



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Bachelorarbeit

Sinan Ousta Kiasif

Einflussfaktoren des gesamten Produktionssystems bei der Lackapplikation auf den Schichtdickenversatz

*Fakultät Technik und Informatik
Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau*

*Faculty of Engineering and Computer Science
Department of Automotive and
Aeronautical Engineering*

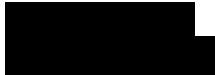
Sinan Ousta Kiasif

**Einflussfaktoren des gesamten
Produktionssystems bei der
Lackapplikation auf den
Schichtdickenversatz**

Bachelorarbeit eingereicht im Rahmen der Bachelorprüfung

im Studiengang Fahrzeugbau
am Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau
der Fakultät Technik und Informatik
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

in Zusammenarbeit mit:
BMW Group
TK-353 (Lackiererei Werk München)



Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Dirk Adamski
Zweitprüfer: M.Eng. (FH) Robin Degginger

Abgabedatum: 11.10.2022

Zusammenfassung

Name des Studierenden

Sinan Ousta Kiasif

Thema der Bachelorthesis

Einflussfaktoren des gesamten Produktionssystems bei der Lackapplikation auf den Schichtdickenversatz

Stichworte

Lack, Lackierte Karossen, Karosse, IPP, Integrated Pain Process, Messzelle, Qualitätssicherung, Qualität, Schichtdicken, Messtechnik, End of Line, EoL, KTL, Kathodische Tauchlackierung, Korrosionsschutz, UV-Strahlen, Lackierte Oberflächen

Kurzzusammenfassung

In dieser Arbeit werden die Einflussfaktoren des gesamten Produktionssystems auf den Versatz der lackierten Karosse untersucht. Die Arbeit berücksichtigt Daten von dem Zeitraum November 2021 bis Juni 2022. Hierbei handelt es sich um Daten, die in der automatischen Oberflächeninspektionsanlage erfasst werden. Die Analysen dienen der Fehleridentifikation und bilden das Fundament für diese Arbeit. Mit Hilfe eines Ursache-Wirkungs-Diagramms werden die Ursachen für den Versatz gelistet. Die Ursachen werden mittels einer Bewertungsmatrix bewertet. Ergeben sich Rückschlüsse oder Vermutungen, werden Experimente mit veränderten Parametern durchgeführt. Die Experimente werden ausgewertet und dienen als Grundlage für die Beurteilung der Einflussfaktoren. Mit Hilfe der festgestellten Einflussfaktoren wird ein Ausblick für die Zukunft gestellt.

Name of Student:

Sinan Ousta Kiasif

Title of the paper

Factors influencing the entire production system during paint application on the layer thickness offset

Keywords

Coat, painted vehicle body, vehicle body, IPP, Integrated Pain Process, measuring cell, quality assurance, quality, End of Line, EoL, KTL, Cathodic dip coating, Corrosion

Abstract

In this work the influencing factors of the entire production system on the offset of the painted body are examined. The data from the paint application will be analysed between November 2021 and June 2022. The offset will be documented with several measuring devices and data sets are examined. After explaining the current state of art, existing data sets are analyzed. The analyses serve to identify errors and from the foundation for this work. A cause-effect diagram is used to fill in the diagram in several expert interviews. The individual points are evaluated and weighted by means of an evaluation matrix. Based on these weightings, the corresponding topics are analysed in more detail. If conclusions or assumptions are drawn, experiments are carried out with modified parameters. The experiments are evaluated and serve as a basis for the assessment of the influencing factors. With the help of the determined influencing factors, an outlook will be made for the future.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	4
Abbildungsverzeichnis	6
Abkürzungsverzeichnis	9
1 Einleitung.....	10
1.1 Aufgabenstellung.....	10
2 Lack - Schichtdicken	11
2.1 Messgeräte und deren Funktionen zur Qualitätsprüfung.....	12
2.2 Die Hochrotationszerstäuberglocke	13
2.3 Bahnprogramme	15
2.4 Theorie und die Grundlagen zur lackierten Karosse	16
2.4.1 Prozessablauf in der Lackieranlage	19
2.4.2 Automatisierte Messprozesse zur Qualitätssicherung	22
2.4.3 End of Line-Messzelle	23
3 Ergebnisse und Analysen	26
3.1 Versatz Darstellung Allgemein	26
3.1.1 Unterschied zwischen IPP1 und IPP2.....	27
3.1.2 Unterschied zwischen IPP1 und IPP2 mit ausgewählten Derivaten	28
3.1.3 Unterschied zwischen IPP1 und IPP2 mit ausgewählten Derivaten und ausgewähltem Farbton	29
3.1.4 Temperatur Einfluss auf die Lackieranlage.....	30
3.1.5 Unterschied IPP1 und IPP2 im November	31
3.1.6 Unterschied IPP1 und IPP2 mit ausgewählten Derivaten im November.....	32
3.1.7 Unterschied IPP1 und IPP2 mit ausgewählten Derivaten und ausgewähltem Farbton im November	33
3.2 Ausgangssituation und Ablauf.....	34
3.3 Glockendrehrichtung	36
3.3.1 Glockendrehrichtung Versuchsaufbau und Beschreibung	36
3.4 Einfluss von Overspray.....	38
3.4.1 Versuchsaufbau Overspray – Ohne horizontale Flächen	39
3.4.2 Feinvermessung der lackierten Karossen.....	40
3.5 Untersuchung der Messgeräte und deren Kalibration.....	42
3.5.1 Versuchsaufbau zur Prüfung von Messgeräte Daten	42
3.5.2 Ausführung des Versuchs zur Prüfung der Messgerätedaten	42
3.6 Roboter Abstände in den Integrated Paint Process Anlagen.....	43
3.7 Auslilterdaten von Integrated Paint Process Anlagen 1 und 2	45
3.8 Glockendrehrichtung mit Bahnlinien – Überprüfung.....	47
3.8.1 Glockendrehrichtung mit Bahnlinien Versuchsaufbau	47
3.8.2 Versuchsdurchführung Glockendrehversuch mit Bahnlinien Überprüfung	49
3.8.3 Feinvermessung des Glockendrehversuchs inkl. Bahnlinien.....	50
4 Diskussion der Ergebnisse.....	51
4.1 Der Schichtdickenversatz mit Temperatureinfluss	51
4.1.1 Der Schichtdickenversatz zwischen den Lackieranlagen	51

4.2	Glockendrehrichtung	52
4.3	Overspray	53
4.4	Messgerätegenauigkeit	53
4.5	Roboterabstände in den Lackieranlagen	54
4.6	Auslilterdaten und Ergebnisse	54
5	Fazit	55
6	Literaturverzeichnis	57
	Anhang A: Einzelwerte für Karossen im Mai und Juni 2022 mit allen Derivaten im Detail	59
	Anhang B: Einzelwerte für Karossen im November 2021 mit allen Derivaten im Detail	60

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lackschichtaufbau [11, S.6].....	11
Abbildung 2: Prinzip der Schichtdickenmessung durch Ultraschallreflexion an einem Mehrschichtaufbau [1, S.363].....	12
Abbildung 3: Lackschichtdickenmessung mit dem Wirbelstromverfahren [15] (links).....	13
Abbildung 4: Lackschichtdickenmessung mit dem Magnetinduktivverfahren [16] (rechts)	13
Abbildung 5: Die Glocke installiert am Roboter.....	14
Abbildung 6: Aufbau der Hochrotationszerstäuberglocke	14
Abbildung 7: Bahnprogramm Klarlack G20 (CC) [13]	15
Abbildung 8: Prozessablauf der Lackiererei im BMW Werk München [3, S.3]	16
Abbildung 9: RoDip-System [5, S.12].....	17
Abbildung 10: (links) Grundbeschichtung [10]	18
Abbildung 11: (rechts) Becken der kathodischen Tauchlackierung	18
Abbildung 12: Integrierte Lackierprozessanlagen im Werk München [11, S.5].....	19
Abbildung 13: Rotierende EMU-Federn	19
Abbildung 14: BC1-Schicht wird auf die KTL-Schicht aufgetragen	20
Abbildung 15: BC2-Schicht wird auf die BC1-Schicht aufgetragen.....	21
Abbildung 16: Klarlackapplikation	22
Abbildung 17: Automatische Oberflächeninspektionszelle	22
Abbildung 18: End of Line-Messzelle	23
Abbildung 19: End of Line-Messzellen Roboterkopf	23
Abbildung 20: Automatische Oberflächenbehandlung	24
Abbildung 21: Manuelle Kabine IPP- Finsh.....	24
Abbildung 22: Schichtdickenversatz an der Tür vorne insgesamt	26
Abbildung 23: Parameter IPP1 mit allen Farben und allen Derivaten (links)	27
Abbildung 24: Parameter IPP2 mit allen Farben und allen Derivaten (rechts).....	27
Abbildung 25: Parameter IPP1 mit allen Farben und Derivat G20-G21-G80.....	28
Abbildung 26: Parameter IPP2 mit allen Farben und Derivat G20-G21-G80.....	28

Abbildung 27: Parameter IPP1 mit Black Saphir und Derivat G20-G21-G80	29
Abbildung 28: Parameter IPP2 mit Black Saphir und Derivat G20-G21-G80	29
Abbildung 29: Schichtdickenversatz an der Tür vorne insgesamt im Winter	30
Abbildung 30: Parameter IPP1 mit allen Farben und allen Derivaten (links)	31
Abbildung 31: Parameter IPP2 mit allen Farben und allen Derivaten (rechts).....	31
Abbildung 32: Parameter IPP1 mit allen Farben und Derivat G20-G21-G80 (links)	32
Abbildung 33: Parameter IPP2 mit allen Farben und Derivat G20-G21-G80 (rechts)	32
Abbildung 34: Parameter IPP1 mit Black Saphir und Derivat G20-G21-G80) November. 33	
Abbildung 35: Parameter IPP2 mit Black Saphir und Derivat G20-G21-G80) November. 33	
Abbildung 36: Mindmap von Einflussfaktoren für den Schichtdickenversatz	35
Abbildung 37: Bewertungsmatrix der Einflussfaktoren.....	36
Abbildung 38: Glockendrehrichtung Versuchsgestell.....	37
Abbildung 39: Overspray G81 Frontklappe.....	38
Abbildung 40: G81 Karosse mit vollständiger Lackierung als Referenz	39
Abbildung 41: Lackierprozess ohne horizontale Flächen.....	40
Abbildung 42: Schablone der Feinvermessung	40
Abbildung 43: Feinvermessung an der Versuchs Karosse	41
Abbildung 44: Schichtdicken G81 nach vollständiger Lackierung und Teillackierung	41
Abbildung 45: Manuelle Messungen und EOL - Messungen	43
Abbildung 46: Messdaten in der Lackieranlage (Screenshot aus Dokument) [19, S. 6]... 44	
Abbildung 47: Auslitern Werte in der Lackieranlage (Screenshot aus Dokument) 1 [9, S.3]45	
Abbildung 48: Auslitern Werte in der Lackieranlage 2 (Screenshot aus Dokument) [9, S.3]46	
Abbildung 49: Glockendrehrichtung mit Bahnlinienprüfung	47
Abbildung 50: Bahnlinien Versuchsblech mit Richtungen.....	48
Abbildung 51: Serienprozess G20 BC1 Bahnlinie [14, S.7]	48
Abbildung 52: Roboter lackiert Versuchsblech mit BC1.....	49
Abbildung 53: Lederschablone zur Feinvermessung	49
Abbildung 54: Glockendrehrichtung mit Bahnlinien Überprüfung	50

Abbildung 55: Ergebnis Glockendrehrichtung 52

Abkürzungsverzeichnis

AOB	Automatische Oberflächenbehandlung
AOI	Automatische Oberflächeninspektion
AQM	Automatisierte – Qualitäts – Messungen
BC 1	Base Coat 1
BC2	Base Coat 2
CC	Klarlackschicht
CCa	Klarlack außen
CCi	Klarlack innen
EOL	End of Line
G1	Lackschicht 1
G2	Lackschicht 2
G3	Lackschicht 3
G4	Lackschicht 4
i.O.	in Ordnung
IPP	Integrierter Lackierprozess
IPP 1	Integrierter Lackierprozess Linie 1
IPP 2	Integrierter Lackierprozess Linie 2
KTL	Kathodischen Tauchlackierung
PVC	Polyvinylchlorid
R1 - 4	Reflexion 1 - 4
R11	Roboterbezeichnung
R12	Roboterbezeichnung
R21	Roboterbezeichnung
R22	Roboterbezeichnung
UV (Strahlen)	Ultraviolettstrahlen
µm	Mikrometer

1 Einleitung

Etwa 2000 v.Chr. entstand die Kunst des Lackierens. Die Chinesen lackierten glatte Oberflächen und brachten den sogenannten Milchsaft fein auf die vorgesehenen Oberflächen auf. [2, S.17]

Schon im Altertum haben die Griechen und Römer natürliche Rohstoffe benutzt, um Gefäße, Werkzeuge und Bauwerke zu verzieren. Naturstoffe wie etwa Holzkohle, Bienenwachs und Pflanzenflüssigkeiten wurden benutzt. [2, S.17]

Zum jetzigen Zeitpunkt hat die Lackierung im Automobilsektor verschiedene Aufgaben. Die wichtigsten sind, wie schon damals die Dekoraktion, aber vor allem der Schutz der Karosserie. [1, S.14]

Die wichtigste Aufgabe der lackierten Oberfläche ist es, die Korrosion zu verhindern. Es gibt weitere natürliche bzw. aggressive Stoffe wie Baumharz oder Vogelkot, die der Karosserie schaden. Gegen diese verschiedenen Einflussfaktoren werden Maßnahmen entwickelt. [2, S.421]

Das Werk München der BMW AG produziert ca. 1000 Autos am Tag. Die Entwicklung in der Automobilbranche zeigt, dass die Prozesse in der Fertigung immer komplexer werden. All diese Faktoren führen zu Kostenersparnissen und zur Erhöhung der Lackqualität. Um die Qualität dauerhaft zu bestätigen, sind kontinuierliche Überprüfungen notwendig. [18]

Einer der wichtigsten Faktoren der lackierten Karosserie ist die Schichtdicke. Anhand der Schichtdicke kann man die Gleichmäßigkeit der Anlagen überprüfen, die wichtig sind für eine gleichbleibende Qualität. Unregelmäßigkeiten in Bezug auf die Schichtdicke des Lacks, müssen erfasst werden. Anschließend sollen die Ergebnisse beurteilt werden.

1.1 Aufgabenstellung

Im Rahmen dieser Arbeit soll untersucht werden, welche Faktoren Auswirkungen auf die unterschiedlichen Lackschichtdicken auf der Karosserie haben. Aufgrund von Kontrollmessungen zur Qualitätsbeobachtung, wurde festgestellt, dass deutliche Unterschiede bei den Schichtdicken vorhanden sind. Entsprechend wird der Fokus auf die unterschiedlichen Schichtdicken gelegt, die bei der rechten und linken Fahrzeugseite zustande kommen. In einem Expertengremium werden Faktoren gesammelt, die theoretisch Einfluss auf dieses Phänomen haben könnten. Da es viele Faktoren gibt, die überprüft werden müssen, werden in dieser Arbeit Einflussfaktoren mittels Versuche und bestehender Berichte, eingegrenzt. Die Faktoren beginnen bei der Lackieranlage selbst und führen bis zu den Wartungsarbeiten an der Anlage. Des Weiteren werden auch weitreichende Faktoren wie zum Beispiel die Umwelt (Temperatur), betrachtet. Die Komplexität dieses Problems, benötigt eine Analyse der bestehenden Daten. Zusätzlich müssen Versuche durchgeführt werden, die Erkenntnisse über die gestellten Thesen geben sollen. Wenn möglich sollen zukünftige Maßnahmen abgeleitet werden und implementiert werden.

2 Lack - Schichtdicken

Ein Lack stellt einen flüssigen, pastenförmigen oder pulverförmigen Beschichtungsstoff dar. Die Herstellung der Lacke dient mehreren Zwecken, unter anderem einem dekorativen, einem schützenden und einen mit technischen Eigenschaften. Dabei werden Untergründe, auf der die Lacke eingesetzt werden, benetzt und bilden einen geschlossenen Film. Die Hauptbestandteile eines Lacks sind: Lösemittel, Füllstoffe, Pigmente, Filmbildner und Additive. [1, S.26f.]

