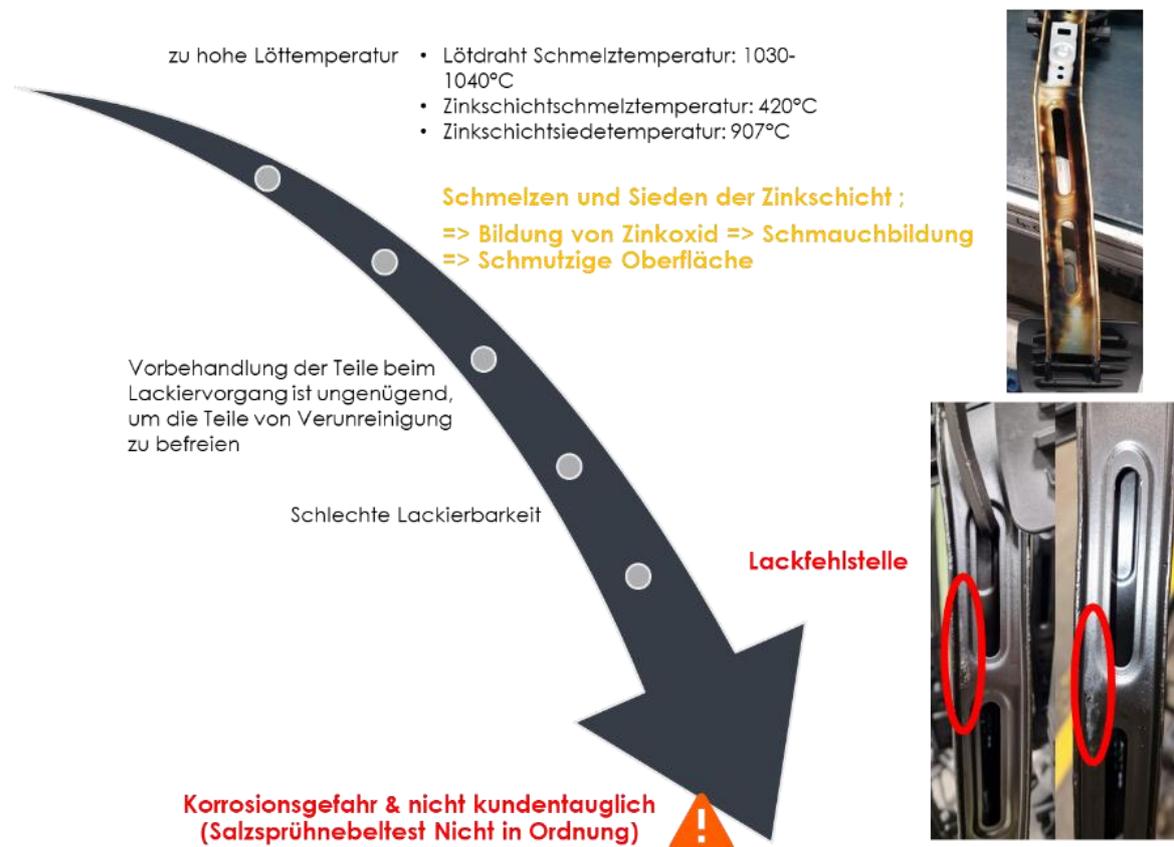


Abbildung 25: Übersicht Ursachen des Problems

4 Verbesserung und Realisierung

Nach der Identifizierung der Ursachen werden eine geeignete Lösung gesucht. In diesem Kapitel werden die Lösungsvorschläge gesammelt und bewertet, um die am besten geeignete Lösung zu ermitteln. Anschließend wird die ausgewählte Lösung entwickelt und konkretisiert.

4.1 Lösungsvorschläge

Bei der Identifizierung der Ursachen wurde es festgestellt, dass es zwei Ursachen gibt, die verantwortlich für die Lackfehlstellen sind. Es handelt sich dabei um die verschmutzte Oberfläche wegen der Schmauchbildung und die Eigenschaft des verzinkten Bleches, welches als Material für die Konstruktion verwendet wird. Als Lösung gibt es zwei Ansätze bzw. Maßnahmen, die ergriffen werden können. Die erste besteht darin, die Schmauchbildung zu vermeiden, und die Zweite ist, die Verschmutzungen durch den Schmauch vom Bauteil zu reinigen.

Durch Überlegungen mit Schweißexperte und Betriebsingenieure wurden einige möglichen Lösungsvorschläge gesammelt. Wie in Abbildung 26 angezeigt.

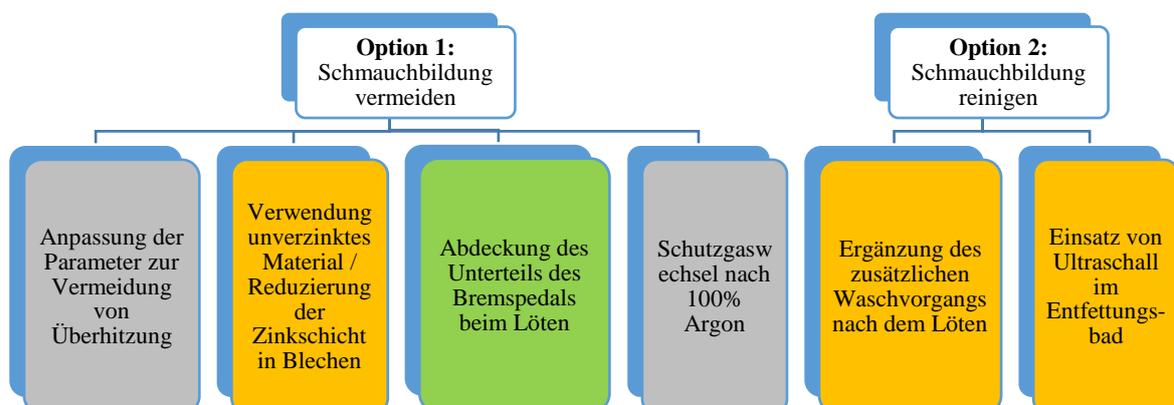


Abbildung 26: Lösungsvorschläge

Wie in Abbildung 26 dargestellt, es wurde mehrere Lösungsvorschläge gesammelt. Die Lösungen werden in zwei Kategorien und drei Farben eingeteilt. Grau bedeutet schlecht

umzusetzen, Orange hat die Bedeutung mittelschwierig/aufwendig umsetzbar, und Grün bedeutet einfach und sicher umzusetzen.

Um eine Lösung zu bestimmen, wurde eine Bewertung der Lösungsvorschläge durchgeführt. Durch den Gewinn von den Erprobungen wurden die möglichen Lösungen durch ihre Einsetzbarkeit und Wirksamkeit mit Skala von 1 bis 10 bewertet, wobei 1 das Schlechteste und 10 das Beste ist. Wie in Tabelle 10 gezeigt, hat die Lösung Anpassung der Parameter und Einsatz von Ultraschall keine Wirksamkeit, da eine Erprobung oder Einsetzen dieser Lösungen unmöglich sind, da diese die Qualität oder Prozess beeinflussen können. Außerdem wird von der Tabelle gemerkt, dass die Lösung Abdeckung des Unterteils beim Löten die höchste Gewichtung mit 60 Punkte hat und Ergänzung des zusätzlichen Waschvorgangs nach dem Löten in dem zweiten Platz mit 50 Punkte und Wirksamkeit 10 steht. Diese Lösung hat eine Wirksamkeit von 10, da diese durch die vorherige Untersuchung geprüft und bestätigt ist.

Tabelle 10: Bewertung der Lösungsvorschläge

Lösungsvorschlag	Einsetzbarkeit E	Wirksamkeit W	Gewichtung E x W	Bemerkung
Anpassung der Lötparameter zur Vermeidung von Überhitzung	1	-	-	nicht umsetzbar, da eine Änderung der Parameter zur Qualitätsänderung führt
Verwendung unverzinktes Material/ Reduzierung der Zinkschicht in Blechen	2	8	16	Änderung des Materials zur Qualitätsänderung führt
Abdeckung des Unterteils des Bremspedals beim Löten	8	8	64	Abdecken der Öffnungen verhindert Wirbelström von Schutzgas
Schutzgaswechsel nach 100% Argon	5	1	5	Versuch wurde durchgeführt. Kein Erfolg
Teile vor dem Löten richtig sauber halten	9	1	9	Versuch wurde durchgeführt. Kein Erfolg
Ergänzung des zusätzlichen Waschvorgangs nach dem Löten	5	10	50	eine manuelle Reinigung birgt ein gesundheitliches Risiko aufgrund des giftigen Zinkoxides
Einsatz von Ultraschall im Entfettungsbad	2	-	-	Die KTL-Anlage gehört zu anderer Abteilung, die auch für andere verschiedene Produkte zuständig. Eine Änderung des KTL-Prozess ist leider unmöglich

Als Lösung wird die Lösungsvorschlag Abdeckung des Unterteils des Bremspedals beim Lötten ausgewählt, da eine Ergänzung des zusätzlichen Waschvorgangs nach dem Lötten nicht so wünschenswert wäre. Ein zusätzlicher Waschvorgang würde die Gesamttaktzeit der Produktion verschlechtern und eine zusätzliche Investition für eine neue Waschanlage wäre erforderlich. Darüber hinaus wurde in der Untersuchung mit unverzinktem Blech festgestellt, dass die Verwendung von unverzinktem Blech das Problem zwar lösen kann, aber nicht als optimale Lösung angesehen wird, da ein Wechsel des Materials des Pedalunterteils die Qualität der Baureihe beeinträchtigt und zu einem langen und aufwändigen Änderungsprotokoll führen kann.

4.2 Konzeptentwicklung ausgewählter Lösung

In diesem Abschnitt wird das gewählte Lösungskonzept entwickelt und konkretisiert. Hier werden die Anforderungsliste, die Funktionsliste bzw. Funktionsstruktur, die Stollenmethode, die Nutzwertanalyse und die Materialauswahl dargestellt.

4.2.1 Anforderungsliste

Eine Anforderungsliste ist eine Liste relevanter Daten wie Anforderungen und Wünsche, die als Grundlage für jedes Projekt verwendet werden. Die Anforderungsliste kommt in der Regel vom Kunden oder Auftraggeber und wird im Prozess als Referenz oder Orientierung herangezogen. [19]

Tabelle 11 zeigt die Liste der Anforderungen für dieser Arbeit. Dieser stellt die konkreten Anforderungen und Wünsche für das Projekt dar und dient als Grundlage für die Entwicklung der Lösung.

In der Anforderungsliste gibt es zwei unterschiedliche Qualitäten an Bewertungsmöglichkeiten aufzupassen. Einerseits gibt es Anforderungen, die zwingend erfüllt werden müssen, um sicherzustellen, dass das Produkt seine Funktion erfüllt, und andererseits Wünsche, die optional sind. Wünsche werden auf einer Skala von 1 bis 4 bewertet, wobei 1 die geringste und 4 die höchste Bedeutung

Wie in Tabelle 11 hervorgeht, existieren vier Anforderungskategorien, nämlich Kinematik, Energie, Beanspruchung und Werkstoffe mit insgesamt neun Anforderungen, von denen sieben eine Forderung sind. Hier wird alle Funktionen in der Kategorie von Kinematik als Forderung genommen, und dazu die Abdeckung muss auch Temperatur aufnehmen kann. Darüber hinaus muss die Abdeckung eine gute Wärmeleitfähigkeit und Wärmebeständigkeit als Eigenschaft aufweisen.

Tabelle 11: Anforderungsliste

Hochschule für angewandte Wissenschaften Hamburg			Anforderungsliste Abdeckung des Unterteils des Bremspedals beim Lötén	Bachelorthesis - Methodische Analyse von Lackfehlstellen an Bremspedalen			
Department Maschinenbau und Produktion				Erstellt von: Hubert Sumarto			
Wunsch 1-4: Gering, Mittel, Wichtig, Sehr wichtig							
Nummer	Forderung	Wunsch 1-4	Anforderungen	Daten - Werte			Bemerkung
				Soll	Toleranz	Einheit	
F			Kinematik				
F01	X	4	Pedalunterteil ans Pedaloberteil drücken	-	+ -	MPa	
F02	X	4	Fixierung des Pedalunterteils ans Pedaloberteil	-	+ -	-	
F03	X	4	Oberfläche des Pedalunterteils schützen	-	+ -	-	Vermeidung der Ablagerung des Schmauchs
F04	X	4	Langlöcher an Pedalunterteil abdecken	-	+ -	-	Vermeidung der Wirbelströmung
T			Energie				
T01	X	3	Temperatur aufnehmen	-	+ -	°C	
T02		2	Temperatur einleiten	-	+ -	°C	
T03		1	Pedalunterteil abkühlen	-	+ -	°C	
B			Beanspruchung				
B01	X	4	Wärme	900	+ 100 - 100	°C	
M			Werkstoffe				
M01	X	3	gute Wärmeleitfähigkeit	100	+ ∞ - 20	W/(mK)	

Im Rahmen dieser Arbeit sind Funktionalität und Lebensdauer von großer Bedeutung. Dabei ist darauf zu achten, dass die Produktionsabläufe möglichst nicht beeinflusst werden. Daher ist eine kompakte und einfache Fertigung wünschenswert.

4.2.2 Funktionsliste/Funktionsstruktur

Die Funktionsliste dient dazu, die Hauptfunktionen und die zur Erreichung der Hauptfunktionen erforderlichen Unterfunktionen zu bestimmen. Nach der Festlegung der Hauptfunktionen werden diese auf einer weiteren Ebene detaillierter aufgeführt.

Tabelle 12: Funktionsliste der Abdeckung des Pedalunterteils beim Lötten

No.	Level	Name	Funktion
1	Grp	Pedalunterteil auf Oberteil fixieren	
1.1	Sub	Pedalunterteil drücken	Pedalunterteil an das Pedaloberteil drücken
1.2	Sub	Pedalunterteil halten	Pedalunterteil befestigen
2	Grp	Überhitzung vermeiden	
2.1	Sub	Wärme aufnehmen	Zieht Wärme aus dem Bauteil ab
2.2	Sub	Wärme einleiten	Wärme aufnehmen und gleichmäßig verteilen
2.2.1	Det	gute wärmeleitfähige Material	Schnelle Wärmeaufnahme, -leitung und -abgabe durch gute Wärmeleitfähigkeit
2.3	Sub	Bauteil abkühlen	Bauteilkühlung durch äußere Einflüsse
2.3.1	Det	Abkühlssystem	Absinken der Temperatur des Bauteils
3	Grp	Schmauchbildung vermeiden	
3.1	Sub	Oberfläche des Pedalunterteils abschirmen	Schützen des Pedalunterteils vor Ablagerung der Schmauchbildung
3.2	Sub	Langlöcher an Pedalunterteil abdecken	Löcher an dem Pedalunterteil verschließen, um Wirbelstrom des Schutzgasses zu vermeiden.