Filmbildner stellen die mechanische Festigkeit bei gleichzeitiger Elastizität gegenüber Umwelteinflüssen sicher. Die Verarbeitung des Filmbildners wird durch Lösemittel erleichtert. Die Farbe und das Deckvermögen werden durch die Verwendung von Pigmenten erzielt. Die Härte und Schleifbarkeit werden durch die Füllstoffe charakterisiert. Die Pigmente und Füllstoffe schützen vor ultravioletter Strahlung. Zusätzlich optimieren die Pigmente und Füllstoffe den Korrosionsschutz. [1, S.27]

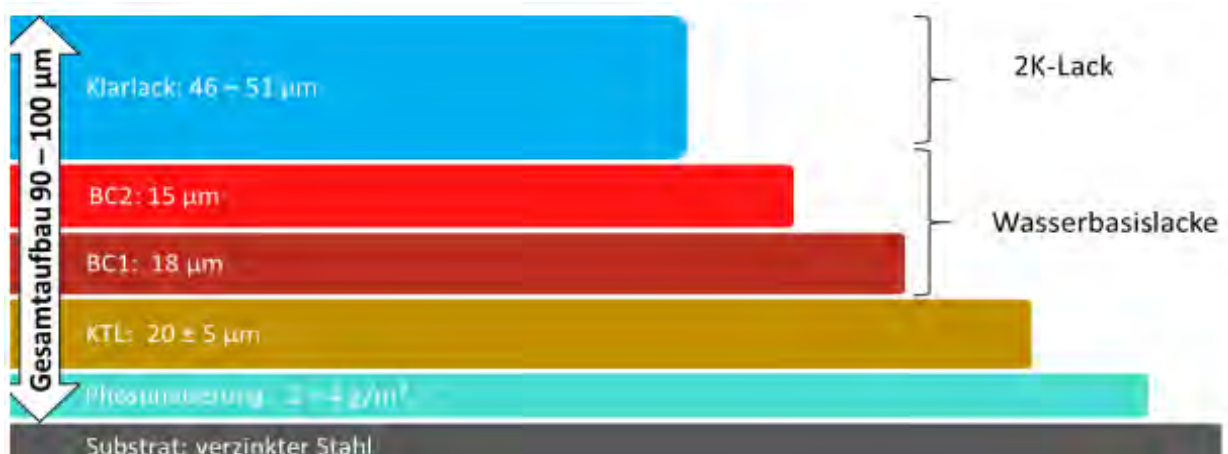


Abbildung 1: Lackschichtaufbau [11, S.6]

Die Abbildung 1 verdeutlicht den Lackaufbau bei einer Karosserie. Um den Korrosionsschutz zu erhöhen, wird eine Phosphatschicht aufgetragen. Zusätzlich sorgt die Phosphatschicht, für eine bessere Haftung der KTL-Schicht. Da die Korrosion eine große Gefahr für die Karosserie darstellt, ist die KTL-Schicht für den Korrosionsschutz zuständig. Die KTL-Schicht hat die Besonderheit, dass sie gegenüber UV-Strahlen anfällig ist. Deswegen muss diese vor der UV-Strahlung geschützt werden. Daher dient die BC1-Schicht als Transmissionsschicht für die kathodische Tauchlackierung. Die Bestandteile des Base Coats 2 sind Pigmente, die farbgebend sind. Zusätzlich wird die Schicht von Effektstoffen ergänzt. Diese verleihen der Karosserie optische Effekte. Die Effekte können unterschiedlich ausfallen von Metallic bis hin zu Perlglanz. Die verwendeten Lacke sind Wasserbasislacke. Wird der Lack neu aufgetragen, so enthält die Lackschicht eine Restfeuchtigkeit. Die Restfeuchtigkeit wird getrocknet, bevor der Klarlack aufgetragen werden kann. [11] Der Klarlack besteht aus zwei Komponenten, dieser wird bei hohen Temperaturen eingebrannt. Daraufhin folgt eine chemische Reaktion zwischen dem Stammlack und dem Härter. [1, S.71]

2.1 Messgeräte und deren Funktionen zur Qualitätsprüfung

Um die Qualität der lackierten Karossen sicherzustellen, ist es unumgänglich die wichtigsten Parameter für eine gut lackierte Karosserie zu überprüfen. Um die Überprüfung durchzuführen, stehen zwei verschiedene Messgeräte zur Verfügung. Diese unterscheiden sich in deren Funktionsweise. Die Schichtdicken sind das Hauptmerkmal dieser Arbeit. Daher betrachtet man in diesem Kapitel die Messgeräte zur Schichtdickenermittlung. Die Schichtdicken wurden im Kapitel 2 erläutert. Entsprechend besitzt, wie die Abbildung 1 zeigt, jede Schicht einen Optimalwert. Hierbei gibt es Toleranzen, die je Schicht variieren können. Um die einzelnen Schichtdicken messen zu können, kann man sich mittels Ultraschallmessungen helfen. Bei den sogenannten μ -Pelt-Messungen handelt es sich um ein Verfahren, bei dem der Lack nicht beschädigt wird. Das sogenannte zerstörungsfreie Erfassen der Schichtdicken. [1, S.356]

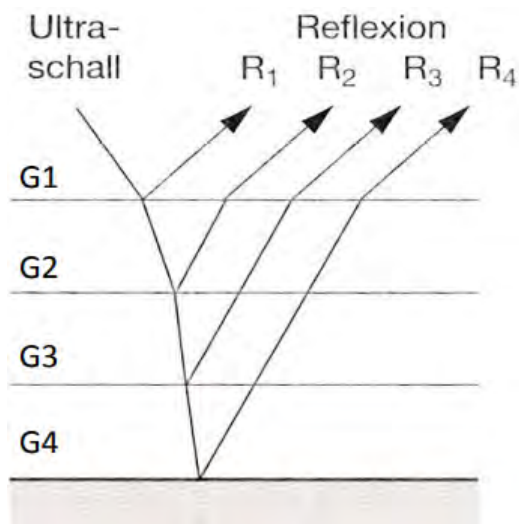


Abbildung 2: Prinzip der Schichtdickenmessung durch Ultraschallreflexion an einem Mehrschichtaufbau [1, S.363]

Wie die Abbildung 2 zeigt, sind vier Lackschichten abgebildet, die von G1 bis hin zu G4 reichen. Trifft ein Ultraschall auf die oberste Lackschicht (G1), so folgt eine Reflexion an der Oberfläche (R1). Anschließend dringt der Rest des Ultraschalls weiter vor. Entsprechend werden die weiteren Schichtdicken (G2-G4), eine Reflexion (R2-R4) an die Oberfläche abgeben. Die Zeit, die die Echoschallwellen benötigen, bis diese den Messkopf erreichen, wertet das Messgerät aus und definiert die Dicke der einzelnen Schichten. [1, S.358]

Da diese Variante sehr viele Einzelinformation über jede Schichtdicke gibt, wird im Werk München eine weitere Methode benutzt. Die alternative Methode basiert auf einem Gerät, welches mittels Magnetinduktion funktioniert. Diese Art von Messgerät eignet sich, um die Gesamtschichtdicke zu messen. Da die Karosserie aus unterschiedlichen Materialien besteht, werden zwei Verfahren bei der magnetinduktiven Vermessung verwendet. Das erste Verfahren ist das Magnetverfahren, bei dem auf niederfrequenten Wechselstrom gesetzt wird, in Kombination mit einer Erregerspule und einer Messspule. Dieses Verfahren kommt bei Blechelementen, die aus Stahl bestehen zum Einsatz. Bei Bauteilen, die aus Aluminium bestehen, wird das Wirbelstromverfahren angewandt. Hierbei durchfließt hochfrequenter

Wechselstrom eine Spule, woraufhin ein Wirbelstrom entsteht, der Einfluss auf die Spuleninduktivität hat. [12]

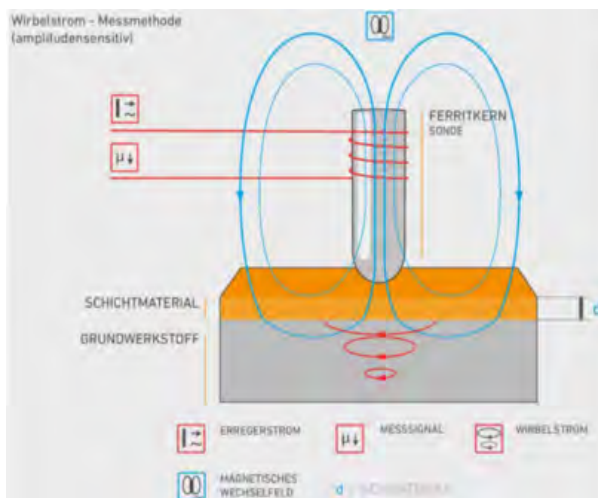


Abbildung 3: Lackschichtdickenmessung mit dem Wirbelstromverfahren [15] (links)

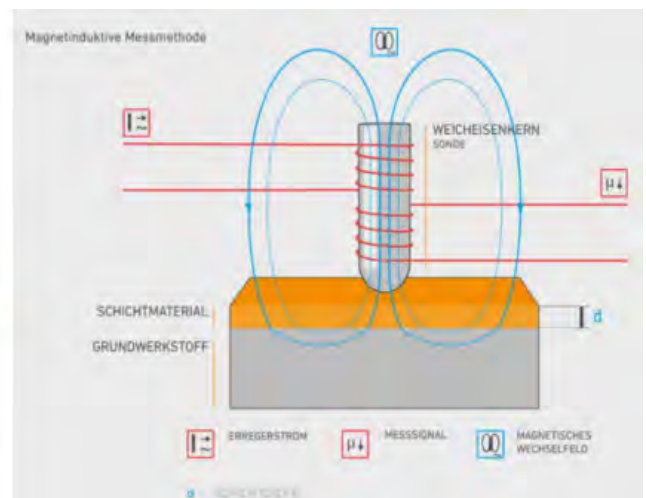


Abbildung 4: Lackschichtdickenmessung mit dem Magnetinduktivverfahren [16] (rechts)

Die Abbildungen 3 und 4 zeigen, die unterschiedlichen Funktionsweisen, der Messmethoden. Da die Karosserie aus Stahl und Aluminium besteht, welches ein Nichteisenmetall ist, ist es nötig beide Verfahren zu nutzen. Die beiden Messmethoden werden in der End-of-Line-Messzelle verwendet. Anhand dieser Datensätze werden später Analysen folgen.

2.2 Die Hochrotationszerstäuberglocke

Die Hochrotationszerstäuberglocke ist am Ende des Roboters installiert. Die Abbildung 24 zeigt, wie die Hochrotationszerstäuberglocke an dem Roboterarm montiert ist. Die Gesamtsystematik ist in der Anlage nicht dieselbe, daher unterscheidet man die Bereiche BC und CC. Die größten Unterschiede liegen im Hintergrund der Lackieranlage. Die Tatsache, dass jede Karosserie eine Klarlackschicht (CC) appliziert bekommt, führt dazu, dass die Roboter im CC eine große Leitung zu einem Behälter haben. Der Behälter versorgt alle Roboter, die eine Klarlackschicht applizieren, sowohl im Innenbereich als auch im Außenbereich. Generell ist dies nur möglich, da sich die Zusammensetzung des Klarlacks nicht ändert und auf jede Karosserie derselbe CC appliziert wird. Anders verhält es sich im Bereich BC1 und BC2. Hier kann man nicht, generalisiert von einem großen Behälter, den Lack beziehen. Es gibt ca. 150 verschiedene Farbtöne, daher wurde ein Kartuschensystem eingepflegt. Hierbei werden zwei Kartuschen parallel bereitgehalten. In einer der Kartuschen befindet sich der passende Lack zur Karosserie. In der Zwischenzeit wird die andere Kartusche gereinigt, sodass keine Vermischungen der Lackpigmente vorliegen können. Anschließend wird die saubere Kartusche mit dem nächsten Basis Coat befüllt. [8]



Abbildung 5: Die Glocke installiert am Roboter

Die Kartuschen bestehen aus zwei Kolben. In den ersten Kolben wird der Lack gepumpt. In den zweiten Kolben wird eine Flüssigkeit befördert, die den Kolben nach oben bewegen lässt. Daraufhin wird der Lack aus dem Ventil hinausgefördert. Durch eine Kreisrunde Öffnung am Kolbenboden wird ein Unterdruck verhindert.

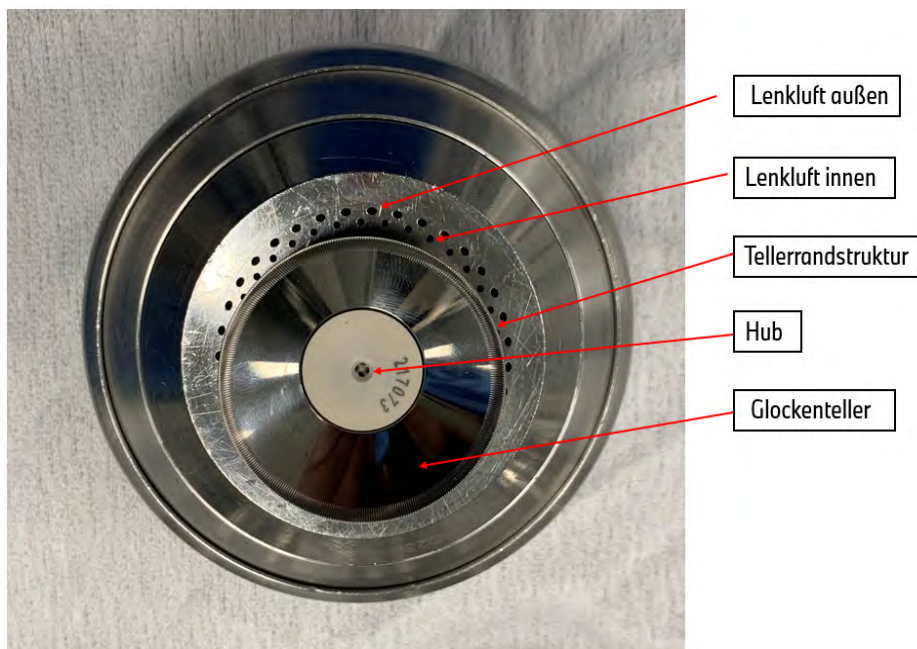


Abbildung 6: Aufbau der Hochrotationszerstäuberglocke

Die Abbildung 6 zeigt den Aufbau einer Hochrotationszerstäuberglocke, welche mit einem Lenkluftring ausgestattet ist. Die unterschiedlichen Löcher sind Austrittsöffnungen, die verschiedene Aufgaben haben. In der Lackieranlage gibt es unterschiedliche Glockendurchmesser, welche von 40 mm bis zu 70 mm reichen. Dabei beträgt der

Glockendurchmesser bei der Außenapplikation im Bereich BC1, BC2 und CC 70 mm. Im Bereich BCi und CCI beträgt der Glockendurchmesser 40 mm. Die vier kleinen Öffnungen in der Mitte des Hubs sorgen für Ausgleich, um einen Unterdruck zu verhindern. Wird eine Karosserie lackiert, so verläuft der Lack durch den Hub und wird gleichmäßig auf der Oberfläche verteilt. Der größte Anteil des Lacks gelangt durch den Spalt zwischen dem Hub und der Glocke. Durch die Rotation wird der Lack mittels der Zentrifugalkraft bis an die Abrisskante geführt. Dort kommen die Lacktropfen mit der Lenkluft in Kontakt. [17]

Die Außenlenkluft führt die Lackpartikel entlang der Glockenachse auf die Karosserie. Die Innenlenkluft bestimmt den Feinheitsgrad der Zerstäubung. Prinzipiell gilt, dass je mehr Lenkluft befördert wird, desto feiner werden die Lackpartikel zerstäubt. Kombiniert wird die Hochrotationszerstäuberglocke mit einer Hochspannungselektrode. Die Hochspannung sorgt dafür, dass der Lack effizienter auf der Karosserie bleibt. Entsprechend spart man bei der benötigten Materialmenge. Hierbei wird der Lack elektrostatisch negativ aufgeladen. Parallel dazu wird die Karosserie geerdet, somit ist die Karosserie positiv geladen. [11, S.5]

2.3 Bahnprogramme

Die Bahnprogramme geben den Robotern in der IPP-Anlage die Bahnen vor, die die Roboter entlang der Karosserieoberfläche abfahren müssen.

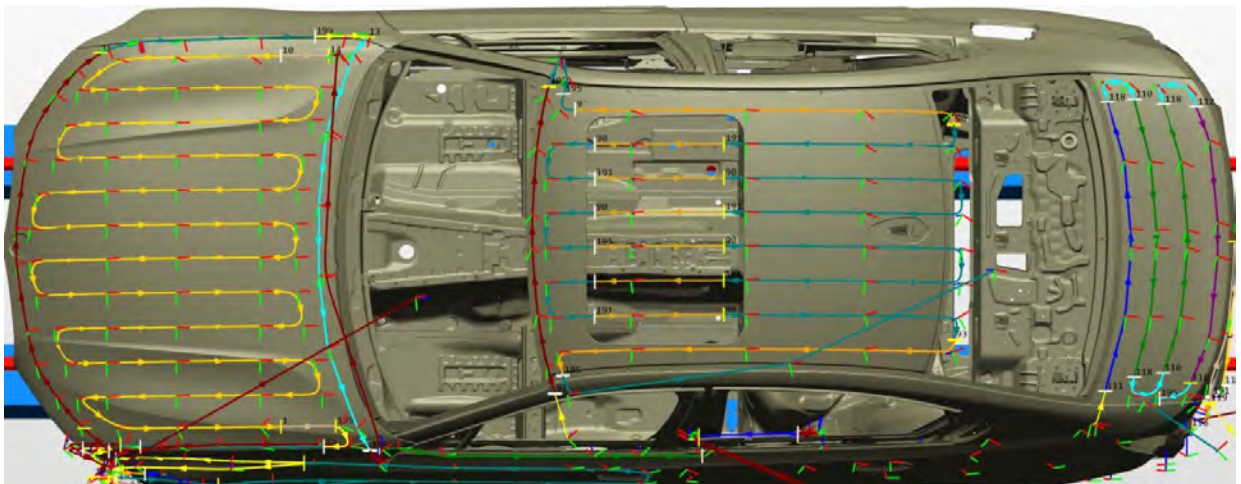


Abbildung 7: Bahnprogramm Klarlack G20 (CC) [13]

Wie aus der Abbildung 7 einhergeht, kann man den Bahnen entnehmen, wie der Klarlack auf der Karosserie appliziert wird. Die horizontalen Oberflächen werden jeweils von einem Roboter lackiert. Zu diesen Flächen gehören die Frontklappe, das Dach und die Heckklappe. Die vertikalen Flächen werden zwischen zwei Robotern aufgeteilt. Der Glockenkopf fährt genau mittig entlang der Bahnen. Da der Lack jedoch zerstäubt wird, überlappen sich die Lackschichten. Auf der lackierten Oberfläche entstehen Berge und Täler, die Einfluss auf die Schichtdicken haben. Hierbei ist es nötig den Wert SB50 zu definieren. Der Wert SB50 wird

durch ein dynamisches Höhenprofil bestimmt. Dabei wird sowohl die Schichtdicke als auch die Breite definiert. Die Applikation erfolgt durch die Glocke, die mit einer definierten Geschwindigkeit, die Karosserie abfährt. Die Parameter sind charakteristisch für die Schichtdicke und die Breite der Bahn. Bei den Bergen ist die Überlappung höher, daher kann man an diesen Stellen eine höhere Schichtdicke messen. Die programmierten Bahnlinien haben auch einen Einfluss auf den Overspray. Hierbei werden die Bereiche bzw. Bahnlinien interessant, die nahe an anliegenden Bauteilen verlaufen. [17, S.10]

2.4 Theorie und die Grundlagen zur lackierten Karosserie

Im folgenden Kapitel werden die wichtigsten, grundlegenden Basisinformationen zum Prozess der lackierten Karosserie gesammelt. Entsprechend werden die BMW Group spezifischen Qualitätsanforderungen parallel zum Prozess beschrieben.

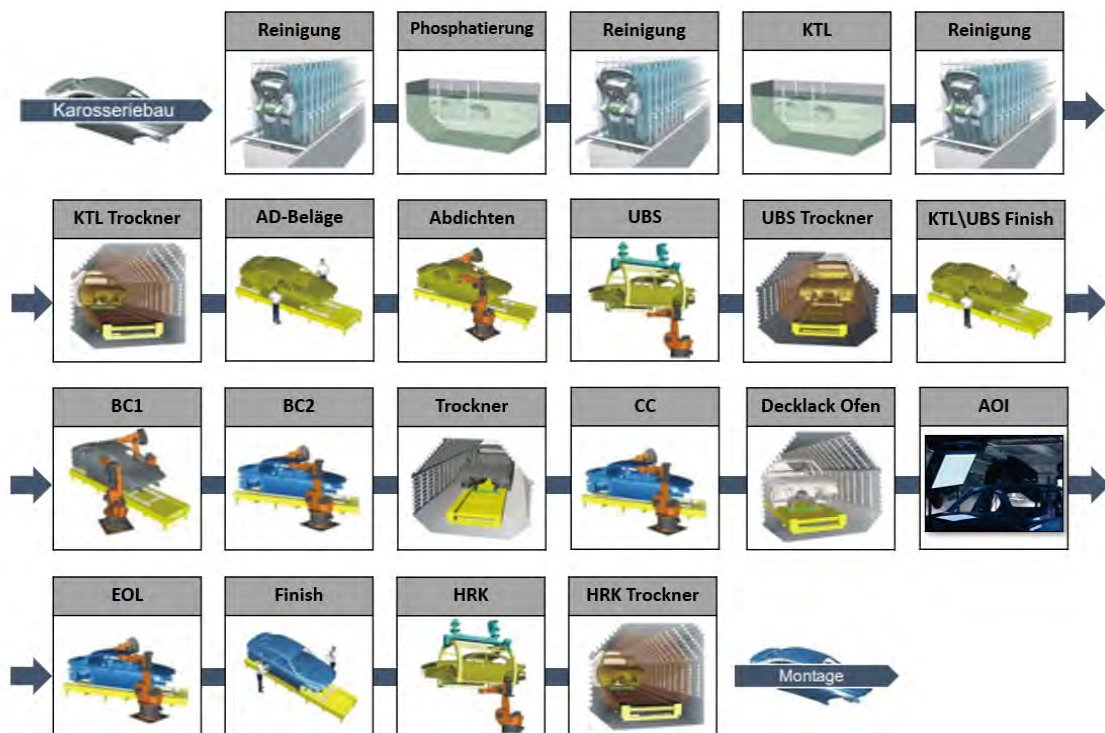


Abbildung 8: Prozessablauf der Lackiererei im BMW Werk München [3, S.3]

Bevor der hauptsächliche Lackierprozess beginnen kann, müssen wichtige Vorbehandlungen der Karosserie erfolgen. Den entsprechenden Prozessablauf kann man sich zusätzlich aus der Abbildung 8 verdeutlichen. Zunächst wird die Rohkarosserie mittels der Fördertechnik durch die Reinigungsstationen gefahren und von Schmutz und Ölschichten befreit. Hierbei wird die Karosserie mittels eines Rotationsverfahrens vollständig in Reinigungsbäder getaucht. Im gesamten Prozess der Reinigung und der kathodischen Tauchlackierung wird auf ein Fördersystem gesetzt, welches gekippt und gedreht werden kann. Im ersten Prozessschritt wird die Karosserie von Bürsten mechanisch gereinigt. Schmutzpartikel setzen sich bei den Fügeprozessen an die Karosserie fest. Daher wird die Karosserie in einer Vorstufe, hochalkalischen Wasserlösungen ausgesetzt. Hierbei werden die schwer erreichbaren Stellen ebenfalls von Fetten und Ziehölen befreit. Die schwer

erreichbaren Stellen bei einer Karosserie sind die Blechoberflächen im Inneren der Karosserie und die Zwischenbereiche im Bereich der Schweller. Wichtig ist es, dass vor allem die Schweißnahtbereiche optimal gereinigt sind, damit diese später durch die kathodische Tauchlackierung, optimal vor Korrosion geschützt wird. Da die Karosserie mit hochalkalischen Wasserlösungen behandelt wird, muss im darauffolgenden Prozessablauf die Karosserie gereinigt werden. Dieser Prozessabschnitt hat die Funktion, dass die Oberfläche der Karosserie neutral für den nächsten Prozessabschnitt ist. Nach der gründlichen Reinigung, folgt die Tauchaktivierung. Bei der Tauchaktivierung wird versucht Kristallisationskeime auf die Karosserieoberfläche zu implementieren, diese soll die spätere Phosphatschicht besser binden. [6]

Nach der Tauchaktivierung wird die Karosserie in einem Tauchvorgang phosphatiert. Die Lösungen in den Bädern bestehen aus einem Zink, Mangan bzw. Nickelphosphatlösung. Die Phosphatschicht dient dem Korrosionsschutz, insbesondere dann, wenn die Oberfläche weiter beschichtet wird, mit Lack oder Wachs. [7] Dieser Prozess ist aufwendig, denn die Karosserie wird mehrmals abgespült, damit die Karosserie nicht mit anderen Chemikalien, die anderen Bäder verschmutzt. Anschließend wird die Oberfläche der Karosserie versiegelt, sodass die Oberfläche der Karosserie angeglichen wird. Nachdem phosphatiert wird die Karosserie passiviert. Durch die Passivierung wird garantiert, dass die Aluminiumoberflächen ebenfalls vor der Korrosion geschützt sind. [8, S.8]

Ein weiterer positiver Effekt ist, dass die Lackhaftung gesteigert wird. Nach der Tauchpassivierung wird die Karosserie ein letztes Mal vor der eigentlichen kathodischen Tauchlackierung gespült. Die gesamten Maßnahmen haben die Karosserie optimal für die anstehende kathodische Tauchlackierung vorbereitet.

Mit der abgeschlossenen Vorbehandlung setzt sich die Kette der Produktion fort. Die Karosserie gelangt in das KTL-Becken. Das Rotationstauchverfahren hat einen Einfluss auf die kathodische Tauchlackierung. Mit diesem Verfahren werden Luftblasen auf der Karosserie vermieden.

Die nachstehende Abbildung 8 zeigt, wie das Rotationsverfahren funktioniert. Die Karosserie ist auf einer Traverse befestigt, welche der Anlage erlaubt, die Karosserie zu rotieren. Die Rotation sorgt dafür, dass Luftblasen auf der Oberfläche der Karosserie vermieden werden. Zusätzlich wird dabei eine Fehlbeschichtung vermieden. Das Kippen stellt ein wichtiges Werkzeug dar, um überschüssige Flüssigkeiten abfließen zu lassen.

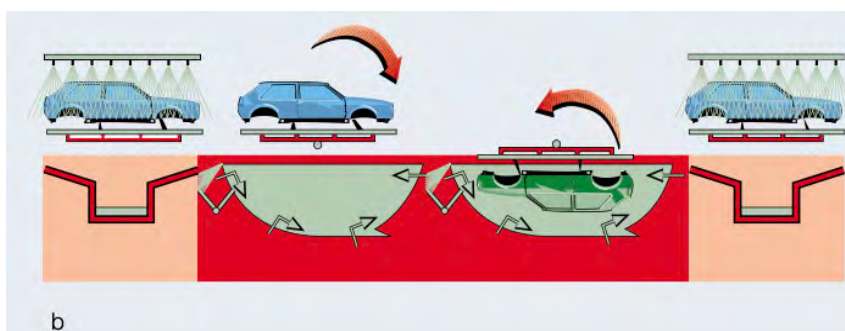


Abbildung 9: RoDip-System [5, S.12]

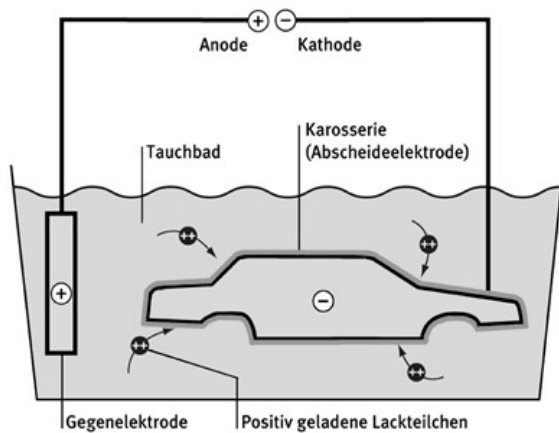


Abbildung 10: (links) Grundbeschichtung [10]

Abbildung 11: (rechts) Becken der kathodischen Tauchlackierung

Aus der linken Abbildung 9 ist zu entnehmen, dass sich in dem Becken, Anoden befinden. Die Karosserie selbst, fungiert als Kathode und ist elektrisch leitfähig. Die Kataphorese beschreibt ein elektrochemisches Verfahren, bei welcher die Karosserie in einem Tauchbad beschichtet wird. In dem wässrigen Tauchlack befinden sich Lackpartikel, diese heften sich an die Karosserie, mit dem Ziel, den Lack möglichst geschlossen auf die Karosserieoberfläche zu bringen. Schädlich für den Prozess sind Luftblasen und Schaumbildung auf der Oberfläche der Karosserie. Um die Luftblasenbildung zu minimieren, werden im KTL-Becken spezielle Düsen eingesetzt, die eine Zirkulation gegen den Uhrzeigersinn erzeugen. Insbesondere in die Hohlräume und in den Doppelblechbereichen gelangt der kathodische Tauchlack und wird damit optimal beschichtet. Nachdem sich die Karosserie in dem KTL-Becken befunden hat, gelangt die Karosserie in einem Abspülprozess. Daraufhin wird die Karosserie in den KTL-Trockner für 30 Minuten bei 180 Grad gefahren. Das Resultat ist eine trockene, gleichmäßige und geschlossene Oberfläche, die optimal vor Korrosion schützt. [8, S.4]

Nach der kathodischen Tauchlackierung wird die Karosserie zur Nahtabdichtung gefahren. Die Falzungen werden mit Polyvinylchlorid abgedichtet, wodurch die Karosserie gegen Feuchtigkeit von außen geschützt ist.

Im nächsten Prozessschritt wird das Polyvinylchlorid auf den Unterboden aufgetragen. Das Polyvinylchlorid wird aufgetragen, um die Karosserie vor den Folgen von Steinschlägen und Abrieb zu schützen. [4, S.7]

Im weiteren Prozess wird die Karosserie in einen Trockner geführt, wo sämtliche Versiegelungsflüssigkeiten gelieren. Im KTL-Finish angekommen, werden die Karossen auf Fehler untersucht. Die Fehler reichen von Metalleinschlüssen bis hin zu PVC-Rückständen. Größere Probleme stellen Fehler wie Dellen oder Beulen dar. Diese Fehlerbilder werden im KTL-Finish bearbeitet und ausgebessert, sodass eine lackierfähige Karosserie entsteht.

2.4.1 Prozessablauf in der Lackieranlage

Bevor die Karossen in die Lackieranlage fahren, werden die Karossen aus den Variantenspeicher zu der Anlage geführt.



Abbildung 12: Integrierte Lackierprozessanlagen im Werk München [11, S.5]

Bei dem integrierten Lackierprozess werden die Basislacke (nass in nass) appliziert, dabei wird die Base Coat 1-Schicht und Base Coat 2-Schicht, direkt hintereinander aufgetragen. Statt eines Füllers zwischen der BC1-Schicht und der BC2-Schicht, findet nun ein fließender Übergang statt. Bis die Karosse bereit ist lackiert zu werden, gilt es, die Karosse von Staub zu befreien. Dort wird mittels eines Blowers, gefilterte Luft mit einem erhöhten Druck auf die Außenbereiche der Karosse gerichtet. Daraufhin wird die Karosse, durch rotierende EMU-Federbürsten und angeströmter ionisierender Luft von dem Feinstaub gereinigt. In der Abbildung 12 wird der Einsatz, der EMU-Federn in der Lackieranlage dargestellt, welche die fertige KTL-Karosserie reinigen.

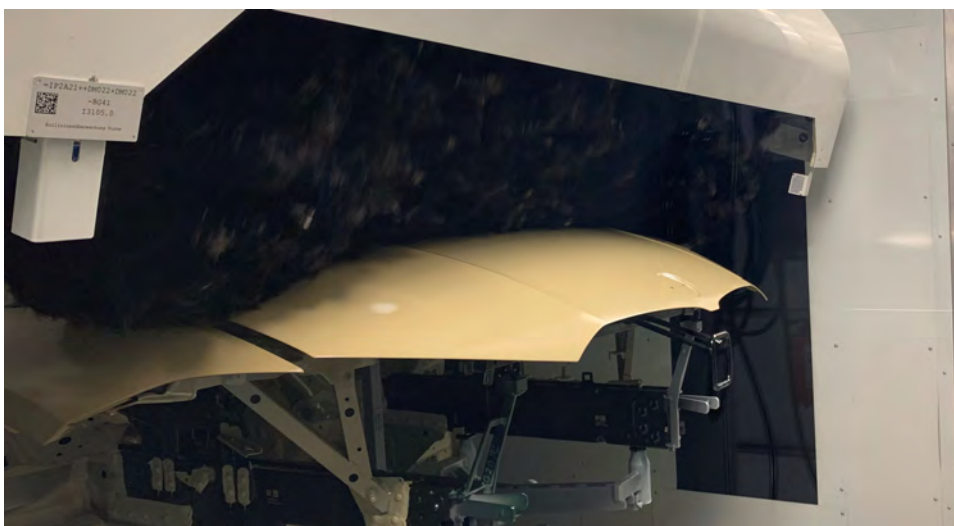


Abbildung 13: Rotierende EMU-Federn

Wie aus der Abbildung 13 hervorgeht, beginnt nach der EMU-Anlage, der integrierte Lackierprozess (IPP). Die Applikation erfolgt durch den Roboterkopf, welcher eine Glocke darstellt. Auf der Glocke befindet sich ein Rotationszerstäuber, der den Lack zirkulieren lässt, um somit eine gleichmäßige Lackschicht zu erhalten. Während des Lackierprozesses, wird der Lack elektrostatisch aufgeladen, sodass alle Schichten effizienter aufgetragen werden. Durch die elektrostatische Aufladung der Karosse und dem Lack, wird insgesamt weniger Lackmenge benötigt, um dieselbe Schichtdicke zu erreichen.

Die Zerstäubung erfolgt durch die Glocke, die sich am Ende des Roboterarms befindet. Auf dem Roboter befindet sich ein Hochrotationszerstäuber, der den Lack zirkulieren lässt, um somit eine gleichmäßige Lackschicht zu erhalten. [11, S.9]

Die BC1-Schicht hat zusätzlich die Funktion, die Oberfläche zu egalisieren. Außerdem wird die Rautiefe angeglichen, sodass eine ebene Fläche zum Lackieren entsteht. Die Hauptfunktion der BC1-Schicht ist es jedoch, den Schutz der KTL-Schicht vor UV-Strahlen, zu sichern. Es gibt 6 verschiedene BC1-Schicht-Lacke, die je nach der farbgebenden BC2-Schicht unterschiedlich ausgewählt wird. In dieser Abbildung wird es ein heller Farbton.



Abbildung 14: BC1-Schicht wird auf die KTL-Schicht aufgetragen

Nachdem auf Karosse die BC1-Schicht appliziert wurde, wird im Anschluss die nächste Lackschicht aufgetragen. Jeder Farbton ist einem konkreten BC1-Farbton zugeordnet. Der Base Coat 2 ist die farbgebende Lackschicht. Die BC1-Schicht wird nur auf die äußeren Bereiche der Karosse aufgetragen, während die BC2-Schicht innen sowie außen aufgetragen wird.



Abbildung 15: BC2-Schicht wird auf die BC1-Schicht aufgetragen

Der Base Coat 2 wird hierbei in zwei verschiedenen Prozessstufen aufgetragen. Zuerst werden die Türen und Klappen durch einen Pin, der sich am Roboter befindet, geöffnet. Anschließend lackieren die Roboter den Innenbereich der Türen, die Einstiegsbereiche, den Motorinnenraum und den Heckklappenbereich. Nachdem die Innenflächen von den Robotern lackiert wurden, schließen die Roboter die Türen wieder mit einem Pin. Anschließend lackieren die Roboter den Außenbereich der Karosserie. Beim Lackieren der Innenbereiche, gelangt ein Teil des Lacknebels auf die Außenhaut der Karosserie (siehe Abb. 13).

In der zweiten Prozessstufe wird die BC2-Schicht auf die gesamte Außenkarosserie aufgetragen. Der Lufthaushalt ist ein wichtiger Faktor in der Lackieranlage, dabei muss die Luftfeuchtigkeit stets bei 63 Prozent +/- 3 Prozent liegen. Die Temperatur muss in der Kabine bei den Base-Coat-Lacken zwischen 21 und 25 Grad liegen.

Nachdem der Base Coat 2 aufgetragen wurde, fährt die lackierte Karosserie in den Zwischentrockner, welcher ein Verdunstungstrockner ist. Die Prozesszeiten ermöglichen die Trocknung bis zu einer vorgegebenen Restfeuchte. Nachdem die Karosserie den Zwischentrockner durchfahren hat, wird der Klarlack in zwei getrennten Prozessschritten aufgetragen. Zunächst wird der Klarlack (CCi) auf die Innenbereiche appliziert, nachdem die Roboter mittels eines Pins erneut die Türen und Klappen geöffnet haben. Im nächsten Abschnitt wird der Klarlack auf die Außenbereiche (CCa) der Karosserie aufgetragen. In der Klarlackkabine wird die Temperatur und die Anteile der Feuchtigkeit geregelt. [11, S.7]

Die Abbildung 16 zeigt die Klarlackapplikation auf die Frontklappe.



Abbildung 16: Klarlackapplikation

Nach der Klarlackapplikation wird die fertig lackierte Karosserie in den Haupttrockner gefahren. Dabei wird der Klarlack bei einer Haltezeit von mehr als 20 Minuten Objekttemperatur gebunden.

2.4.2 Automatisierte Messprozesse zur Qualitätssicherung

Als Premiumhersteller ist es für die BMW Group besonders wichtig, die Qualität der lackierten Karosserien kontinuierlich zu messen und zu kontrollieren. Daher wird jede Karosserie durch eine automatische Oberflächeninspektion gefördert (AOI), wie aus der nachfolgenden Abbildung 17 hervorgeht. In der automatischen Oberflächeninspektionsanlage sind zwei Roboter installiert, auf welchen große Monitore montiert sind. Die Monitore projizieren ein schwarzweißes Muster auf die Karosserie, sodass Strukturfehler erkannt werden. Anschließend werden die Fehler ausgewertet und im System gespeichert. [4, S.6]

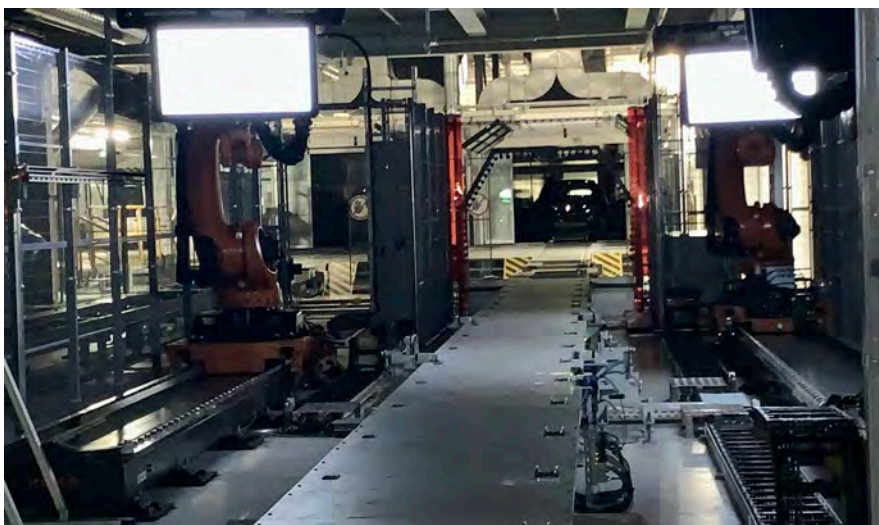


Abbildung 17: Automatische Oberflächeninspektionszelle

Sobald ein relevanter Fehler auf der Oberflächenstruktur entdeckt worden ist, wird der Fehler mittels einer Markierpaste mit einem Markierkreis gekennzeichnet.