Als Hauptfunktionen wurden der Abdeckung Folgende zugewiesen. Pedalunterteil auf das Oberteil fixieren, Überhitzung vermeiden und Schmauchbildung vermeiden. Diese sind wiederum in Teilfunktionen aufgeteilt. So besteht unter anderem die Hauptfunktion „Pedalunterteil auf Oberteil fixieren“ aus den Teilfunktionen Pedalunterteil drücken und Pedalunterteil halten. Unter der Hauptfunktion Überhitzung vermeiden besteht Wärme aufnehmen, Wärme einleiten, und Bauteil abkühlen. Die Teilfunktion Wärme einleiten werden durch die Auswahl des Materials mit guter Wärmeleitfähigkeit erreicht und die Funktion Bauteil abkühlen werden durch einen Einsatz von Abkühlssystem gesehen. Anschließend unter der Hauptfunktion Schmauchbildung vermeiden wird in Oberfläche des Pedalunterteils abschirmen und Langlöcher an Pedalunterteil abdecken verteilt.

Die folgende Abbildung zeigt die Funktionsstruktur. Die Funktionsstruktur bildet noch einmal in einer grafischen Blockdarstellung die Gesamtfunktion der Abdeckung ab.

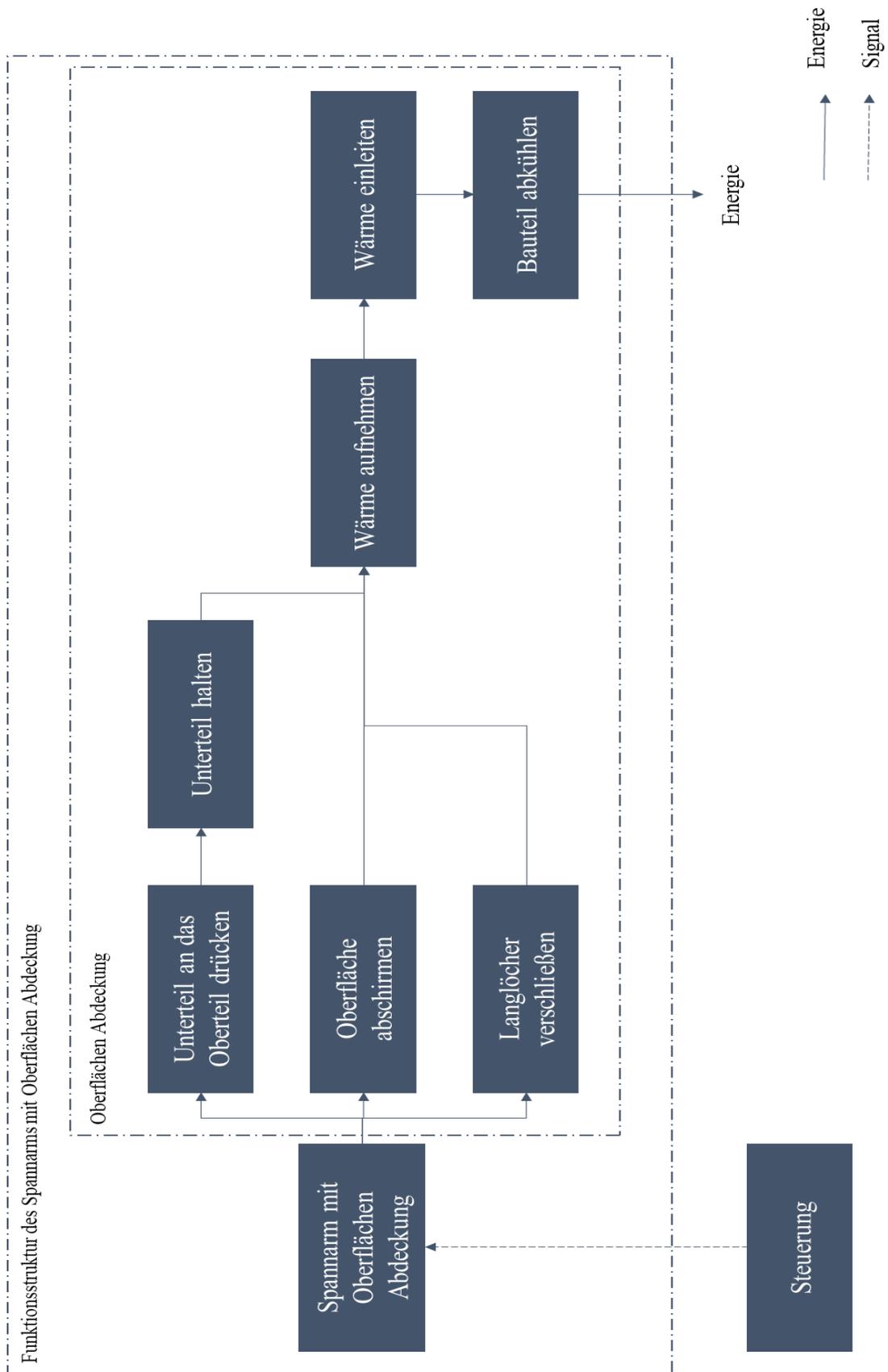


Abbildung 27: Funktionsstruktur der Abdeckung des Pedalunterteils

4.2.3 Galeriemethode

Die Galeriemethode ist eine Methode, die sich besonders für kleine Gruppen eignet. Im Rahmen eines Austauschs von Einzelarbeit und Gruppendiskussion werden Ideen in Form von Skizzen oder anderen grafischen Darstellungen entwickelt. Die Lösungen wurden zum Schluss präsentiert und auf ihre praktische Umsetzbarkeit geprüft, um die Vor- und Nachteile der verschiedenen Ideen zu ermitteln und die besten Ideen zu vertiefen. [20]

In einer Diskussionsrunde mit mehreren Ingenieuren wurden verschiedene Ideen vorgestellt und von verschiedenen Ideen und Konzepten wurden am Ende 2 Formen der Abdeckung als zielführend ausgewählt.

Die sind wie folgende:

1. Konzeptidee: Schmauchschirm

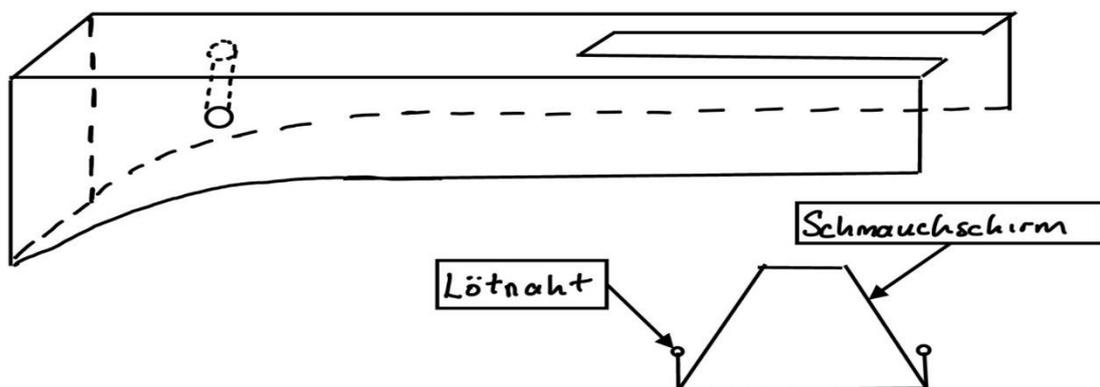


Abbildung 28: Konzept 1 Schmauchschirm

Bei Konzept 1 handelt es sich um einen Schmauchschirm. Mit einer Form von einem gekrümmten Trapez wird das Schirm auf dem Spannarm befestigt. Als der Spannarm das Unterteil aufdrückt wird das Schmauchschirm das Oberfläche des Unterteils abschließen. Der Schmauchschirm wird modular entwickelt, sodass es einfach zu montieren und abzumontieren. Das Prinzip ist das Unterteil als Ablageort von dem Schmauch zu vermeiden. Mit dem Schirm wird den Schmauch auf dem Schirm abgelagert und nicht auf dem Oberteil. Der Nachteil dieser Idee ist, dass der Schirm sehr nah an der Lötnaht sitzt, die zu einer kurzen Lebensdauer führen kann.