2.4.3 End of Line-Messzelle

Alle Karossen durchlaufen die AOI-Überprüfung, wobei nur die Außenhaut auf Defekte kontrolliert wird. Zusätzlich zu der AOI-Anlage gibt es eine weitere Prüfstation, die noch präzisere Daten zu der lackierten Karosse liefert. Da die erweiterte Überprüfung mehr Zeit in Anspruch nimmt, durchläuft nur jede 10. Karosse diese Prüfinstanz. Dies entspricht 5 % der täglichen Produktion. Die sogenannte End of Line-Messzelle (EOL) misst den Farbton, die Struktur und die Schichtdicke. Die Abbildung 18 zeigt, dass Roboter mit mehreren Messgeräten ausgestattet sind. Dabei misst jedes Gerät einen unterschiedlichen Parameter. Die Roboter tasten fest definierte Messpunkte ab und legen die Daten in der Datenbank ab.



Abbildung 18: End of Line-Messzelle

Die nachfolgende Abbildung zeigt den Roboterkopf im Detail mit den zugehörigen Geräten.

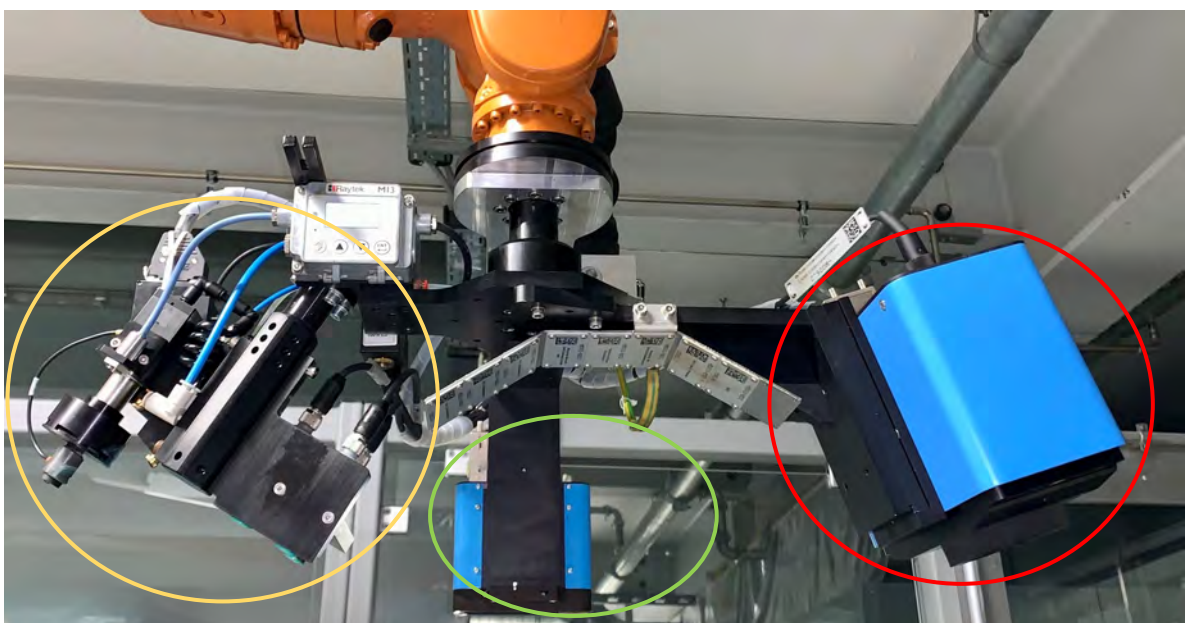


Abbildung 19: End of Line-Messzellen Roboterkopf

Aus der Abbildung 19 lassen sich die einzelnen Gerätekomponenten erkennen. In der roten Markierung befindet sich das Messgerät Byk Mac. Dieses Gerät misst den Farbton. In der grünen Markierung befindet sich das Messgerät für die Lackstruktur, der sogenannte Wave-Scanner. Das JSR (Gerätname) ist das Messgerät, welches die Schichtdicke misst.

Im IPP-Finish sind fünf Kabinen vorhanden, in der die gemessenen Karossen gefördert werden. In diesen Kabinen werden die Karossen kontrolliert, Fehler werden geschliffen und poliert. Eine Kabine wird als AOB (Automatische Oberflächenbehandlung) bezeichnet. Hierbei werden die Schleif- und Polierarbeiten automatisiert von dem Roboter durchgeführt. In der Abbildung 20 kann man erkennen, wie eine Karosse in die AOB-Anlage gefördert wird. [11, S.9]



Abbildung 20: Automatische Oberflächenbehandlung



Abbildung 21: Manuelle Kabine IPP- Finish

Die Abbildung 21 zeigt, wie eine manuelle IPP-Finish-Kabine aufgebaut ist. Die gesamte Kabine ist mit Leuchtstoffröhren ausgestattet, sodass die Spots besser gesichtet werden können und die Ausbesserung besser geprüft werden kann.

Alle i.O. geprüften Karossen werden aus dem Finish in die Hohlraumkonservierung (HRK) befördert. In der Anlage wird in die Hohlräume der Karossen, flüssiges Wachs automatisiert appliziert. [11, S.11]

Zum Abschluss der Konservierung der Hohlräume, wird die Karosse in den Hohlraumkonservierungstrockner befördert, dort verfestigt sich das Wachs. Die Karosse wird in einer Auslaufzone gekühlt und ist anschließend bereit für die Montage. Die Hohlraumkonservierung ist für ein Autoleben ausgelegt und beendet den Lackierprozess.

3 Ergebnisse und Analysen

Die grundlegenden Informationen, die im Vorkapitel beschrieben wurden, dienen als Basiswissen für die Aufgabenstellung. Daraufhin folgt im Kapitel 3 eine nähere Analyse zu den Prozessen, die den Rechts-Linksversatz behandelt und definiert. Mit vorhandenen Datensätzen wird das Problem analysiert und dargestellt. Hierbei wird auf die automatisierten Qualitäts-Messungen (AQM-Daten) zurückgegriffen. Die internen AQM-Daten stammen aus der EOL-Messzelle, aus verschiedenen Zeitintervallen. [20; 21] Es gilt das Problem zu visualisieren und zu beschreiben.

3.1 Versatz Darstellung Allgemein

Die Abbildung 22 zeigt eine Datenanalyse vom Juni 2022, die nicht mit mehreren Parametern gefiltert ist. Konkret bedeutet dies, dass alle Derivate im Werk München berücksichtigt wurden, (G20, G21, G26, G80). Nur das Bauteil Tür (vorne rechts und links) wurde betrachtet. Hierbei wurden die Farben Black Sapphire Met und Dravitgrau Metallic näher untersucht. Die nachfolgende Abbildung zeigt das gesamte Farbspektrum, welche in den Lackieranlagen appliziert werden. In der Lackieranlage wurden die beiden Linien 1 und 2 in den Analysen betrachtet. Zusätzlich wurde kein Filter eingesetzt, um zwischen IPP-Linie 1 und IPP-Linie 2 zu unterscheiden. Die Messdaten entsprechen den Karossen, die jeweils von beiden IPP-Linien stammen. Ein weiterer Faktor, der nicht zu Beginn berücksichtigt worden ist, ist die Außentemperatur. (Anhang A)

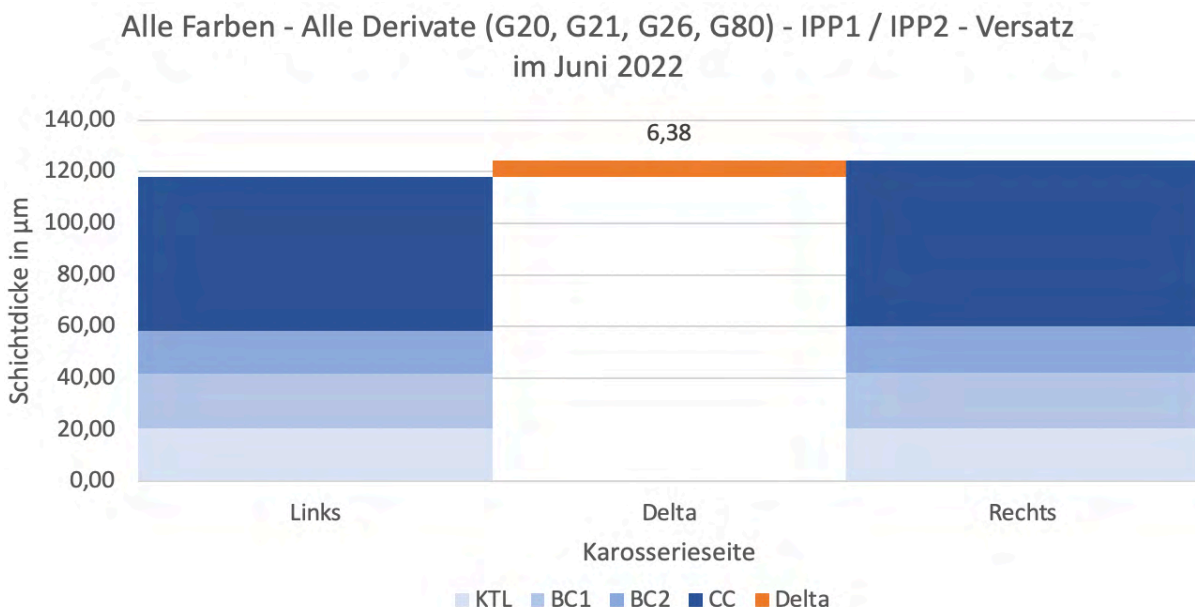


Abbildung 22: Schichtdickenversatz an der Tür vorne insgesamt

Die Y-Achse in der Abbildung 22 zeigt die Schichtdicke in µm an und die X-Achse, die jeweilige Karosserie. Es ist der Mittelwert im Betrag über alle Karossen im Juli für die linke und rechte Tür vorne dargestellt. Man sieht pro Seite (links und rechts) die KTL, die

BC1, die BC2 und die CC-Schicht, gestapelt. Auf die KTL-Schicht wird der Base Coat 1 appliziert. Hierbei liegt die Schichtdicke auf der linken Seite bei 21,11 µm und die der rechten Karosserie-seite bei einer Schichtdicke von 21,37 µm. Daraus resultiert ein Delta von 0,02 µm. Daher liegt das Delta für die BC1-Schicht bei 0,26 µm. Die farbgebende Lackschicht (Base Coat 2) wird als Vorletzte appliziert. Hierbei kann der Wert stark variieren, da die Schichtdicke von dem Farbton abhängig ist. Auf der linken Karosserie-seite beträgt der Durchschnittswert 16,62 µm. Die rechte Karosserie-seite weist einen Wert von 17,94 µm auf. Auf Ebene der BC2 -Schicht liegt die Differenz bei 1,32 µm. Als letztes wird der Klarlack appliziert. Auf der linken Karosserie-seite beträgt die Schichtdicke 59,67 µm und die rechte Karosserie-seite weist eine Schichtdicke von 64,49 µm auf. Entsprechend ergibt sich ein Delta von 4,82 µm. Aufaddiert ergibt sich ein Delta von insgesamt 6,38 µm, wobei die rechte Karosserie-seite insgesamt eine höhere Schichtdicke aufweist. [20; 21]

3.1.1 Unterschied zwischen IPP1 und IPP2

Die Abbildung 23 (links) wird mit einem Parameter geführt, welches sich auf die Linie 1 bezieht. Derselbe Parameter, jedoch für die Linie 2 wird für die Abbildung 24 (rechts) berücksichtigt. Die Daten stammen aus dem Monat Juni im Jahr 2022. Durch die Unterteilung in die jeweiligen Linien, wird man den Versatz besser analysieren und nachvollziehen können.

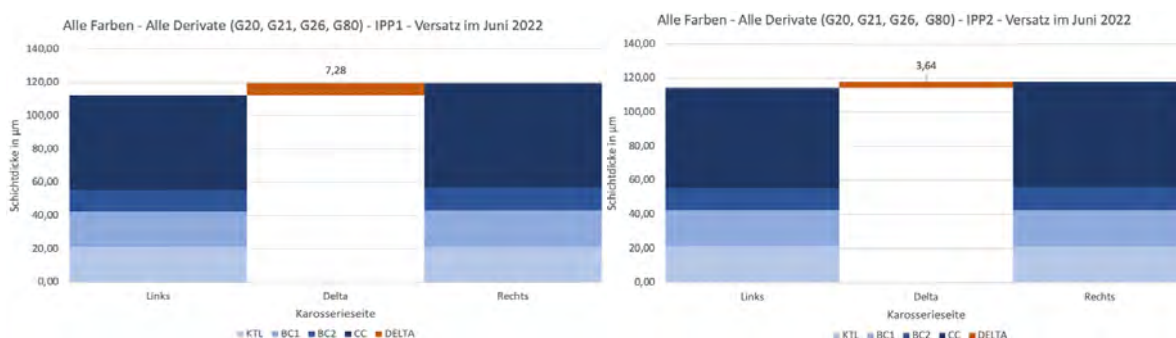


Abbildung 23: Parameter IPP1 mit allen Farben und allen Derivaten (links)

Abbildung 24: Parameter IPP2 mit allen Farben und allen Derivaten (rechts)

Durch die Diagramme wird ersichtlich, dass dieselben Lackschichten sich aufaddieren. Im Bereich Klarlack wird veranschaulicht, dass in diesem Bereich die Hauptdifferenzen liegen. In der IPP-Linie 1 beträgt die Schichtdicke der KTL-Schicht auf der linken Karosserie-seite 21,24 µm, während die rechte Karosserie-seite einen Wert von 21,12 µm aufweist. Dies ergibt ein Delta von 0,12 µm im Betrag. Auf die KTL-Schicht wird die Base Coat 1-Schicht appliziert. Die linke Karosserie-seite weist einen Wert von 21,17 µm auf, während bei der rechten Karosserie-seite ein Wert von 22,15 µm nachgemessen wurde. Verrechnet ergibt sich eine Differenz von 0,98 µm. Anschließend wird der Base Coat 2 appliziert. Hierbei weist die linke Karosserie-seite eine Schichtdicke von 12,82 µm auf, während die rechte Karosserie-seite einen Wert von 13,46 µm aufzeigt. Hierbei ergibt sich eine Differenz im Bereich BC2 von 0,64 µm. Im Bereich des Klarlacks zeigt die linke Karosserie-seite einen Wert von 57,12 µm an. Dem gegenüber steht der Wert 62,90 µm auf der rechten Karosserie-seite. Daraus resultiert sich ein Delta von 5,78 µm. Aufaddiert ergibt sich ein

Versatz von 7,28 µm für die IPP-Linie 1. Hierbei zeigt die rechte Karosserie-seite eine insgesamt höhere Schichtdicke auf. [20; 21]

Die Abbildung 23 (rechts) wurde nach dem Parameter der IPP-Linie 2 gefiltert. Hierbei beträgt die Schichtdicke bei der KTL auf der linken Karosserie-seite 21,22 µm, während die rechte Karosserie-seite einen Wert von 21,04 µm aufweist. Die Differenz beläuft sich auf 0,18 µm im Betrag. Die auf die KTL-Schicht applizierte BC1-Schicht weist auf der linken Karosserie-seite einen Wert von 21,11 µm auf. Dem steht der Wert von 21,47 µm auf der rechten Karosserie-seite gegenüber. Das Delta beläuft sich auf 0,36 µm. Die anschließende BC2-Schicht verzeichnet auf der linken Karosserie-seite einen Wert von 13,29 µm, die rechte Karosserie-seite zeigt einen Wert von 13,71 µm auf. Daraus resultiert sich ein Delta von 0,42 µm. Als letzte Schicht wird der Klarlack appliziert. Dieser weist auf der linken Karosserie-seite eine Schichtdicke von 58,60 µm und auf der rechten Karosserie-seite eine Schichtdicke von 61,63 µm auf. Hierbei ergibt sich eine Differenz von 3,04 µm. Addiert man alle Differenzen zusammen, so ergibt sich ein Gesamtversatz von 3,64 µm. Dabei hat die rechte Karosserie-seite einen höheren Schichtdickenwert als die linke Karosserie-seite. [20; 21]

3.1.2 Unterschied zwischen IPP1 und IPP2 mit ausgewählten Derivaten

Die nachfolgende Abbildung 25 (links) und 26 (rechts) enthalten gefilterte AQM-Daten aus dem Monat Juni 2022, die weiter präzisiert wurden. Es ist der Mittelwert über alle Karossen mit den gleichen Türen vorne, im Zeitraum Juli dargestellt.

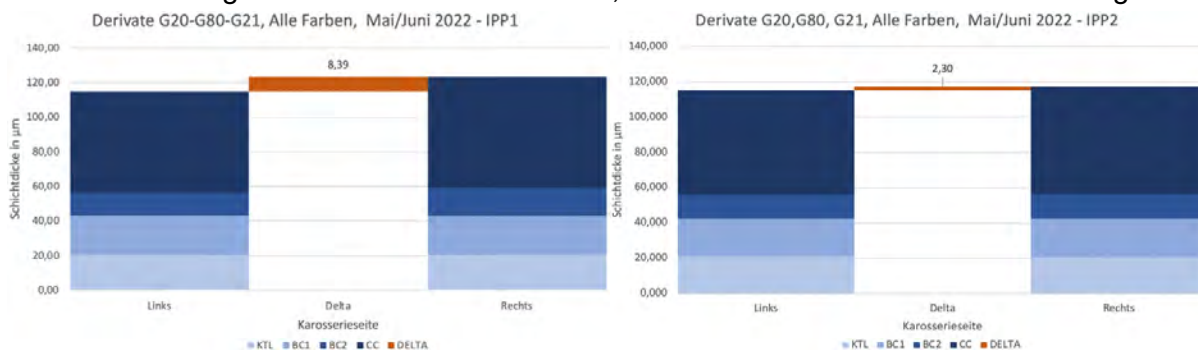


Abbildung 25: Parameter IPP1 mit allen Farben und Derivat G20-G21-G80

Abbildung 26: Parameter IPP2 mit allen Farben und Derivat G20-G21-G80

In der IPP-Linie 1 beträgt der Wert der KTL-Schicht, der linken Karosserie-seite 20,54 µm. Die rechte Karosserie-seite hat einen KTL-Wert von 20,42 µm zu verzeichnen. Daher ergibt sich ein Versatz von 0,12 µm im Betrag, im Bereich der KTL. Der darauffolgende Base Coat 1, hat auf der linken Karosserie-seite einen Wert von 22,67 µm zu verzeichnen, während die rechte Karosserie-seite einen Wert von 22,54 µm aufweist. Entsprechend ergibt sich ein Versatz im Bereich des Base Coats 1 von 0,13 µm im Betrag. Der Base Coat 2 weist eine Schichtdicke von 13,31 µm auf der linken Karosserie-seite auf, während die rechte Karosserie-seite eine Schichtdicke von 16,27 µm aufweist. Daher liegt der Versatz im Bereich BC2 bei 2,96 µm. Die Klarlackschicht weist auf der linken Karosserie-seite einen Wert von

58,31 μm auf. Die rechte Karosserie-seite hat einen Wert von 64,00 μm . Es resultiert ein Gesamtversatz im Bereich Klarlack von 5,69 μm . Aufaddiert ergibt sich ein Versatz von 8,39 μm in der IPP-Linie 1. Die rechte Karosserie-seite hat insgesamt eine höhere Schichtdicke als die linke Karosserie-seite. [20; 21]

Die Werte von der IPP-Linie 1 mit ausgewählten Derivaten werden mit der IPP-Linie 2 verglichen. Die Schichtdicke bzgl. der KTL-Schicht auf der linken Karosserie-seite beträgt 21,06 μm , während die rechte Karosserie-seite eine Schichtdicke von 20,83 μm verzeichnet. Entsprechend ergibt sich ein Delta von 0,22 μm im Betrag. Die Base Coat 1 Schicht beträgt auf der linken Karosserie-seite 21,41 μm . Die rechte Karosserie-seite hat einen Wert von 21,71 μm . Daher ergibt sich ein Delta in der Schicht BC1 von 0,30 μm . Bei der BC2-Schicht weist die linke Karosserie-seite eine Schichtdicke von 13,33 μm auf. Dem steht der Wert der rechten Karosserie-seite von 13,53 μm gegenüber. Es ergibt sich ein Delta von 0,20 μm für die BC2-Schicht. Der Klarlack weist auf der linken Karosserie-seite einen Wert von 59,13 μm auf, während die rechte Karosserie-seite einen Wert von 61,15 μm aufweist. Dahingehend ergibt sich insgesamt für die IPP-Linie 2 im Bereich Klarlack, ein Delta von 2,02 μm . Werden die Deltas in den einzelnen Schichten addiert, ergibt sich ein Gesamtversatz auf der IPP-Linie 2 von 2,30 μm . Erneut besitzt die rechte Karosserie-seite eine höhere Schichtdicke als die linke Karosserie-seite. [20; 21]

3.1.3 Unterschied zwischen IPP1 und IPP2 mit ausgewählten Derivaten und ausgewähltem Farbton

Die nachfolgende Abbildung 27 und 28 enthalten den Farbton Parameter Saphir-Schwarz. Das Diagramm mit der Abbildung 27 wird auf die Linie 1 begrenzt und auf die Derivate G20, G21 und G80. Die Abbildung 28 enthält dieselben Derivate und denselben Farbton, jedoch mit dem Parameter der Linie 2. [20; 21]

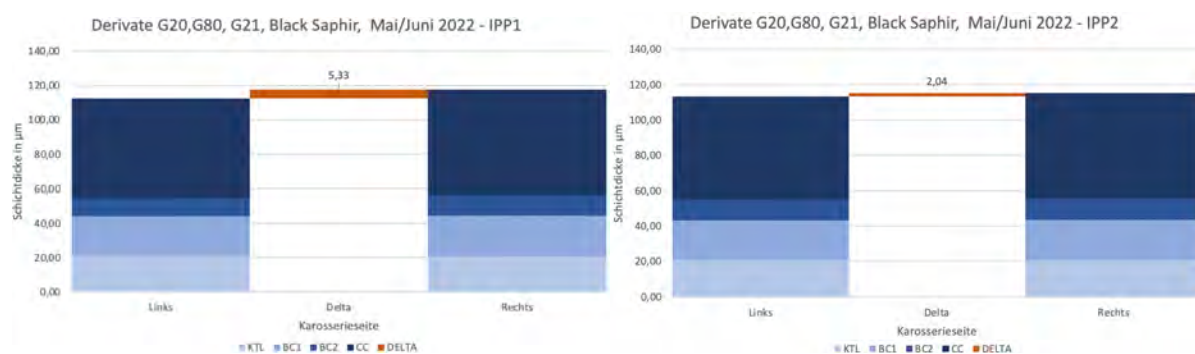


Abbildung 27: Parameter IPP1 mit Black Saphir und Derivat G20-G21-G80

Abbildung 28: Parameter IPP2 mit Black Saphir und Derivat G20-G21-G80

Aus der Abbildungen 27 wird ersichtlich, dass die KTL-Schicht auf der linken Karosserie-seite 21,03 μm beträgt. Die rechte Karosserie-seite weist eine KTL-Schicht von 20,90 μm auf. Daher ergibt sich ein Delta von 0,13 μm im Betrag. Die darauffolgende BC1-Schicht weist auf der linken Karosserie-seite einen Wert von 22,98 μm auf, während die rechte Karosserie-seite einen erhöhten Wert von 23,78 μm aufzeigt. Das daraus resultierende Delta liegt bei 0,80 μm für die BC1-Schicht. Die BC2-Schicht, welches den Farbton bestimmt, hat auf der linken

Karosserie-seite einen Wert von 11,00 μm zu verzeichnen, während die rechte Seite einen Wert von 11,61 μm aufzeigt. Daher liegt das Delta bei 0,61 μm , wobei die rechte Karosserie-seite eine höhere Schichtdicke aufweist. Dies spiegelt sich im Bereich des Klarlacks wieder. Hierbei besitzt die linke Karosserie-seite eine Schichtdicke von 57,44 μm und die rechte Karosserie-seite zeigt eine Schichtdicke von 61,49 μm . Es resultiert im Bereich des Klarlacks eine Differenz von 4,05 μm , wobei die rechte Karosserie-seite insgesamt einen höheren Wert aufzeigt. Generell hat sich ein Versatz von 5,33 μm ergeben. [20; 21]

Die Abbildung 28 zeigt, dass die linke Karosserie-seite im Bereich der KTL bei 21,07 μm liegt. Die rechte Karosserie-seite weist einen Wert von 20,94 μm und liegt damit unter dem Wert der linken Karosserie-seite. Es resultiert ein Delta im Bereich KTL von 0,13 im Betrag. Die nächste Schicht, welches der Base Coat 1 ist, beschreibt auf der linken Karosserie-seite einen Wert von 22,40 μm . Dabei liegt der Wert der rechten Karosserie-seite bei 22,69 μm . Dies entspricht einer Differenz von 0,28 μm , die im Bereich BC1 auftritt. Der Base Coat 2 weist auf der linken Karosserie-seite einen Wert von 11,52 μm auf, während die rechte Karosserie-seite einen Wert von 12,00 μm aufweist. Daraus ergibt sich eine Differenz von 0,47 μm . Im Bereich Klarlack weist die linke Karosserie-seite einen Wert von 58,40 μm auf, dem steht der Wert der rechten Karosserie-seite gegenüber mit 59,81 μm . Es ergibt sich eine Differenz von 1,41 μm . Addiert man die Differenzen aus den einzelnen Lackschichten zusammen, so erhält man einen Gesamtversatz von 2,04 μm auf der IPP-Linie 2 mit dem Farbton Black Saphir. [20; 21]

3.1.4 Temperatureinfluss auf die Lackieranlage

Die nachfolgende Abbildung 29 zeigt einen Auszug aus einer Datenanalyse vom November 2021. Zu Beginn sind Diagramme nicht mit Parametern gefiltert. Im weiteren Verlauf des Abschnitts werden die Diagramme mit mehreren Parametern ergänzt, um präzisere Daten zu erhalten. Die Messdaten wurden von den vorderen Türen entnommen. Die Farbtöne Black Sapphire Met und Dravitgrau Metallic werden näher untersucht. Am Ende erhält man einen präzisen Überblick, über die Schichtdickenentwicklung im Zeitraum November 2021. (Anhang B)

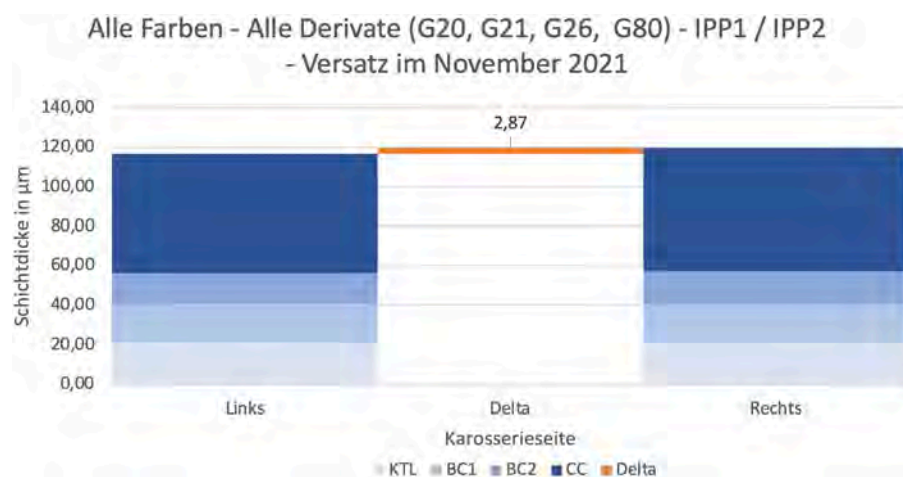


Abbildung 29: Schichtdickenversatz an der Tür vorne insgesamt im Winter

Das Diagramm enthält die Lackschichten KTL, BC1 und BC2 und den Klarlack. Für die präzise Betrachtung ist es nötig, jegliche Schichtdicken einzeln zu untersuchen. Bei der Betrachtung der KTL-Schicht beträgt die Schichtdicke auf die linke Karosserie-seite 21,33 μm . Die rechte Karosserie-seite zeigt einen Wert von 21,08 μm im Bereich der KTL. Die Differenz beträgt im Bereich der KTL 0,25 μm im Betrag. Die darauffolgende BC1-Schicht beträgt auf der linken Karosserie-seite 19,42 μm . Dem gegenüber steht der Wert der Karosserie-seite mit 19,49 μm . Es ergibt sich ein Delta von 0,06 μm im Bereich der Base Coat 1-Schicht. Bei der farntonbestimmenden Schicht liegt der Wert auf der linken Karosserie-seite bei 15,66 μm . Dem steht der Wert 16,46 μm auf der rechten Karosserie-seite gegenüber. Daraus resultiert ein Delta von 0,79 μm im Base Coat 2. Im letzten Schritt wird der Klarlack appliziert. Hierbei weist die linke Karosserie-seite eine Schichtdicke von 60,35 μm auf, die rechte Karosserie-seite dagegen ein Schichtdicke von 62,62 μm . Daraus resultiert ein Versatz von 2,27 μm im Bereich des Klarlacks. Aufaddiert ergibt sich ein Gesamtversatz von 2,87 μm . Um ein genaueres Bild wie zu den Sommermonaten zu erhalten, werden die Werte auf zwei Diagramme aufgeteilt, welche sich auf die Linie 1 und Linie 2 beziehen. [20; 21]

3.1.5 Unterschied IPP1 und IPP2 im November

Aus der Abbildung 30 wird ersichtlich, dass die Linien getrennt wurden. Entsprechend werden die verschiedenen Lackschichten im Detail betrachtet.

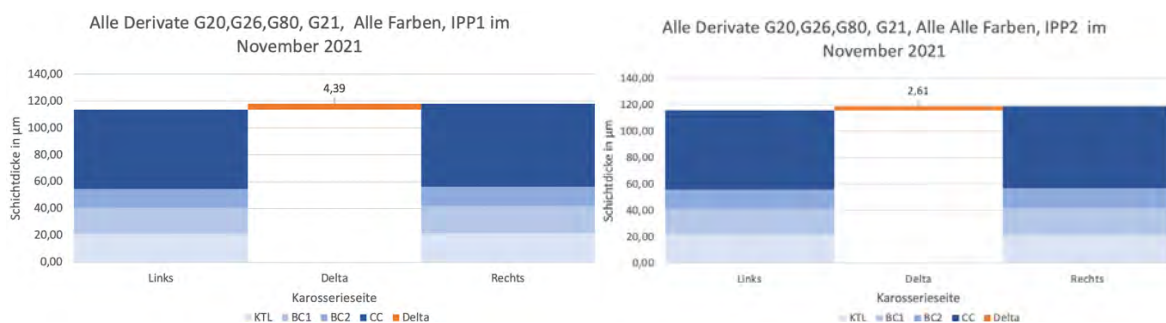


Abbildung 30: Parameter IPP1 mit allen Farben und allen Derivaten (links)

Abbildung 31: Parameter IPP2 mit allen Farben und allen Derivaten (rechts)

Beginnend mit der KTL-Schicht, welche auf der linken Karosserie-seite einen Wert von 21,52 μm aufzeigt und auf der rechten Karosserie-seite einen Wert von 21,64 μm aufweist, resultiert ein Delta von 0,13 μm im Bereich der KTL-Schicht. Im Bereich des Base Coat 1 ergibt sich eine Schichtdicke von 19,24 μm auf der linken Karosserie-seite und auf der rechten Karosserie-seite ein Wert von 20,39. Entsprechend resultiert eine Differenz von 1,15 μm . Die darauffolgende Schicht (BC2), zeigt auf der linken Karosserie-seite eine Schichtdicke von 13,72 μm an, während die rechte Karosserie-seite einen Wert von 14,19 μm aufzeigt. Daher entsteht ein Delta von 0,47 μm . Im letzten Schritt wird die Klarlackschicht betrachtet. Hierbei lässt sich ablesen, dass die linke Karosserie-seite einen Wert von 59,03 μm aufzeigt, während die rechte Karosserie-seite einen Wert von 61,68 μm aufweist. Daher ergibt sich im Bereich des Klarlacks eine Differenz von 0,47 μm . Summiert man die Differenzen, ergibt sich ein Gesamtversatz von 4,39 μm auf der Linie 1. [20; 21]

Die Abbildung 31 betrachtet die Linie 2 mit den allen Derivaten und allen Farbtönen. Bei näherer Betrachtung erkennt man, dass in jeder Lackschicht eine Differenz vorliegt. Bei der KTL liegt die Schichtdicke auf der linken Karosserie-seite bei 21,61 µm. Dabei zeigt die rechte Karosserie-seite einen Wert von 21,35 µm auf. Daher ergibt sich eine Differenz von 0,26 µm im Betrag. Im Bereich des BC1 liegt der Wert der linken Karosserie-seite bei 19,79 µm. Dem steht der Wert der rechten Karosserie-seite mit 20,52 µm gegenüber. Daraus resultiert für die BC2-Schicht eine Differenz von 0,74 µm. Bei dem Base Coat 2 weist die linke Karosserie-seite einen Wert von 14,35 µm. Die rechte Karosserie-seite weist einen Wert von 14,62 µm auf. Daher ergibt sich im Bereich BC2 ein Delta von 0,28 µm. Im Bereich des Klarlacks weist die linke Karosserie-seite einen Wert von 60,11 µm auf, während die rechte Karosserie-seite einen Wert von 61,96 µm aufweist. Es resultiert ein Delta im Bereich des Klarlacks von 1,85 µm. Addiert man die Differenzen zusammen, so ergibt sich im Durchschnitt für die Linie 2 ein Wert von 2,61 µm. [20; 21]

3.1.6 Unterschied IPP1 und IPP2 mit ausgewählten Derivaten im November

Bei den Diagrammen wurden Derivate ausgewählt, die die Baugleiche Tür vorne verbaut haben. Nur das Bauteil Tür vorne rechts und links wurde betrachtet. Zusätzlich bleibt der Vergleich zwischen beiden Linien mit allen Farbtönen.

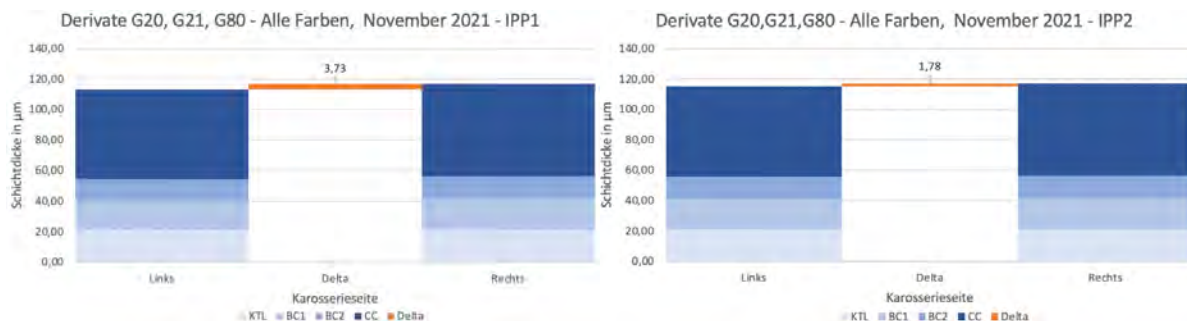


Abbildung 32: Parameter IPP1 mit allen Farben und Derivat G20-G21-G80 (links)

Abbildung 33: Parameter IPP2 mit allen Farben und Derivat G20-G21-G80 (rechts)

Die Abbildung 32 zeigt die einzelnen Schichtdicken in der IPP-Linie 1 an. Die linke Karosserie-seite hat im Bereich der KTL-Schicht einen Wert von 21,23 µm. Dem steht der Wert der rechten Karosserie-seite mit 21,17 µm gegenüber. Daraus resultiert eine Differenz von 0,06 µm im Betrag, im Bereich der KTL. Die anschließende BC1-Schicht, weist eine Abweichung in diesem Bereich von 1,48 µm auf, resultierend aus den Werten der linken Karosserie-seite mit 19,24 µm und der rechten Karosserie-seite mit dem Wert 20,72 µm. Die BC2-Schicht weist auf der linken Karosserie-seite einen Wert von 14,14 µm auf, während die rechte Karosserie-seite mit einem Durchschnittswert von 14,51 µm gemessen worden ist. Daraus ergibt sich ein Delta von 0,38 µm. In der letzten Schicht, die appliziert wird, dem Klarlack, ergab sich ein Delta von 1,93 µm. Dies resultierte aus einer Schichtdicke von 58,58 µm auf der linken Karosserie-seite und einer Schichtdicke der rechten Karosserie-seite von

60,51 μm . Aufaddiert ergibt sich ein Gesamtversatz von 3,73 μm in der Linie 1 mit den ausgewählten Derivaten. [20; 21]

Die Abbildung 33 visualisiert die einzelnen Schichtdicken in der IPP-Linie 2, mit den ausgewählten Derivaten. Beginnend mit der KTL-Schicht, weist die linke Karosserie-seite einen Wert von 21,23 μm auf. Die rechte Karosserie-seite zeigt einen Wert von 20,89 μm auf. Daher ergibt sich eine Differenz von 0,34 μm im Betrag. Die darauf applizierte Schicht, die BC1-Schicht, weist auf der linken Karosserie-seite eine Schichtdicke von 19,73 μm auf, während die rechte Karosserie-seite eine Schichtdicke von 20,64 μm aufweist. Daraus resultiert sich eine Differenz von 0,91 μm im Bereich des Base Coat 1. Die BC2-Schicht wurde auf der linken Karosserie-seite mit durchschnittlich 14,80 μm gemessen, während die rechte Karosserie-seite mit einem Wert von 14,88 μm gemessen wurde. Es ergibt sich ein Delta von 0,08 μm im Bereich der BC2-Schicht. Im Letzten Prozessschritt wird der Klarlack analysiert. Hierbei beträgt der Wert der linken Karosserie-seite 59,70 μm . Die rechte Karosserie-seite weist einen Wert von 60,83 μm auf. Es ergibt sich ein Gesamtversatz von 1,13 μm im Bereich der KTL. Aufaddiert summieren sich die Deltas zu einem Wert von 1,78 μm auf der IPP-Linie 2. [20; 21]

Die Nachfolgende Abbildung 34 und 35 beinhalten den Farbton Saphir-Schwarz. Zusätzlich sind die bestehenden Parameter geblieben. Die Unterscheidung wird auf beiden Linien beibehalten.