2. Konzeptidee: Spannarm mit Plattensegmenten

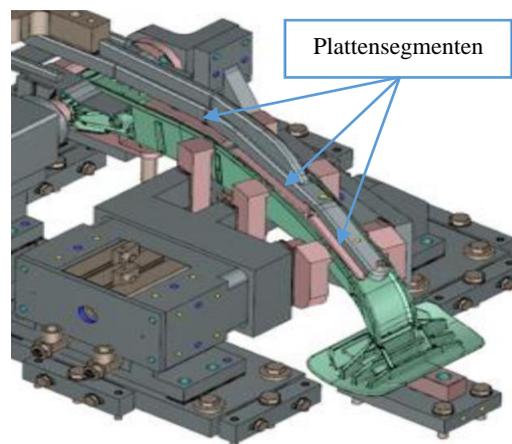


Abbildung 29: Konzept 2 Kupferabdeckung

Mit Konzept 2 handelt es sich um Plattensegmenten. Sie besteht aus 3 Platten, die auf dem Spannarm montiert werden. Diese Platten haben die Aufgaben, die Wärme beim Löten zu absorbieren, um eine Überhitzung des Pedalunterteils zu verhindern und somit die Schmauchbildung beim Löten zu reduzieren, die Langlöcher an dem Unterteil des Pedals zu verschließen, um eine Wirbelströmung zu vermeiden und die Pedaloberfläche abzudecken. Das Prinzip ist die Wärme des Bauteils zu reduzieren und die Oberfläche des Bauteils beim Löten zu schützen. Der Nachteil dieser Variante ist, dass eine einfache und schnelle Montage unmöglich ist, da es um einzelne Segmente handelt.

4.2.4 Nutzwertanalyse nach VDI2225

Eine Nutzwertanalyse ist ein Analyse- und Bewertungsverfahren, das bei komplexen Entscheidungssituationen eingesetzt werden kann. Sie dient sowohl für persönliches als auch für volkswirtschaftliche, betriebliche oder technische Entscheidungen. Ziel ist Entscheidungen zwischen verschiedenen Handlungsoptionen zu treffen.

Unterschiedliche Handlungsoptionen werden durch die Gewichtungskriterien verglichen, um einen sinnvollen Überblick zu erzeugen und ein bestmögliches und detailliertes Ergebnis zu erstellen. [16]

1. Kriterien vergleichen: In Tabelle 13 werden die Kriterien und ihre Bedeutung für die Bewertung der Lösungsgruppen, wie sie in Galeriemethode definiert sind, festgelegt. Die Kriterien können in die Kategorien 'Technisch (T)' und 'Wirtschaftlich (E)' eingeteilt werden, um die Stärken und Schwächen von Lösung besser zu erkennen. Diese wurde nach der Anforderungsliste bearbeitet und in einer Gruppe bewertet.

Tabelle 13: Nutzwertanalyse-Kriterien

No.	Kriterien	Kriteriendefinition	T/E
C1	Bauraum	Keine Kollision während des Lötprozesses	Tech
C2	Wartung	leichte Zugänglichkeit für Reinigung	Tech
C3	Wärmeableitung	Aufgenommene Wärme in der Abdeckung dissipieren	Tech
C4	Wärmeaufnahme	Lötprozesswärme in die neue Abdeckung	Tech
C5	Oberfläche abschirmen	Pedalunterteil vom Schmauch abschirmen	Tech
C6	Langlöcher abdecken	siehe C5,: gezielt Langlöcher abschirmen	Tech
C7	Abkühlung	Abkühlung des Bauteils durch äußeren Einfluss	Tech
C8	Kosten	Produktionskosten der Abdeckung	Econ
C9	Instandhaltung	Möglichkeit um die Abdeckung mit Neuen zu ersetzen	Econ
C10	Lebensdauer	Dauerfestigkeit der Abdeckung gewünscht	Econ

Tabelle 14: Nutzwertanalyse Ranggewichtung

Ranggewichtung																				T	E	G	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20				
	1	1	1	0	0	1	0	0	1											5	0,11		0,11
0		1	1	0	0	1	0	1	1											5	0,11		0,11
0	0		1	0	0	0	0	1	1											3	0,07		0,07
0	0	0		0	0	1	0	0	0											1	0,02		0,02
1	1	1	1		1	1	1	1	1											9	0,20		0,20
1	1	1	1	0		1	1	1	1											8	0,18		0,18
0	0	1	0	0	0		0	1	0											2	0,04		0,04
1	1	1	1	0	0	1		1	1											7		0,16	0,16
1	0	0	1	0	0	0	0		0											2		0,04	0,04
0	0	0	1	0	0	1	0	1												3		0,07	0,07

In der Tabelle 14 wird die Methode der Ranggewichtung dargestellt. Die Methode der Ranggewichtung basiert auf einem paarweisen Vergleich der Kriterien, um ihre relative Wichtigkeit zu bewerten. (In diesem Fall sind 1 bis 10 die entsprechenden Lösungsgruppen C1 bis C10). Eine '1' in einer Zelle bedeutet, dass das Kriterium in der Zeile wichtiger ist als in der Spalte, und eine '0' umgekehrt. Die relative Wichtigkeit eines Kriteriums ergibt sich aus seinen Einzelpunkten geteilt durch die Gesamtpunktzahl. Von der Gewichtung wurde dann festgenommen, welche Kriterien wichtig und welche nicht so bedeutend sind.

Tabelle 15: Nutzwertanalyse Kriterien-Freihandgewichtung

Freihandgewichtung											
HS	TK	CE				Sum	Number	S/N	T	E	G
3	4	3				10	3	3,33	0,17		0,11
3	4	3				10	3	3,33	0,17		0,11
3	2	2				7	3	2,33	0,12		0,08
3	2	1				6	3	2,00	0,10		0,07
4	4	4				12	3	4,00	0,20		0,13
3	4	3				10	3	3,33	0,17		0,11
1	2	1				4	3	1,33	0,07		0,04
4	4	4				12	3	4,00		0,39	0,13
2	4	3				9	3	3,00		0,29	0,10
4	3	3				10	3	3,33		0,32	0,11

Die Tabelle 15 zeigt, die Methode der Freihandgewichtung basiert auf den Kriterien von C1 bis C10 durch die Teammitglieder. Eine '4' bedeutet, dass ein Kriterium sehr wichtig ist, eine '0', dass es unwichtig ist. Die relative Wichtigkeit ergibt sich aus seiner Summe geteilt durch die Anzahl der Person und die Gesamtpunktzahl von Summe durch Nummer (S/N).

2. Rang der Varianten: In der Tabelle 16 wird eine Rangfolge der verbleibenden Lösungssätze aufgestellt, indem der Erfüllungsgrad der Bewertungskriterien bewertet wird. Eine "1" bedeutet, dass ein Lösungssatz ein bestimmtes Kriterium am besten erfüllt, eine "5", dass er es kaum erfüllt.

Tabelle 16: Nutzwertanalyse Rangliste und Erfüllungsgrad der Kriterien

		Rang	2	1
		Sum 1.	2	6
		Sum 2.	3	2
No.	Kriterien	T/E	Variante 1	Variante 2
C1	Bauraum	Tech	4	1
C2	Wartung	Tech	3	3
C3	Wärmeableitung	Tech	2	1
C4	Wärmeaufnahme	Tech	3	1
C5	Oberfläche abschirmen	Tech	1	2
C6	Langlöcher abdecken	Tech	1	1
C7	Abkühlung	Tech	2	2
C8	Kosten	Econ	2	3
C9	Instandhaltung	Econ	3	1
C10	Lebensdauer	Econ	3	1

3. Wertanalyse: In der Tabelle 17 wird sowohl eine generische als auch eine VDI2225-basierte Wertanalyse durchgeführt. Diese Analyse wird in Abhängigkeit mit der Gewichtungswerte von der Ranggewichtung in Tabelle 14 durchgeführt.

Für jedes Kriterium wird der Erfüllungsgrad auf einer Skala von 1 bis 10 eingeben, wobei eine "1" eine schlechte Erfüllung und eine "10" die bestmögliche Erfüllung bedeutet. Die Erfüllungsgrade werden mit der Ranggewichtung multipliziert, um einen Vergleich zwischen die Varianten zu sehen. Außerdem wird die Summe der Gewichtung von technischen und wirtschaftlichen Aspekten nach VDI2225 in einer Note von 0 bis 4 umgerechnet und getrennt, um eine bessere Übersicht zu erhalten. Wobei je größer die Note ist, desto besser. Die Summe wird dann im Rang verglichen und die bessere Option wird hervorgehoben. (Sowie unten in Tabelle 17 dargestellt).

Tabelle 17: Wertanalyse nach VDI2225

Evaluation Schema		Gesamtrangliste	
VDI (0-4)		2	1
		Value / Sum	
		1,79	2,04
		7,16	8,18
		2	1
		Value / Sum	
		1,85	1,88
		1,98	2,00
		2	1
		Value / Sum	
		1,77	2,11
		5,18	6,18

No.	Kriterien	T/E	Ranggewichtung	Variante 1		Variante 2	
C1	Bauraum	Tech	0,11	4	0,444	10	1,111
C2	Wartung	Tech	0,11	8	0,889	8	0,889
C3	Wärmeableitung	Tech	0,07	6	0,400	8	0,533
C4	Wärmeaufnahme	Tech	0,02	6	0,133	8	0,178
C5	Oberfläche abschirmen	Tech	0,20	9	1,800	8	1,600
C6	Langlöcher abdecken	Tech	0,18	8	1,422	10	1,778
C7	Abkühlung	Tech	0,04	2	0,089	2	0,089
C8	Kosten	Econ	0,16	9	1,400	7	1,089
C9	Instandhaltung	Econ	0,04	7	0,311	7	0,311
C10	Lebensdauer	Econ	0,07	4	0,267	9	0,600

In diesem Fall ist die Variante zwei mit der Gesamtnote von 2,04 eine Option, die sowohl aus technischer Sicht mit Note 2,11 als auch wirtschaftlicher Sicht mit Note 1,88 die Kriterien besser erfüllen kann. An den Noten ist zu erkennen, dass wirtschaftlich die beiden Varianten mit einer Note von 1,85 und 1,88 einen minimalen Unterschied aufweisen. Die Variante zwei hebt sich allerdings bei den technischen Aspekten erheblich ab. Besonders im Bauraum hat die Variante zwei eine deutlich bessere Wertung mit einer 10 im Vergleich zu 4 in der Variante eins. Außerdem besteht Variante zwei aus Platten, die an dem Spannarm

montiert werden können. Diese macht die Variante zwei sehr modular und klein. Darüber hinaus hat Variante eins eine schlechte Lebensdauer, da diese nah an der Lötnaht sitzt. Dies führt zu einer größeren Wärmebeanspruchung und Lötspitzer Ablagerungen, die nach einer langen Zeit den Lötprozess beeinflussen können.

4.2.5 Materialauswahl

Tabelle 18: Materialauswahl

No.	Material	Wärmeleitfähigkeit [W/m·K]	Kosten [€/Kg]	Technisch	Ökonomisch	Summe
1	Aluminium	200 - 240	1 - 2,5	5	7	12
2	Stahl	42 - 58	1,5 - 3	2	7	9
3	Kupfer	380 - 400	6 - 9	10	5	15
4	Messing	120	5 - 7	4	7	11

Um die Funktion Wärme einleiten zu erfüllen, spielt das Material der Abdeckung eine signifikante Rolle. Für die Auswahl wurde vier sinnvolle Materialien in Betrachtung gekommen, die eine gute Wärmeleitfähigkeit haben. Die bestehen aus Aluminium, Stahl, Kupfer und Messing. Eine Bewertung wurde anhand der Wärmeleitfähigkeit und des Kostens gemacht, wobei eine "1" eine schlechte Erfüllung und eine "10" die bestmögliche Erfüllung bedeutet, sowie in Tabelle 18 dargestellt. Von der Bewertung wurde festgestellt, dass Kupfer als Material am besten geeignet ist, weil Kupfer eine Wärmeleitfähigkeit von 380 bis $400 \frac{W}{m \cdot K}$ hat, wobei Aluminium in zweiten Platz mit $200-240 \frac{W}{m \cdot K}$ steht. Obwohl die Kosten von Kupfer im Vergleich zu Aluminium mehr als doppelt so hoch sind, ist die Wärmeleitfähigkeit von Kupfer auch fast doppelt so hoch. Aus diesem Grund wurde Kupfer im Einsatz entschieden, da effiziente Wärmeaufnahme und Wärmeableitung eine wichtige Forderung für die Abdeckung ist.

5 Anwendung und Überprüfung in den Serienprozess

Dieses Kapitel besteht aus der Präzisierung, Umsetzung und Überprüfung der ausgewählten Lösung im Serienprozess.

5.1 Präzisierung und Anwendung von Lösungsvorschlag

Nach dem Auswahlverfahren wird sich für die Abdeckung aus Kupfer als Lösung entschieden. Die Kupferabdeckung wird aus drei Kupferplatten hergestellt und an den Spannarm montiert. Die Abdeckung dient dafür die Ablagerung des Schmauchs auf der Oberfläche zu vermeiden, indem die Oberfläche des Bremspedals beim Lötens abdeckt. Außerdem zieht die Kupferabdeckung Wärme aus dem Bauteil während des Lötens, sodass eine Überhitzung der Bauteile vermieden werden kann.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden vier Prototypen der Kupferabdeckung hergestellt, um die Wirksamkeit zu erproben. Insgesamt wurde zwei Untersuchungen durchgeführt. Für die erste Erprobung wurde 4 Teile unter Anwendung von der Kupferabdeckung produziert und anschließend wurde weitere 16 Teile an anderem Tag produziert. Von den Untersuchungen wurde kein Ausschuss festgestellt.

Tabelle 19: Ergebnis Anwendung Kupferabdeckung während des Lötens

Bauteilbezeichnung	MRA2 PMH-Bremspedal BR 206 LL			
	Anzahl Versuch	I.O Teile	N.i.O Teile	Ausschuss
	4	4	0	0%
	16	16	0	0%

Durch die Untersuchung mit der Kupferabdeckung wurde festgestellt, dass durch die Verwendung der Kupferabdeckung die Schmauchbildung auf der Oberfläche des Pedals reduziert werden kann. Wie in Abbildung 30 zu sehen, ist es ersichtlich, dass das Bremspedal mit Abdeckung während des Lötens einen deutlicheren Unterschied zum normalen Serienteil aufweist, obwohl die Probeteile gleichzeitig mit den Serienteilen in der gleichen Anlage produziert wurden. In dem Bereich, in dem die Kupferabdeckung eingelegt wurde, weist

wenig Schmauchbildung auf, im Vergleich dazu wurde beim Serienteil eine starke Schmauchbildung gefunden.

Die Teile wurden danach zur KTL-Anlage geschickt und nach der Lackierung wurden keine „nicht in Ordnung“ Teile gefunden. Von den zwei Versuchen wiesen alle 20 Teile, die mit Kupferabdeckung durchgefahren sind, keine Auffälligkeiten auf. Diese zeigt, dass durch die Reduzierung der Schmauchbildung, die Lackierbarkeit der Teile signifikant gesteigert wurde, die zur Lösung der Lackfehlstellen bzw. des Problems führt.