3.1.7 Unterschied IPP1 und IPP2 mit ausgewählten Derivaten und ausgewähltem Farbton im November

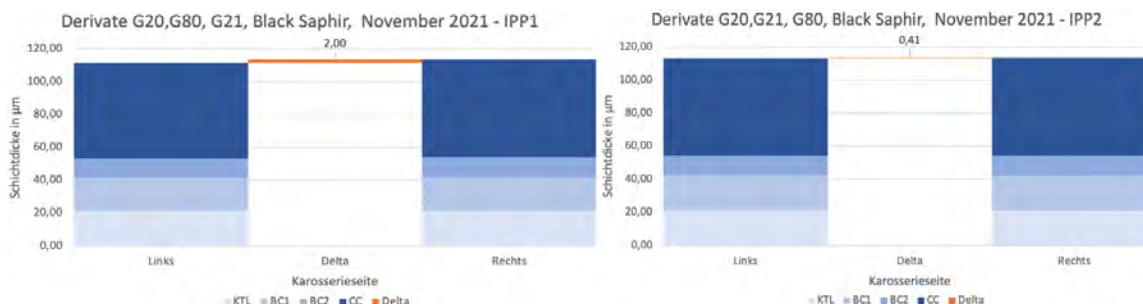


Abbildung 34: Parameter IPP1 mit Black Saphir und Derivat (G20-G21-G80) November

Abbildung 35: Parameter IPP2 mit Black Saphir und Derivat (G20-G21-G80) November

Beginnend mit der KTL-Schicht auf der IPP-Linie 1, weist die linke Karosserie-seite eine Schicht mit dem Wert 21,18 μm auf. Die rechte Karosserie-seite ist mit dem Wert 20,96 μm belegt. Es ergibt sich eine Differenz von 0,22 μm im Betrag. Die BC1-Schicht weist auf der linken Karosserie-seite eine Schichtdicke von 20,37 μm auf, während die rechte Karosserie-seite einen Wert von 21,07 μm aufweist. Das Delta liegt hierbei bei 0,70 μm , im Bereich des Base Coat 1. Bei der Farbtonbestimmenden Lackschicht, liegt der Wert bei der linken Karosserie-seite bei 11,58 μm . Dem steht der Wert der rechten Karosserie-seite mit 12,22 μm gegenüber. Daraus resultiert eine Differenz von 0,64 μm in der farbtonbestimmenden Lackschicht. Die final aufgetragene Klarlackschicht weist auf der

linken Karosserie-seite einen Wert von 58,34 μm auf. Die rechte Karosserie-seite zeigt einen Wert von 59,21 μm auf.

Daher ergibt sich in der Linie 1 eine Differenz von 0,88 μm , was insgesamt zusammenaddiert einen Wert von 2,00 μm entspricht. [20; 21]

Die IPP-Linie 2 weist andere Werte auf und sind beinahe ausgleichen. Dies wird in den näheren Betrachtungen der einzelnen Schichten deutlich. Die linke Karosserie-seite zeigt im Bereich der KTL eine Schichtdicke von 21,27 μm auf. Dem steht der Wert der rechten Karosserie-seite gegenüber mit 20,96 μm . Es resultiert im Bereich des KTL ein Delta von 0,32 μm im Betrag. Die darauffolgende BC1-Schicht zeigt im Bereich der linken Karosserie-seite einen Wert von 21,04 μm , während die rechte Karosserie-seite einen Wert von 21,20 μm aufweist. Es ergibt sich eine Differenz von 0,15 μm . Die BC2-Schicht zeigt eine Schichtdicke von 11,86 μm auf der linken Karosserie-seite auf. Die rechte Karosserie-seite hingegen weist eine Schichtdicke von 12,15 μm auf. Daher ergibt sich ein Delta von 0,29 μm . Im letzten Prozessschritt wird der Klarlack appliziert. Hierbei beträgt der Wert der linken Karosserie-seite 59,06 μm . Die rechte Karosserie-seite zeigt einen Wert von 59,35 μm auf. Insgesamt ergibt sich ein Versatz von 0,41 μm auf der Linie 2. [20; 21]

3.2 Ausgangssituation und Ablauf

Im folgenden Kapitel werden die nötigen Analysen durchgeführt und dokumentiert, um die Einflussfaktoren in Bezug auf den Schichtdickenversatz zu erschließen. Zuvor wurde mittels Analysen bestätigt, dass in der Produktion ein Versatz entstehen kann. Daher wird sich an der Methode von Ishikawa orientiert. Um die entsprechenden Parameter des Ishikawa-Diagramms zu ermitteln, wird mit mehreren Spezialisten die Situation diskutiert. Die Spezialisten stammen aus unterschiedlichen Abteilungen wie z.B. aus der Instandhaltung, Betreiber, Prozessabteilung und Programmierung. Diese besitzen viel Wissen und Erfahrung. Die wichtigsten Parameter zu dem Problem des Schichtdickenversatz wurden ermittelt und mittels einer Mindmap festgehalten. Die jeweiligen Parameter werden in einzelnen Unterkapiteln benannt und erläutert. Zum einen wird auf bestehende Datensätze zurückgegriffen und zum anderen müssen Versuche durchgeführt werden. Die nachfolgende Darstellung weist auf die möglichen Einflussfaktoren hin.

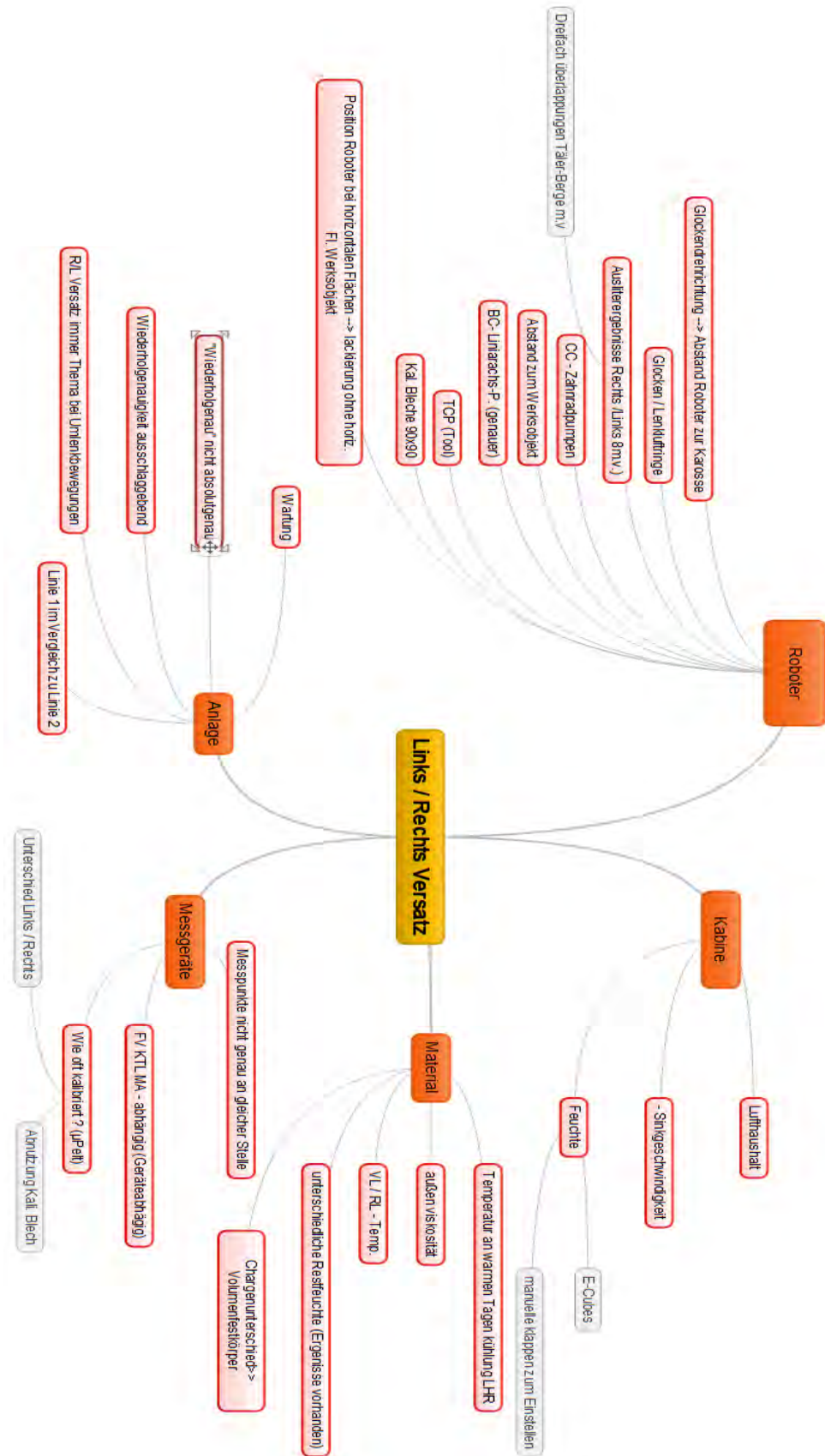


Abbildung 36: Mindmap von Einflussfaktoren für den Schichtdickenversatz

Aus der Mindmap geht hervor, welche Themenbereiche die einzelnen Parameter enthalten. Die übergeordneten Themengebiete sind in Dunkelorange gehalten. Zu den großen Themengebieten gibt es einzelne punktuelle Ansätze, die entsprechend in der Bachelorarbeit behandelt werden. Um eine sinnvolle Einteilung zu erzielen, welche Themen mit welcher Priorität behandelt werden, wird eine Bewertungsmatrix erstellt.

	Zeit	Aufwand	Kosten	Informationen	SUMME	Skala
Glockendrehrichtung	4	1	3	3	11	5 - Sehr Hoch
Overspray - Versuch mit Karosserie	3	3	2	2	10	4 - Hoch
Messgeräte Überprüfung	3	2	1	3	9	3 - Mittel
Roboterabstände in der Anlage IPP	2	2	1	3	8	2 - Gering
Ausliterdaten	2	2	1	2	7	1 - Sehr Gering
Glockendrehrichtung mit Bahnlinien	1	1	3	2	7	

Abbildung 37: Bewertungsmatrix der Einflussfaktoren

Die Abbildung 37 zeigt die Einflussfaktoren und deren Gewichtung. Die Skala für die Gewichtung wird aus der rechten Seite der Abbildung ersichtlich. Einflussfaktoren, die einen Versuch beinhalten, bringen hohe Kosten mit sich. Daher werden diese Faktoren mit dem Faktor drei versehen. Einflussfaktoren, die viele Hintergrundinformationen beinhalten, benötigen eine ausführliche Recherche. Daher stellt dies ebenfalls einen Zeitfaktor dar. Der letzte Parameter beschreibt den Aufwand eines Einflussfaktors, dies beinhaltet z.B. die Organisation eines Versuchs. Mit Hilfe dieser Matrix, wurden die wichtigsten Einflussfaktoren ermittelt bzw. festgelegt.

3.3 Glockendrehrichtung

Wenn eine Karosserie die IPP-Anlage durchläuft, sind die Roboter auf beiden Karosserie-seiten positioniert. Da sich die Hochrotationzerstäuber im Uhrzeigersinn drehen ergeben sich unterschiedliche Drehrichtungen. Während die Hochrotationzerstäuber auf der rechten Karosserie-seite im Uhrzeigersinn drehen, drehen sich die Hochrotationzerstäuber auf der linken Seite gegen den Uhrzeigersinn. Um herauszufinden, ob dieses Verhalten der Roboter Einfluss auf den Schichtdickenversatz hat, wird folgender Versuch dazu durchgeführt.

3.3.1 Glockendrehrichtung Versuchsaufbau und Beschreibung

Um den Einfluss der Glockendrehrichtung herauszufinden, werden Bleche als Karosserieoberflächenersatz verwendet. Dabei sollen die Bleche jeweils mit der Klarlackschicht appliziert werden. Jedoch soll sich die Glocke auf der einen Seite zunächst im Uhrzeigersinn drehen und auf der gegenüberliegenden Seite gegen den Uhrzeigersinn drehen. Jedes Blech ist auf einer Seite mit einer Phosphatschicht beschichtet. Zunächst wird ein Gestell auf die Förderlinie aufgebaut. Auf dem Gestell wird eine Platte montiert, die als Tisch fungiert. Nachdem der Tisch fest auf dem Gestell montiert ist, werden zwei längliche Aluminiumprofile auf der Platte fixiert. Auf die Aluminiumprofile wird ein U-Profil aus Aluminium montiert.

Das U-Profil dient hierbei als Halterung für die Bleche. Die Bleche werden senkrecht in das U-Profil reingelegt, sodass die Phosphatschicht nach außen zeigt. Anschließend werden die

Bleche mit Schrauben befestigt. Zum Abschluss wird die gesamte Vorrichtung, bis auf das Blech mit Aluminiumfolie abgedeckt.



Abbildung 38: Glockendrehrichtung Versuchsgestell

Die Abbildung 38 zeigt das vollständig aufgebaute Versuchsgestell. Das Gestell besteht aus zwei Einheiten. Die erste Einheit bildet das Gestell, welches auf die Förderlinie gesetzt werden kann. Die zweite Einheit bildet das Aluminiumgestell, welches für die Fixierung der Bleche nötig ist. Die unteren Aluminiumprofile dienen als Halterung für das U-Profil. Nach dem das Gestell auf der Förderlinie aufgestellt wird, muss ein Datensatz programmiert werden, damit der Roboter die entsprechende Bahn fahren kann. Es werden die Koordinaten abgefahren und manuell die Bahnlinie angepasst. Nach dem der Versuchsaufbau entsprechend in der IPP-Anlage positioniert wurde, folgt die beschriebene Programmierung. Zum Abschluss der Vorbereitungen werden die Profile und Gestelle mit Aluminiumfolie bedeckt. Aus der nachfolgenden Abbildung kann man entnehmen, wie produktionsnah der Versuch nachgestellt wird.

Der Roboterarm wird an die Vorrichtung angetastet. So ist sichergestellt, dass ein Abstand von 20 cm eingehalten wird. Das Antasten ist nötig, da die Roboter nicht auf das Versuchsgestell programmiert sind. Daher muss das U-Profil mit den Blechen manuell abgetastet werden. Die Daten werden im Computersystem abgelegt. Nachdem die

Koordinaten abgespeichert sind, wird die nötige Lackmenge eingestellt, die auf das Blech appliziert werden soll.

Nach dem die Vorrichtung optimal ausgerichtet ist und das Programm abgestimmt wurde, wird der Versuch durchgeführt. Hierbei fährt der Roboter viermal mit einer fest definierten Bahnlinie über die Bleche. Damit ist die Versuchsdurchführung abgeschlossen. Zum Abschluss werden die Bleche in einem Ofen eingebrannt. Im letzten Schritt werden die Bleche feinvermessen und ausgewertet.

3.4 Einfluss von Overspray

Im Kapitel 2.1 - Prozessablauf in der Lackieranlage wurde das Phänomen Overspray angeschnitten. Da der Overspray einen Einflussfaktor darstellt, wird dieser Faktor näher untersucht. Von einem Overspray spricht man, wenn eine Fläche mitlackiert wird, die entsprechend dem Lackierprogramm nicht vorgesehen war, lackiert zu werden. Dies hat den Nebeneffekt, dass bestimmte Bereiche von Teiloberflächen eine höhere Schichtdicke aufweisen. Wird eine Fläche wie programmiert lackiert, so hat diese Fläche einen optimalen Wert erreicht. Wird nun eine anliegende Fläche lackiert, so wird ein Teilbereich erneut überlackiert. Hierbei verändert sich die Lackschichtdicke. Verdeutlicht wird dies in der nachfolgenden Abbildung dargestellt.



Abbildung 39: Overspray G81 Frontklappe

Aus der Abbildung 39 wird ersichtlich, wie die Frontklappe üblicherweise mit dem Base Coat 1 lackiert wird. Wichtig ist hierbei die Tatsache, dass die Frontklappe lackiert werden soll. Wie man erkennen kann, wird die Seitenwand vorne ebenfalls mitlackiert. Dies ist nicht gewollt, sondern ein Nebeneffekt des Lackierens mit den Hochrotationszerstäubern.

Um diesen Vorgang mit dem Einfluss auf den Versatz zu untersuchen, wird ein Versuch durchgeführt mit einer anschließenden Feinvermessung.

3.4.1 Versuchsaufbau Overspray - Ohne horizontale Flächen

Zunächst wird eine KTL-Karosserie (G81) durch die IPP-Anlage 1 gefahren. Hierbei wird die Karosserie normal lackiert und durchläuft dabei alle dazugehörigen Stationen. Im Detail wurde die Base Coat 1-Schicht, die Base Coat 2-Schicht und der Klarlack aufgetragen. Die fertig lackierte Karosserie ist aus der Abbildung 40 zu entnehmen. Im Anschluss wird der Lack eingebrannt. Nach dem die Karosserie fertig lackiert bzw. getrocknet wurde, wird die Feinvermessung vorgenommen.



Abbildung 40: G81 Karosserie mit vollständiger Lackierung als Referenz

Der zweite Teil des Versuchs besteht darin, eine weitere KTL-Karosserie (G81) durch die IPP-Anlage 1 zu führen. Der Unterschied liegt hierbei bei der Art und Weise wie die Karosserie lackiert wird. Die Karosserie durchläuft generell alle Stationen in der IPP-Anlage, jedoch wird die Karosserie von zwei Programmierern begleitet. Hinter diesem Vorgang versteckt sich ein enormer Aufwand. Die Programmierer müssen bei jeder Station die Roboter abschalten, sodass die horizontalen Flächen der Karosserie nicht mit lackiert werden. Zu den horizontalen Flächen gehört die Frontklappe, das Dach und die Heckklappe. Indem diese Roboter abgeschaltet werden, werden die horizontalen Oberflächen nicht lackiert, dadurch wird ein Overspray auf die bereits lackierten Oberflächen verhindert. Die anschließende Abbildung lässt deutlich erkennen, dass die horizontale Fläche, die Frontklappe, nicht lackiert wurde. Entsprechend wird ein Fokus auf die anliegenden Blechbereiche gelegt, die dem Overspray im Normalfall unterliegen. Die zutreffenden Bereiche sind in der Abbildung mittels einer Ellipse markiert.