Abbildung 30: Vergleich Schmauchbildung; mit Abdeckung (links) ohne Abdeckung/Serienteil (rechts)



Abbildung 31: Ergebnis Teile mit Abdeckung während des Lötens nach der Lackierung

5.2 Umgesetzte Lösung

Als Ergebnis dieser Arbeit wurden 16 Kupferabdeckung für die Lötvorrichtungen von der Lieferanten Firma Robolution GmbH bestellt. Die Bestellung besteht aus 16 Stück Spannarm für Linkslenkerpedale und 16 Stück Spannarm für Rechtslenkerpedale mit je 3 Kupferplatten (Insgesamt 96 Stück Kupferplatte). Firma Robolution GmbH ist eine Firma, die sich mit Automatisierung der Robotersysteme in Schweißsysteme, Schweißvorrichtungen, Roboterintegration und Prozessautomatisierung beschäftigt. [23] Darüber hinaus ist Robolution auch das Unternehmen, das die vorhandene Schweißstation und die Lötvorrichtung gebaut und konstruiert hat.

Wegen einer Verzögerung der Lieferzeit befindet sich die voraussichtliche Lieferzeit der Abdeckung am Kalenderwoche 27/28 2023.

5.3 Ausblick für die Überprüfung der Lösung in Serienprozess

Aufgrund der kurzen Bearbeitungszeit (nur 3 Monate) und eine Verzögerung der Lieferzeit von den bestellten Abdeckungen wurde eine Überprüfung der Lösung in dem Serienprozess nicht rechtzeitig erfolgen.

Wenn die bestellten Kupferabdeckungen kommen, soll die neuen Spannarme mit den Kupferplatten in alle Vorrichtungen verbaut werden. Danach soll eine Überprüfung der Qualitätstand durchgeführt werden, um zu überprüfen, ob es einen negativen Einfluss auf den Lötprozess gibt. Dazu soll eine Maßhaltigkeitsprüfung eingesetzt werden. Hier werden, wie zum Beispiel die Lötnahtqualität und den Verzug der Pedalplatte betrachtet. Anschließend soll eine Aktualisierung der Lötvorrichtungszeichnung erledigt werden.

5.4 Gelieferte Ergebnisse (Lieferschein)

Tabelle 20: Lieferschein zur Aufgabenstellung

Lieferschein zur Aufgabenstellung

Literaturrecherche und -analyse	Kap. 2
Vorbereitung und Anwendung von Sechs-Sigma-Methode	Kap. 3.1
Systemanalyse und Klärung von Rahmenbedingungen	Kap. 3.2
Konzeptentwicklung mehrerer Lösungsansätze	Kap. 4.1 - 4.2
Präzisierung und Anwendung von Lösungsvorschlägen	Kap. 5.1
Überprüfung der eingeführten Lösungsvorschläge in den Serienprozess	Kap. 5.3 (teilweise noch offen)

Aufgrund von Lieferverzögerungen bei den bestellten Kupferabdeckungen kam es zu einer Planabweichung. Aus diesem Grund konnte der Schwerpunkt „Überprüfung der im Serienprozess eingeführten Lösungen“ nicht rechtzeitig bearbeitet werden.

6 Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit wurde die Analyse von Lackfehlstellen an Bremspedalen im Mercedes-Benz Werk Hamburg mit Hilfe der 6-Sigma-Methode durchgeführt. Ziel dieser Arbeit ist es, die Lackfehlstellen methodisch und strukturiert zu analysieren und zu beseitigen.

Die Bearbeitung dieser Arbeit folgte der Sechs-Sigma-Methode. Bei dieser Methode handelt es sich um eine Methode von Mercedes-Benz für Optimierung von Produktionsprozessen und Produktqualität. Als erstes wurde eine Untersuchung bzw. Messung des aktuellen Systems des Bremspedalproduktionsprozesses durchgeführt. Hierbei wurden das Messsystem und die Prozessfähigkeit analysiert und bewertet. Nach der genauen Messung und Betrachtungen des Problems folgte eine Analyse der möglichen Ursachen. Bei der Analyse stellte sich heraus, dass es sowohl eine direkte als auch indirekte Ursache gibt. Als direkte Ursache wurde festgestellt, dass die Schmauchbildung beim Lötens zu Verschmutzungen auf der Pedaloberfläche führt, und die Reinigung während des Lackierprozesses ist nicht ausreichend diese Verschmutzungen zu entfernen. Dies führt zu einer Reduzierung der Lackierbarkeit der Pedale, die die Lackfehlstellen verursacht haben. Außerdem wurde auch die indirekte Ursache bestätigt, dass die Zinkschicht auf den Blechen durch die Verdampfung des Zinks die Schmauchbildung verursacht, die zu der Verschmutzung der Oberfläche führt. Mit diesen Erkenntnissen wurde der nächste Schritt, die Verbesserungsphase angefangen. In der Verbesserungsphase wurden mehrere Lösungsvorschläge und Ansätze zusammen mit Schweißexperte und Betriebsingenieure gesammelt und analysiert. Als Ergebnis der Diskussionen und Analysen wurde schließlich eine Abdeckung des Pedalunterteils während des Lötens als Lösung ausgewählt.

Durch die Erprobung mit der Kupferabdeckung wurde bestätigt, dass durch deren Einsatz die Schmauchbildung verringert werden kann. Dies führt zu einer Verbesserung der Lackierfähigkeit der Bauteile und eliminiert den Ausschuss aufgrund von Lackfehlstellen.

Als Fazit kann es festgehalten werden, dass das Ziel dieser Arbeit erreicht wurde. Das Lösungskonzept mit der Kupferabdeckung gewährleistet nach dem Lötprozess einen optimalen Zustand (keine Schmauchablagerungen) des Pedals für den nachfolgenden KTL-Prozess und Ausschuss durch die Lackfehlstellen ist daher ausgeschlossen.

Quellenverzeichnis

Buchquellen:

- Burstyn, W.: Das Löten, Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH, Berlin, 1927
- Cicek, V; Al-Numan, B.: Corrosion Engineering and Cathodic Protection Handbook, John Wiley & Sons, Inc, New Jersey, 2017
- Fahrendwadt, H.J.; Schuler, V.: Praxiswissen Schweißtechnik. Vieweg & Sohn Verlag, Wiesbaden, 2003 [09]
- Horstmann, D.: Der Einfluß des Blechwerkstoffes und der Verzinkungsbedingungen auf die Eigenschaften verzinkter Bleche und Bänder. Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, Wiesbaden, 1965
- John, A.; Meran, R.; Roenpage, O.; Staudter, C.: Six Sigma+Lean Toolset. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008
- Kaufmann, Uwe.: Praxisbuch Lean Six Sigma. Carl Hanser Verlag, München, 2012
- Pakdil, F.: Six Sigma for Students. Springer Nature Switzerland AG, die Schweiz, 2020
- Töpfer, A.: Six Sigma Konzeption und Erfolgsbeispiele für praktizierte Null-Fehler-Qualität. Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH, Heidelberg, 2004

Internetquellen:

- Alphadi Deutschland GmbH.: Lean Six Sigma. „<https://alphadi.de/lean-six-sigma/>“, Abruf am 20.03.2023 [04]
- Carl-Arnold Brill GmbH.: MSG Löten.
„<https://www.schweisshelden.de/fachwissen/schweissen-loeten-fuegen/msg-loeten#:~:text=Hinter%20dem%20Begriff%20MIG%2DL%C3%B6ten,eine%20Hartl%C3%B6tverbindung%20der%20Werkst%C3%BCcke%20hergestellt>“,
Abruf am 26.04.2023 [10]
- Chemie.de.: Zink. „<https://www.chemie.de/lexikon/Zink.html>“,
Abruf am 21.04.2023 [06]

Ffe-München.: Was ist eine Nutzwert-Analyse.