Abbildung 41: Lackierprozess ohne horizontale Flächen

Nachdem der Lackierprozess abgeschlossen ist, wird der Lack eingebrannt und abgekühlt. Damit ist die zweite Karosse ebenfalls optimal durch die Anlage gefahren, jedoch ohne lackierte horizontale Oberflächen. Nun müssen beide Karossen sich einer Feinvermessung unterziehen. Hierbei dient die normal lackierte Karosse als Referenz zu der zweiten Karosse.

3.4.2 Feinvermessung der lackierten Karossen

Die Feinvermessung beschreibt einen Prozess, bei dem die gesamte Karosse auf die Schichtdicke überprüft wird. Hierbei wird eine Schablone aus Leder auf die jeweils zugehörigen Bleche angelegt. Zuvor wird die Schablone präpariert, sodass in die Schablone mehrere Löcher gestanzt werden. Die Löcher haben eine systematische bzw. chronologische Zuordnung. Die Zuordnung vereinfacht die später darauffolgende Analyse. Die Löcher dienen als Orientierungspunkt für das magnetinduktive Messgerät. Hierbei wird der Kopf des Messkörpers mittig auf das vorgestanzte Loch gesetzt. Dabei kommt der Messkopf mit der lackierten Blechoberfläche in Kontakt. Hierbei wird die Gesamtschichtdicke ermittelt.



Abbildung 42: Schablone der Feinvermessung

Die Abbildung 42 zeigt eine Schablone, die wegen einer Feinvermessung benötigt wird. Hierbei sind die ausgestanzten Löcher nummeriert. Dies dient als Orientierung bei dem Messvorgang und hilft bei der späteren Darstellung der Messpunkte.



Abbildung 43: Feinvermessung an der Versuchs Karosse

Wie die Abbildung 43 darstellt, sind die nur die vertikalen Flächen mit den Schablonen abgedeckt. Die horizontalen Flächen wurden mit Absicht nicht mitlackiert. Ersichtlich wird dies an den braun gefärbten Bereichen. Zwar wurde hierbei die Motorhaube geringfügig mitlackiert, jedoch nicht verkehrtherum. Das ist der entscheidende Faktor, da die Seitenbereiche vermessen werden. An der Frontklappe kann man die KTL-Schicht erkennen, die nicht mit dem weißen Lack überlackiert worden ist. Entsprechend wird vor allem an den Blechoberbereichen gemessen, die einen Übergangsbereich zu den horizontalen Flächen bilden.

Die Messdaten werden in eine Excel-Datei geladen, durch ein Makro werden die Einzelwerte in eine vorgefertigte Grafik eingepflegt.

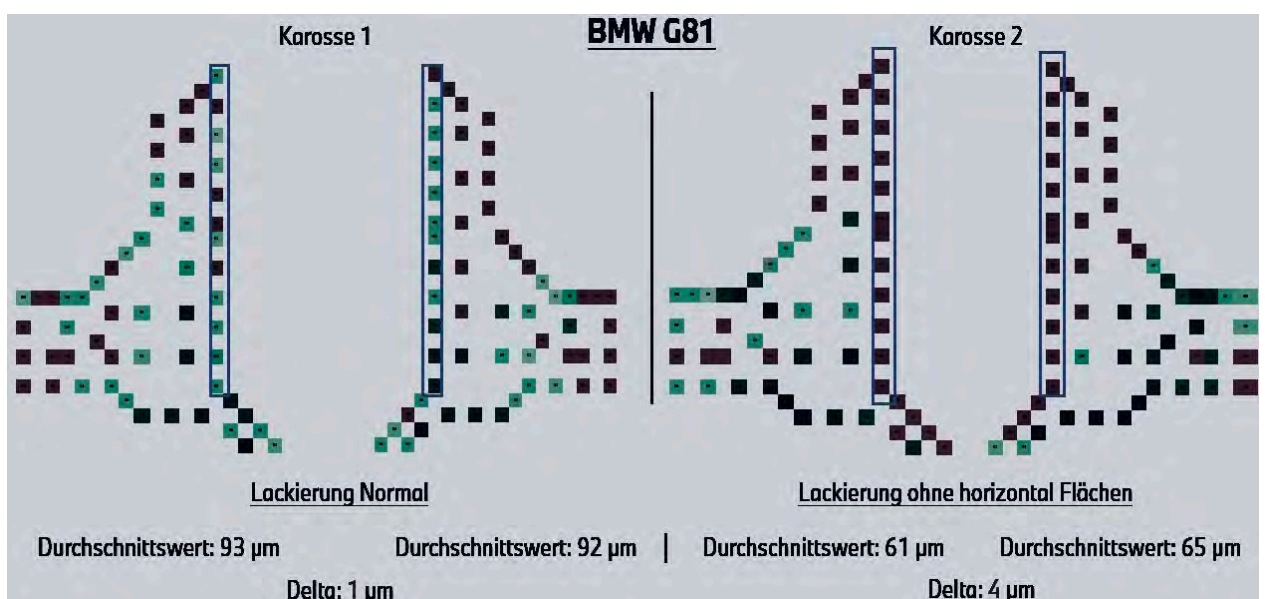


Abbildung 44: Schichtdicken G81 nach vollständiger Lackierung und Teillackierung

Die Abbildung 44 zeigt die Feinvermessung der beiden Versuchskarossen. Auf der linken Grafikseite befinden sich die Ergebnisse aus der Feinvermessung für die vollständig lackierte Karosse. Die rechte Seite spiegelt die Messwerte für die teilweise lackierte Karosse wider. Die Bereiche, welche mit einem Rechteck markiert sind, stellen die relevanten Overspray-Bereiche dar, die entsprechend genau betrachtet werden. Die einzelnen Kästchen stehen für die einzelnen Messpunkte und deren zugehörigen Werte.

Aus der Abbildung 44 kann man erkennen, dass die Durchschnittswerte bei der normal lackierten Karosse fast gleichauf bei 93 und 92 μm liegen. Dem gegenüber stehen die Werte der nicht vollständig lackierten Karosse, diese befinden sich im Bereich von 61 μm bis 65 μm . Die Karosse mit nur zum Teil lackierten Flächen weist eine deutlich höhere Differenz auf. Hierbei beträgt die Differenz bei bis zu 4 μm . Zusätzlich kann man erkennen, dass weitere Unterschiede in Bezug auf die Messwerte auch fernab der blauen Markierung liegen.

3.5 Untersuchung der Messgeräte und deren Kalibration

Die Messdaten sind mit einer der wichtigsten Informationen, die Aufschluss über den Ablauf in der Produktion geben. Daher ist es nötig, die Messdaten von den entsprechenden Geräten auf Ihre Richtigkeit zu prüfen. Aufgrund dieser Grundlage wird ein Versuch geplant, bei dem manuell die Schichtdicken von fertig lackierten Karossen gemessen werden. Als Referenz dienen die Daten der End of Line-Messzelle.

3.5.1 Versuchsaufbau zur Prüfung von Messgeräte Daten

Zunächst wird ein Messpunkt, der mittels Koordinaten im System des EOL hinterlegt ist, definiert. Die End of Line-Messzelle und seine Funktionsweise, werden im Kapitel 2.4.3 näher beschrieben. Anschließend wurde eine Vorrichtung aus Pappe auf die vordere Tür gelegt. Mit den X, Y und den Z Koordinaten wurde der Messpunkt fest auf der Vorrichtung bzw. auf der Pappe aufgezeichnet. Das gleiche Verfahren wurde auf der linken Karosserie-seite durchgeführt. Nachdem der Punkt festgelegt worden ist, wurden markante Karosserie-stellen als Orientierungspunkte verwendet, damit die Vorrichtung immer an derselben Position angelegt wird. Die Markierung, welche Kreisrund ist, wurde freigeschnitten.

3.5.2 Ausführung des Versuchs zur Prüfung der Messgerätedaten

Die fertiggestellte Vorrichtung wird im Bereich Finish eingesetzt. Ausgestattet mit einem Messgerät wurden ca. 40 Karossen am Tag manuell gemessen. Hierbei wurden G20 Karossen ausgewählt. Anschließend wurde die Gesamtschichtdicke ermittelt, jeweils auf der linken und rechten Karosserie-seite. Diese Messdaten wurden abgelegt bzw. gesichert. Zusätzlich wurde ein Gegenwert benötigt, um die Messdaten zu vergleichen. Hierbei wurde auf die End of Line Daten zurückgegriffen, die tagesaktuell waren.

Die nachfolgende Abbildung zeigt die Daten der manuellen Messungen und die der End of Line-Messungen. Die Grafik ist durch eine Y-Achse und eine X-Achse beschrieben, hierbei

stellt die X-Achse die Karosserie-seite, mit der jeweiligen Art der Messung dar. Die Y-Achse zeigt die Schichtdicke in μm an. Die dunkelgrünen Balken stellen die Messwerte der EOL-Anlage dar. Die blauen Balken stellen die Werte der manuellen Messungen dar. Jede Balkengruppe stellt für jede Karosserie-seite einen Mittelwert dar. Die Mittelwerte zeigen, dass die linke vordere Tür generell eine geringere Schichtdicke aufweist als die rechte vordere Tür. Dieselbe Beobachtung lässt sich für die manuell gemessenen Daten erkennen. Bei den manuell gemessenen Türen liegt die Differenz bei $3,90 \mu\text{m}$. Eine deutlich höhere Differenz ist bei den EOL gemessenen Daten vorhanden. Diese liegt bei etwa $7,95 \mu\text{m}$. Grundsätzlich ist der Versatz, unabhängig von der Messmethode erkennbar. Je nach Messmethode schwankt der Versatz. Die rechte Karosserie-seite weist eine höhere Schichtdicke auf bzw. höhere Deltas als die linke Karosserie-seite.

Zusätzlich kann man die Mittelwerte nicht nur unter den gleichfarbigen Balkengruppen miteinander vergleichen, sondern diese mit den anderen gegenüberstellen. So erkennt man, dass sowohl die rechte Karosserie-seite einen höheren Messwert mit manuellen Messungen zeigt als auch die der EOL-Messdaten. Die rechte Karosserie-seite (manuell gemessen), weist einen höheren Messwert von $1,31 \mu\text{m}$ als die rechte Karosserie-seite, welche durch die EOL erfasst wurde. Gleiches gilt für die linke Karosserie-seite, hierbei zeigt sich, dass der Wert durch die manuelle Messmethode einen Wert von $107,21 \mu\text{m}$ aufzeigt, während der EOL-Messwert bei $101,85 \mu\text{m}$ liegt. Daher ergibt sich eine Differenz von $5,36 \mu\text{m}$.

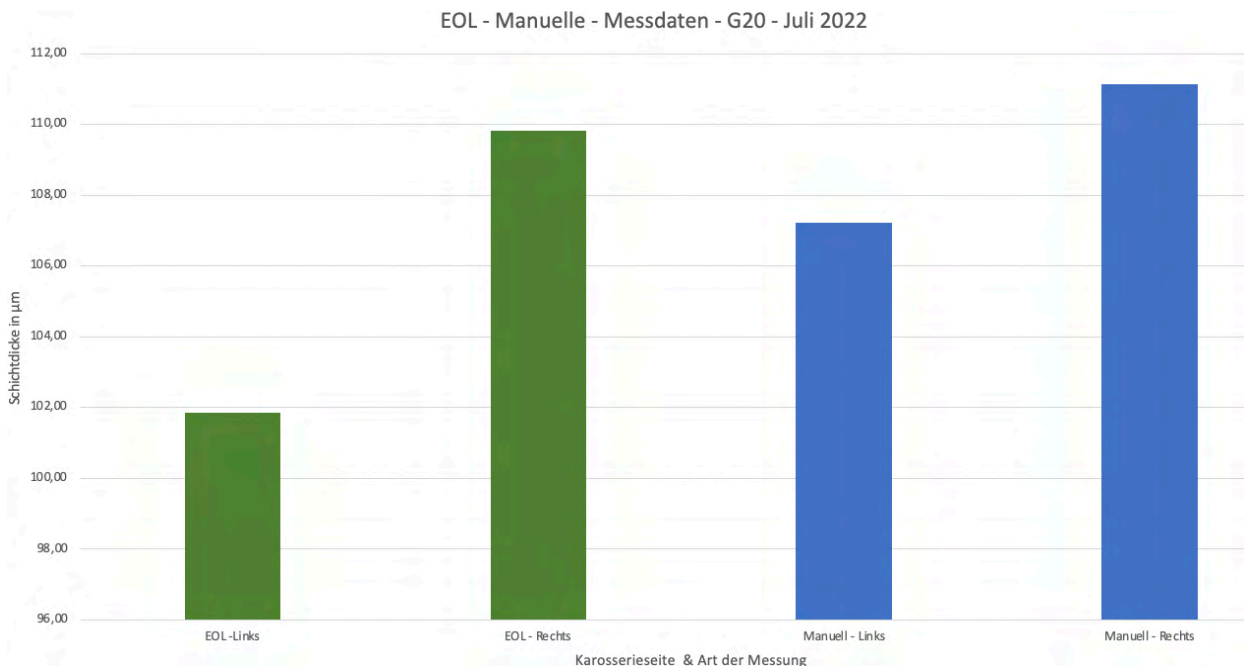


Abbildung 45: Manuelle Messungen und EOL - Messungen

3.6 Roboter Abstände in den Integrated Paint Process Anlagen

Die Roboterposition stellt einen wichtigen Einflussfaktor dar. Daher wird auf einen Bericht eingegangen, der intern im Werk München diese Problematik behandelt. Die Roboterpositionen wurde 2018 geprüft, da es in der Vergangenheit zu Problemen bei der Lackierqualität kam.

Generell wurden hierbei die Karossen von den IPP-Anlagen 1 und 2 betrachtet und überprüft. Im genaueren Prüfverfahren wurden die Offlinedaten der Roboter mit den in der Anlage hinterlegten Daten verglichen. Zusätzlich wurden die Öffnungswinkel der Haube, der Türen und der Heckklappe durch die Roboter, darauf geprüft, ob die Roboter die Werte mit den Offlinedaten mit einer Toleranz von 2 Grad einhalten. Des Weiteren wurde betrachtet, ob sich die Türen einer Karosse richtig verschieben, selbst wenn der Öffnungswinkel verändert wird.

Um zu prüfen, ob die Offlinedaten mit denen in der Anlage übereinstimmen, wurden Messungen vorgenommen. Hierbei wurden spezielle Punkte an der A-Säule und auf dem Dach einer Karosserie gewählt. Daraus haben sich folgende Daten ergeben. [19, S.3]

Messwerte							Abweichung zu CAD-Daten							
A22	A-Säule			Dach hinten			A-Säule			Dach hinten			$\Delta(x,y,z)$ A-Säule	$\Delta(x,y,z)$ Dach hinten
	x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z		
R11	686	-757	639	2641	-544	998	-6	-13	-10	-5	-13	-6	17,5	15,2
R12	688	754	639	2644	545	997	-4	10	-10	-2	14	-7	14,7	15,8
R21	686	-732	639	2646	-521	1001	-6	12	-10	0	10	-3	16,7	10,4
R22	679	739	647	2635	524	1006	-13	-5	-2	-11	-7	2	14,1	13,2

Zu 1 a: softwaretechnisch angeglichen mit richtigem Tool:

Messwerte							Abweichung zu CAD-Daten							
A22	A-Säule			Dach hinten			A-Säule			Dach hinten			$\Delta(x,y,z)$ A-Säule	$\Delta(x,y,z)$ Dach hinten
	x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z		
R11	683	-744	646	2637	-531	1005	-9	0	-3	-9	0	1	9,5	9,1
R12	685	741	646	2640	532	1004	-7	-3	-3	-6	1	0	8,2	6,1
R21	685	-745	647	2645	-534	1008	-7	-1	-2	-1	-3	4	7,3	5,1
R22	688	744	658	2644	529	1010	-4	0	9	-2	-2	6	9,8	6,6

Abbildung 46: Messdaten in der Lackieranlage (Screenshot aus Dokument) [19, S. 6]

Wie die Abbildung 46 zeigt, gab es im ersten Schritt deutliche Deltas. Die Bezeichnungen R11, R12, R21 und R22 stehen für die einzelnen Roboter in der Anlage. Entsprechend kann man die Differenzen zu den normalerweise vorgegebenen Daten in den roten Feldern erkennen. Nachdem eine Veränderung an der Software vorgenommen wurde, fand erneut eine Messung statt. Die Veränderungen an der Software hatten einen erheblichen Einfluss auf die neuen Messdaten. Wie aus der Abbildung hervorgeht, befinden sich alle Messwerte nach der Softwarekorrektur im Toleranzbereich.

Bei weiteren Versuchen wurden die Öffnungswinkel an den Karossen beobachtet und gemessen. Hierbei lagen alle Vorgänge innerhalb der Toleranz von +/- 3 Grad.

Nachdem verschiedene Öffnungswinkel angewandt wurden, konnten keine Abweichungen festgestellt werden. Entsprechend waren die Winkel nachvollziehbar, da die Türen und Klappen in die richtige Richtung und im richtigen Verhältnis geöffnet sind.

Insgesamt gibt es keine Auffälligkeiten, die auf ein Problem hindeuten und einen Einfluss auf den Schichtdickenversatz haben könnten.

3.7 Ausliterdaten von Integrated Paint Process Anlagen 1 und 2

Die Ausliterdaten geben Informationen darüber, wie viel Liter Lack aus einem einzelnen Roboter herausgepumpt wird. Entsprechend ist dieser Parameter eine wichtige Größe, um den Schichtdickenversatz näher zu untersuchen. Hierbei wird geprüft, ob alle Roboter in einer bzw. derselben Anlage, die gleichen Lackmengen befördern, wie diese vorgegeben sind. Zunächst werden die Daten in einer Lackieranlage verglichen. Nachdem die Daten zu den jeweiligen Anlagen bereitstehen, ist ein Vergleich zwischen der Anlage 1 und Anlage 2 nötig.

Zu diesem Themenpunkt wurden von jedem Roboter in der IPP1 die jeweilige Lackmenge gemessen und dokumentiert. Die nachfolgenden Abbildungen stellen die Messwerte von der Lackieranlage 1 dar.