„<https://www.ffe.de/veroeffentlichungen/was-ist-eine-nutzwert-analyse/>“,

Abruf am 02.05.2023. [16]

Glinde, Holger.: Verzinken ist nicht gleich Verzinken.

„<https://www.feuerverzinken.com/korrosionsschutz/feuerverzinken/>“,

Abruf am 21.04.2023 [07]

Henkel, George.: Weg mit Schmauch und Schlacke.

„<https://prozesstechnik.industrie.de/chemie/weg-mit-schmauch-und-schlacke/#:~:text=Der%20Vorgang%20der%20als%20MnO2,partikulärer%20Form%20als%20Schmauch%20ab.>“,

Abruf am 21.05.2023 [22]

Jäger, Oliver.: Kathodische Tauchlackierung. „<https://www.aalberts-st.com/de/verfahren/kathodische-tauchlackierung-ktl/>“,

Abruf am 26.04.2023. [11]

Kapust, Andre.: Messsystemanalyse.

„<https://www.quality.de/lexikon/messsystemanalyse/#Messsystemanalyse>“,

Abruf am 04.05.2023. [17]

Kluthe, Martin; Kluthe, Robert.: Die Elektrotauchlackierung.

„<https://kluthe.com/magazin/die-elektrotauchlackierung/>“,

Abruf am 26.04.2023. [15]

Knecht, Stefan.: Kathodische Tauchlackierung.

„https://www.chemie.de/lexikon/Kathodische_Tauchlackierung.html“,

Abruf am 26.04.2023. [13]

Molitor, Ullrich.: Eigenschaften und Weiterbehandlung von verzinkten Flächen.

„<http://www.beschichtungsinspektor.eu/eigenschaften-und-weiterbehandlung-von-verzinkten-flaechen/>“,

Abruf am 21.04.2023 [05]

Molitor, Ullrich.: Ursachen von Beschichtungsschäden.

„<http://www.beschichtungsinspektor.eu/ursachen-von-beschichtungsschaeden/>“,

Abruf am 26.04.2023

Müller, Gerhard.: KTL Anlage Prozessablauf. „<https://www.ktl-mhk.de/anlage/>“,

Abruf am 26.04.2023. [14]

Netz Konstrukteur.: Anforderungsliste/Lastenheft.

„<https://netzkonstrukteur.de/konstruktionsmethodik/anforderungsliste/>“,

Abruf am 09.05.2023. [19]

Niemsch, Luise.: Mercedes-Benz startet Kommunikationsoffensive: Das Beste oder nichts.

„<https://group-media.mercedes-benz.com/marsMediaSite/de/instance/ko/Mercedes-Benz-startet-Kommunikationsoffensive-Das-Beste-oder-nichts.xhtml?oid=9907951>“,

Abruf am 20.03.2023 [01]

O.Verf.: Tagesaktuelle Schrottpreise vom 16.05.2023.

„<https://www.schrott24.de/schrottpreise/>“, Abruf am 16.05.2023. [21]

O.Verf.: Über Robolution GmbH. „https://www.robolution.de/ueber-uns_de/“,

Abruf am 17.05.2023 [23]

refa.de.: Six Sigma. „<https://refa.de/service/refa-lexikon/six-sigma>“,

Abruf am 20.03.2023 [02]

Richter Formteile GmbH.: Verzinken: Das Verzinkungsverfahren.

„<https://www.richterformteile.com/ratgeber/glossar/verzinken/>“,

Abruf am 21.04.2023 [08]

Stanetzki, Jan.: Galeriemethode.

„https://www.unternehmerlexikon.de/galeriemethode/?utm_content=cmp-true“,

Abruf am 09.05.20. [20]

Schnurr, Roland.: Prozessfähigkeit und Maschinenfähigkeit – Cpk Wert – Cmk Wert.

„<https://www.sixsigmablackbelt.de/prozessfaehigkeit-und-maschinenfaehigkeit/>“,

Abruf am 04.05.2023. [18]

Schroer, Kevin.: Six Sigma. „<https://www.bwl-lexikon.de/wiki/six-sigma/#der-six-sigma-zyklus>“, Abruf am 20.03.2023 [03]

Wagner, Peter.: Beschichtungsaufbau und Serienlackierung.

„<https://www.lawag.ch/beschichtungsaufbau-serienlackierung/>“,

Abruf am 26.04.2023. [12]

Anhang

Internal

4Q-Maßnahmenblatt

Titel: Teile vor dem Löten reinigen		Status: ●	Ersteller: H. S. Verantwortlicher/FAV: P. W.	Bereich: PT/KH Bereich: PT/KH
Erledigt am:				
1. Fehlerbeschreibung, negative Wirkung Teile von Presswerk kommt manchmal ölig Nach dem Lötvorgang des Pedals befindet sich viele Schmutzbildung auf den Oberflächen des Pedals.		2. Zahlen, Daten, Fakten → Draht: CuAl8 → Schutzgas: Ar-97,5% CO2-2,5% → Material: verzinktes E380		
4. Sofort Maßnahmen Chemische Reinigung der Bauteile vor dem Löten Langfr. Maßnahmen Vorgabe zur Sauberkeit		3. Ursache Ölige Teile können schwarze Schmutzbildung verursachen		
 Problem beschr.	 Ursache analysiert	 Maßnahme eingeleitet	 Maßnahme umgesetzt	 Wirksamkeit geprüft

Mercedes-Benz

Internal

4Q-Maßnahmenblatt

Titel: Wechsel des Schutzgases		Status: ●	Ersteller: H. S. Verantwortlicher/FAV: P. W.	Bereich: PT/KH Bereich: PT/KH
Erledigt am:				
1. Fehlerbeschreibung, negative Wirkung CO2 Anteil in dem Schutzgas kann mit dem Aluminiumanteil in dem Lötendraht reagieren und Schmutz bilden		2. Zahlen, Daten, Fakten → Draht: CuAl8 → Schutzgas: Ar-97,5% CO2-2,5% → Material: verzinktes E380		
4. Sofort Maßnahmen Schutzgas nach 100% Argon wechseln Langfr. Maßnahmen Prüfung der Löttahtfestigkeit erforderlich		3. Ursache CuAl8 beinhaltet 8% Aluminium und gehört zu MIG-Löten. CO2 ist ein aktives Gas und kann mit Aluminium reagieren.		
 Problem beschr.	 Ursache analysiert	 Maßnahme eingeleitet	 Maßnahme umgesetzt	 Wirksamkeit geprüft

Mercedes-Benz

4Q-Maßnahmenblatt



Abbildung : Pedale nach dem Löten mit gestrahltem Unterteil

Mercedes-Benz

Titel: Entzinkung des verzinkten Pedalunterteils durch Sandstrahlen		Status: 	Ersteller: H. S. Bereich: PT/KH Verantwortlicher/FAV: T. W. Bereich: PT/KH
		Erledigt am:	
1. Fehlerbeschreibung, negative Wirkung Nach dem Lötvorgang des Pedals befindet sich Schmauchbildung auf den Oberflächen des Pedals, welcher zu einer schlechten Lackierung führt.		2. Zahlen, Daten, Fakten → Draht: CuAl8 (MIG), Schutzgas: Ar-97,5% CO2-2,5% → Volumenström von 10L/min → Schmelztemperatur von Zink bei 419°C → Siedetemperatur von Zink bei 906°C → Aktuelle Löttemperatur >900 °C → Material: verzinktes E380	
4. Sofort Maßnahmen Strahlen der Pedalunterteil durch Sandstrahlen		3. Ursache Das in dem verzinkten Blech enthaltene Zink schmilzt und siedet aufgrund der hohen Temperatur und bildet sich Zinkoxid	
Langfr. Maßnahmen Verzinktes Blech vermeiden oder Zinkanteil verringern			
Problem beschr.		Ursache analysiert	
		Maßnahme eingeleitet	
		Maßnahme umgesetzt	
		Wirksamkeit geprüft	

4Q-Maßnahmenblatt



Abbildung : Pedale nach dem Löten mit sandgestrahlte Unter- und Oberteil

Mercedes-Benz

Titel: Entzinkung des verzinkten Pedalunterteil und Pedaloberteil durch Sandstrahlen		Status: 	Ersteller: H. S. Bereich: PT/KH Verantwortlicher/FAV: T. W. Bereich: PT/KH
		Erledigt am:	
1. Fehlerbeschreibung, negative Wirkung Nach dem Lötvorgang des Pedals befindet sich Schmauchbildung auf den Oberflächen des Pedals, welcher zu einer schlechten Lackierung führt.		2. Zahlen, Daten, Fakten → Draht: CuAl8 (MIG), Schutzgas: Ar-97,5% CO2-2,5% → Volumenström von 10L/min → Schmelztemperatur von Zink bei 419°C → Siedetemperatur von Zink bei 906°C → Aktuelle Temperatur >900 °C → Material: verzinktes E380	
4. Sofort Maßnahmen Strahlen der Pedalunterteil und Pedaloberteil durch Sandstrahlen		3. Ursache Das in dem verzinkten Blech enthaltene Zink schmilzt und siedet aufgrund der hohen Temperatur und bildet sich Zinkoxid	
Langfr. Maßnahmen Verzinktes Blech vermeiden oder Zinkanteil verringern			
Problem beschr.		Ursache analysiert	
		Maßnahme eingeleitet	
		Maßnahme umgesetzt	
		Wirksamkeit geprüft	

4Q-Maßnahmenblatt

Titel: Verwendung unverzinktes Pedalunterteil		Status: ●		Ersteller: H. S.	Bereich: PT/KH
				Verantwortlicher/FAV: T. W.	Bereich: PT/KH
				Erledigt am:	

	1. Fehlerbeschreibung, negative Wirkung Nach dem Lötvorgang des Pedals befindet sich Schmauchbildung auf den Oberflächen des Pedals, welcher zu einer schlechten Lackierung führt.	2. Zahlen, Daten, Fakten → Draht: CuAl8 (MIG), Schutzgas: Ar-97,5% CO2-2,5% → Volumenstrom von 10L/min → Schmelztemperatur von Zink bei 419°C → Siedetemperatur von Zink bei 906°C → Aktuelle Temperatur >900°C → Material: verzinktes E380
	4. Sofort Maßnahmen Unverzinkter Pedalunterteil anwenden Langfr. Maßnahmen Untersuchung der Korrosionsbeständigkeit benötigt.	3. Ursache Das in dem verzinkten Blech enthaltene Zink schmilzt und siedet aufgrund der hohen Temperatur und bildet sich Zinkoxid

Abbildung: Pedale mit unverzinktem Unterteil vor der Lackierung und nach der Lackierung







Mercedes-Benz

4Q-Maßnahmenblatt

Titel: zusätzliche Reinigung durch Beizen nach dem Lötén		Status: ●		Ersteller: H. S.	Bereich: PT/KH
				Verantwortlicher/FAV: P. W.	Bereich: PT/KH
				Erledigt am:	

	1. Fehlerbeschreibung, negative Wirkung Nach dem Lötvorgang des Pedals befindet sich Schmauchbildung auf den Oberflächen des Pedals, welcher zu einer schlechten Lackierung führt.	2. Zahlen, Daten, Fakten → Draht: CuAl8 → Schutzgas: Ar-97,5% CO2-2,5% → Beizen kann den Kunststoff beschädigen → Zinkoxid ist giftig → Eine manuelle Reinigung durch Mitarbeiter ist nicht erwünscht
	4. Sofort Maßnahmen Zusätzliche Reinigungsvorgang nach dem Lötén durch Beizen Langfr. Maßnahmen Untersuchung der Kunststofffestigkeit benötigt.	3. Ursache Die derzeitige Vorbehandlung in der KTL-Anlage reicht nicht aus, um den Schmauch von den Pedalen zu entfernen. Dadurch wird die Lackierung beeinträchtigt.

Abbildung: Pedale nach dem Beizen (oben); Pedale gebeizt und lackiert (unten);







Mercedes-Benz

4Q-Maßnahmenblatt

Titel: Einsatz mechanische Reinigungsvorgang		Status: ●	Ersteller: T. W. Verantwortlicher/FAV: T. W.	Bereich: PT/KH Bereich: PT/KH
1. Fehlerbeschreibung, negative Wirkung Nach dem Lötvorgang des Pedals befindet sich Schmauchbildung auf den Oberflächen des Pedals, welcher zu einer schlechten Lackierung führt.		2. Zahlen, Daten, Fakten → Draht: CuAl8 → Schutzgas: Ar-97,5% CO2-2,5% → Zinkoxid ist giftig → Eine manuelle Reinigung durch Mitarbeiter ist nicht erwünscht		
4. Sofort Maßnahmen Manuelle Reinigung der Teile durch Mitarbeiter		3. Ursache Das in dem verzinkten Blech enthaltene Zink schmilzt und siedet aufgrund der hohen Temperatur und bildet sich Zinkoxid		
Langfr. Maßnahmen				



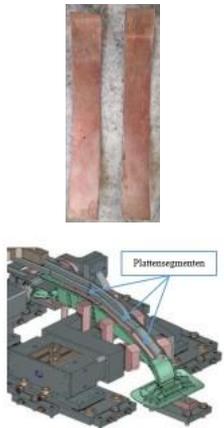
Abbildung 13: MRA2 Pedal mechanisch gereinigt.

Mercedes-Benz



4Q-Maßnahmenblatt

Titel: Abdecken des Pedalunterteils während des Lötens		Status: ●	Ersteller: H. S. Verantwortlicher/FAV: T. W.	Bereich: PT/KH Bereich: PT/KH
1. Fehlerbeschreibung, negative Wirkung Nach dem Lötvorgang des Pedals befindet sich Schmauchbildung auf den Oberflächen des Pedals, welcher zu einer schlechten Lackierung führt.		2. Zahlen, Daten, Fakten → Draht: CuAl8 (MIG), Schutzgas: Ar-97,5% CO2-2,5% → Volumenstrom von 10L/min → Schmelztemperatur von Zink bei 419°C → Siedetemperatur von Zink bei 906°C → Aktuelle Temperatur >900°C → Material: verzinktes E380		
4. Sofort Maßnahmen Abdecken des Pedalunterteils mit Kupfer während des Lötvorgangs.		3. Ursache Das in dem verzinkten Blech enthaltene Zink schmilzt und siedet aufgrund der hohen Temperatur und bildet sich Zinkoxid		
Langfr. Maßnahmen Integrieren der Kupferabdeckung an dem Spannarm/ der Lötvorrichtung.				



Mercedes-Benz



Eidesstattliche Versicherung

Hiermit versichere ich,

Name : Sumarto

Vorname : Hubert

dass ich die vorliegende Bachelorthesis – bzw. bei einer Gruppenarbeit die entsprechend gekennzeichneten Teile der Arbeit – mit dem Thema:

Methodische Analyse von Lackfehlstellen an Bremspedalen

ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.

Hamburg, den

.....

(Unterschrift des Studierenden)