Auslitern IP1 A22							Dienstag, 19. Juli 2022						
Roboter 11 Farbe: Slate Grey							Roboter 21 Farbe: Slate Grey						
Min - 2,5%							Min - 2,5%						
Max + 2,5%							Max + 2,5%						
Soll in ml/Min							Soll in ml/Min						
IST in g Nr.1							IST in g Nr.1						
IST in g Nr.2							IST in g Nr.2						
IST in g Nr.3							IST in g Nr.3						
Durchschnitt							Durchschnitt						
Roboter 12 Farbe: Slate Grey							Roboter 22 Farbe: Slate Grey						
Min - 2,5%							Min - 2,5%						
Max + 2,5%							Max + 2,5%						
Soll in ml/Min							Soll in ml/Min						
IST in g Nr.1							IST in g Nr.1						
IST in g Nr.2							IST in g Nr.2						
IST in g Nr.3							IST in g Nr.3						
Durchschnitt							Durchschnitt						

Abbildung 47: Auslitern Werte in der Lackieranlage (Screenshot aus Dokument) 1 [9, S.3]

Die Abbildung 47 zeigt die Werte an, die aus den Ausliterversuchen aus der IPP1 hervorgegangen sind. Jedes Gesamtfeld stellt einen Roboter dar, der die zugehörigen Mengen an Lack darstellt, der durch den Roboter ausgeströmt ist. Hierbei sind die Roboter durch den hellblauen Rahmen hervorgehoben. Die dunkelblau markierten Bereiche geben die Ausflussmenge in Milliliter pro Minute an, die der Roboter im Optimalfall ausgeben soll. Für einen optimalen Vergleich wurden dieselben Versuche in der IPP2 durchgeführt. In der

nachfolgenden Abbildung 47 werden die Ergebnisse von den Robotern der Anlage 2 dargestellt.

Auslitern IP2 A22

Dienstag, 19. Juli 2022

Roboter 11 Farbe: Alaska							Roboter 21 Farbe: Alaska						
Min - 2,5%	96,5 289,5 482,5						Min - 2,5%	96,5 289,5 482,5					
Max + 2,5%	103,5 310,5 517,5						Max + 2,5%	103,5 310,5 517,5					
Soll in ml/Min	100	300	500	100	300	500	Soll in ml/Min	100	300	500	100	300	500
IST in g Nr.1	106,7	319,2	532,0	99,7	298,3	497,2	IST in g Nr.1	105,7	319,1	530,8	98,8	298,2	496,1
IST in g Nr.2	107,2	319,5	532,2	100,2	298,6	497,4	IST in g Nr.2	106,8	319,2	530,6	99,8	298,3	495,9
IST in g Nr.3	106,9	318,0	530,6	99,9	297,2	495,9	IST in g Nr.3	106,5	319,5	532,2	99,5	298,6	497,4
Durchschnitt	106,9	318,9	531,6	99,9	298,0	496,8	Durchschnitt	106,3	319,3	531,2	99,4	298,4	496,4

Roboter 12 Farbe: Alaska							Roboter 22 Farbe: Alaska						
Min - 2,5%	96,5 289,5 482,5						Min - 2,5%	96,5 289,5 482,5					
Max + 2,5%	103,5 310,5 517,5						Max + 2,5%	103,5 310,5 517,5					
Soll in ml/Min	100	300	500	100	300	500	Soll in ml/Min	100	300	500	100	300	500
IST in g Nr.1	105,8	319,8	532,7	98,9	298,9	497,9	IST in g Nr.1	105,3	318,9	530,7	98,4	298,0	496,0
IST in g Nr.2	107,1	319,9	532,8	100,1	299,0	497,9	IST in g Nr.2	106,4	319,2	530,5	99,4	298,3	495,8
IST in g Nr.3	106,8	318,9	532,4	99,8	298,0	497,6	IST in g Nr.3	106,1	318,2	533,0	99,2	297,4	498,1
Durchschnitt	106,6	319,5	532,6	99,6	298,6	497,8	Durchschnitt	105,9	318,8	531,4	99,0	297,9	496,6

Abbildung 48: Auslitern Werte in der Lackieranlage 2 (Screenshot aus Dokument) [9, S.3]

Die Abbildung 48 zeigt die Ergebnisse Ausflussdaten von der IPP2. Jeder Roboter hat dieselbe Nummerierung, in der IPP1 und IPP2.

Grundsätzlich ist es wichtig, von jedem Roboter, die Abweichungen der Ist-Menge mit dem der Soll-Menge zu vergleichen. Hierzu eignen sich die dunkelblau gekennzeichneten Felder. Generell ist es wichtig, die Roboterposition in der Lackieranlage zu verdeutlichen. Die Roboter mit ungeraden Zahlen wie Roboter 11 und Roboter 21, sind in Fahrtrichtung auf der linken Seite in der IPP1 positioniert. Die Roboter mit geraden Zahlen sind in Fahrtrichtung auf der rechten Seite positioniert. Schaut man sich die Soll-Werte von dem Roboter 11 in der Lackieranlage 1 an, die bei 100, 300 und 500 liegen, kann man Abweichungen in der Linie 1 bei allen Robotern feststellen. Bei allen Soll-Werten hat der Roboter 12 eine höhere Durchflussmenge als sein Gegenüber auf der linken Seite und liegt somit näher am Soll-Wert. Bei dem Roboter 21 zu Roboter 22 wird dies nicht bestätigt. In diesem Fall verzeichnet der Roboter 21 auf der linken Seite höhere Durchflussmengen. Die Mittelwerte im Vergleich zum Soll-Wert liegen bei dem Roboter 21 bei ca. 5,1 ml/min und bei dem Roboter 22 bei ca. 5 ml/min. Entsprechend dieser Feststellungen sind die Ausflussmengen bis auf eine geringe Abweichung, ausgeglichen. Eine höhere Abweichung ergibt sich aus der Gegenüberstellung von Roboter 11 zu Roboter 12. Diese Differenz liegt bei 0,5 ml/min.

In der Lackieranlage 2 sind dieselben Soll-Werte vorgegeben. Hierbei liegen die Differenzen bei dem Roboter 11 zu den Soll-Werten bei ca. 1,75 ml/min im Mittel. Der gegenüber positionierte Roboter 12 verzeichnet eine Abweichung von ca. 1,35 ml/min. Zusätzlich kann man feststellen, dass je nach gewollter Ausflussmenge, beide Roboter sich in Bezug auf eine erhöhte Abgabemenge, abwechseln. In diesem Vergleich verzeichnet der Roboter 12 im Durchschnitt eine höhere Abgabemenge. Der Roboter 21 hat auf der linken Seite der Lackieranlage eine mittlere Abweichung von 1,95 ml/min. Der gegenüber sich befindende

Roboter weist eine mittlere Abweichung von ca. 2,15 ml/min. Der Roboter 21 hat einen höheren Ausfluss an Lackmengen, jedoch ist dieser näher an den optimalen Daten orientiert.

Vergleicht man zusätzlich die durchschnittlichen Ausflussmengen je Anlage mit den dazugehörigen Robotern, fallen im Vergleich zum eigenen Soll-Wert die Ergebnisse unterschiedlich stark aus. Grundsätzlich erkennt man, dass die Ausgabemengen in der Anlage 2 höher sind als in der Anlage 1. Zusätzlich sind in der Anlage 2 die Differenzen zum Soll-Wert deutlich geringer als bei den Robotern in der Anlage 1. Die Abweichungen hängen mit der geforderten ml/min zusammen. Je höher der Soll-Wert ist, desto größer waren die Differenzen zwischen den Anlagen und den zugehörigen Robotern. Führt man den Vergleich mit den Robotern 21 der Anlage 1 und 2 durch, so kann man ablesen, dass die Differenz von 0,1 bis hin zu 6,5 ml/min betragen kann.

3.8 Glockendrehrichtung mit Bahnlinien - Überprüfung

Wie im Kapitel 3.3 beschrieben, wurde ein ähnlicher Versuch durchgeführt, welches jedoch einige Abweichungen vorgenommen wurden.

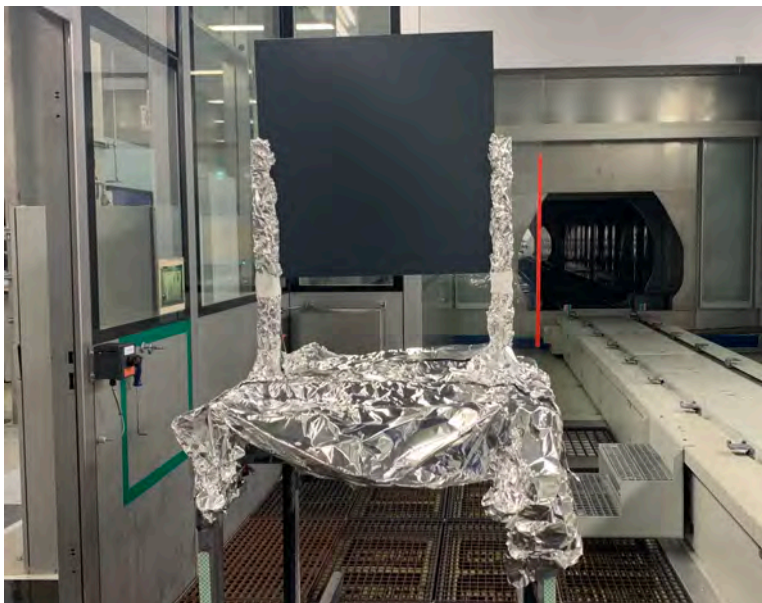


Abbildung 49: Glockendrehrichtung mit Bahnlinienprüfung

3.8.1 Glockendrehrichtung mit Bahnlinien Versuchsaufbau

Im Gegensatz zu dem Versuch, welcher in Kapitel 3.3 beschrieben ist, wurden grundlegend geringe Veränderungen vorgenommen. Zunächst wird kein Klarlack appliziert, sondern der BC1. Hierbei wurde auf die BC1 Variante zurückgegriffen, welches am häufigsten bei einer normalen Produktion verwendet wird. Des Weiteren wird der Roboter fünf Bahnlinien abfahren. Im Kapitel 3.4 reichte eine Bahnlinie für den Versuch aus. Die Bahnlinien werden in der nachfolgenden Abbildung dargestellt.



Abbildung 52: Roboter lackiert Versuchsblech mit BC1

Aus der Abbildung 52 wird ersichtlich, wie der Roboter den Base Coat 1 auf das Blech appliziert. Die zugehörigen Bahnlinien wurden in der Abbildung 50 dargestellt.

3.8.2 Versuchsdurchführung Glockendrehversuch mit Bahnlinien Überprüfung

Bei der Durchführung des Versuchs, lackiert der Roboter insgesamt 6 Bleche. Hierbei wechselt der Roboter um 180 Grad die Lackierrichtung und lackiert von der anderen Seite. Mit dieser Einstellung wird die Glockendrehrichtung verändert, jeweils mit und gegen den Uhrzeigersinn.

Nachdem die Bleche lackiert worden sind, folgt das erneute Einbrennen des Lacks. Im Anschluss erfolgt die Vorbereitung für die Feinvermessung. Hierzu wird eine Ledervorlage ausgeschnitten. Anschließend werden ca. 110 Löcher in die Vorlage gestanzt. Die Ledervorlage kann man in der nachfolgenden Abbildung entnehmen. Hierbei wurden auf ein 60 x 60 cm großes Blech auf jeder Seite ca. 11 Löcher ausgestanzt. Der Abstand von jedem Loch betrug ca. 5 cm. Die Löcher wurden an die Bahnlinien angepasst. Ein Roboter lackiert in der Regel mit einer Bahnlinienbreite von 10 cm. Der Punkt, an dem die Lackschichtdicke am höchsten ist, wird genau an der Glocke gemessen bzw. genau in der Mitte der Linie. Die nachfolgende Abbildung verdeutlicht das Konzept bzw. den Aufbau der Lederschablone.

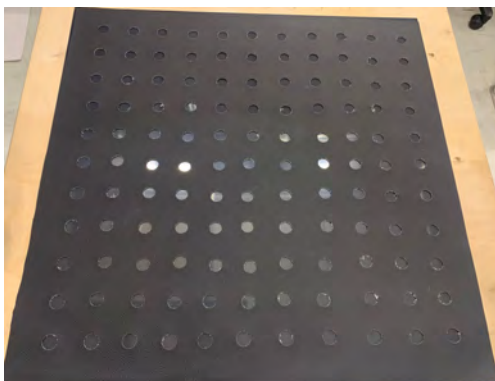


Abbildung 53: Lederschablone zur Feinvermessung

Die Abbildung 53 stellt eine Vorlage dar, welche manuell und speziell für den Versuch hergestellt wurde. Nach dem die einzelnen Messpunkte vermessen wurden, wird eine Excel-Datei zur Auswertung erstellt. Hierbei werden alle Werte aus den Messungen dokumentiert und anschließend visualisiert. Die zugehörigen Messwerte werden in der nachfolgenden Abbildung dargestellt.

3.8.3 Feinvermessung des Glockendrehversuchs inkl. Bahnlinien

Die Abbildung 54 zeigt die Feinvermessung des Versuchs an.

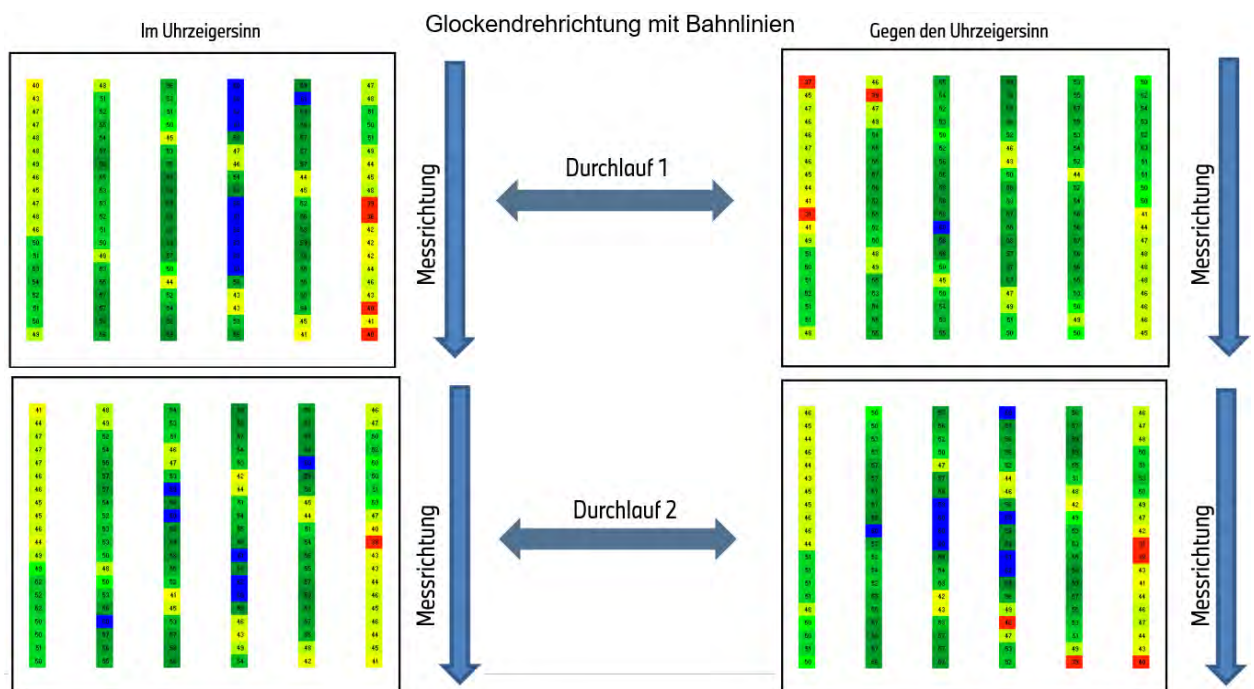


Abbildung 54: Glockendrehrichtung mit Bahnlinien Überprüfung

Hierbei kann man erkennen, dass die farblichen Abstimmungen relativ gleich aussehen. Im geringen Maß gibt es Auffälligkeiten. Auffällig ist der Bereich in der Mitte der Blechplatten. Hierbei kann man feststellen, dass die Schichtdicke zwischen 60 bis 63 µm liegt. Diese Werte sind mit der Farbe Blau hinterlegt. Dies ist ein erhöhter Wert, da das Optimum bei ca. 55 µm liegt. Alle Messwerte einschließlich 40 µm und darunter sind unterbeschichtet. Ab 41 µm sind die Werte in hellgrün dargestellt. An den Enden der Platte ist die Schichtdicke geringer ausgefallen. Entlang des Messrichtungspfeils ist der Roboter gefahren und hat die BC1-Lackschicht auf die Blechplatte appliziert. In der Letzten Bahnlinie lässt die Schichtdicke deutlich ab. Dies wird in allen wiederholten Vorgängen bestätigt.

4 Diskussion der Ergebnisse

In dieser Arbeit wurde der Frage nachgegangen, welche Parameter Einfluss auf den Schichtdickenversatz haben. Im nachfolgenden Kapitel werden alle Parameter, die im Kapitel 3 beschrieben und analysiert worden sind, ausgewertet. Hierbei werden die Ergebnisse je einzelnen Parameter behandelt. Zum Abschluss werden die Ergebnisse aus den einzelnen Kapiteln insgesamt betrachtet. Entsprechend werden die feinen Details aus den Unterkapiteln ins Übergeordnete geführt, sodass man die Schlussfolgerungen besser nachvollziehen kann.

4.1 Der Schichtdickenversatz mit Temperatureinfluss

Generell gab es verschiedene Betrachtungswinkel, worauf der Schichtdickenversatz zurückzuführen ist. Um die Ergebnisse so präzise wie möglich einzugrenzen, wurde sich auf ein Bauteil festgelegt. Hierbei handelt es sich um die Tür vorne, jeweils auf der linken und rechten Fahrzeugseite. Zunächst wurde der Temperatureinfluss im Gesamtsystem analysiert. Im Rahmen der bestehenden Daten wurde festgestellt, dass die Außentemperatur einen Einfluss auf die IPP-Linien hat. Es wurde festgestellt, dass kühle Temperaturen einen geringeren Schichtdickenversatz zu Folge haben, als wenn die Temperaturen im Sommerzeitraum liegen. Die Winter-Messwerte stammen aus dem Monat November 2021. Hierbei betrug die die Tiefsttemperatur 1,5 Grad Celsius. Die Maximaltemperatur betrug im November 7,1 Grad Celsius. Die Sommer-Messdaten stammen auf dem Monat Juni, dabei betrug die Tiefsttemperatur 12,2 Grad Celsius und die Maximaltemperatur 21,6 Grad Celsius. Die AQM-Daten zeigen im generellen vergleich ohne Parametereinstellungen, dass die Schichtdicke in dem Sommermonat höher ist als in dem Wintermonat. Das Sommer-Delta beträgt 6,38 μm , während sich der Wert im Winter auf 2,87 μm zurückentwickelt. Aufgrund dieser Datenlage lässt sich schlussfolgern, dass die Wintertemperaturen der IPP-Anlage besser gelegen sind als die Sommertemperaturen. Dabei ändert sich nicht der Fakt, dass die rechte Karosserie-seite dicker appliziert wird als die linke Karosserie-seite. Hierbei lässt sich derzeit kein genauer Faktor für das Resultat identifizieren. Um den Faktor für das verantwortliche Delta zu bestimmen, werden die weiteren Parameter berücksichtigt.

4.1.1 Der Schichtdickenversatz zwischen den Lackieranlagen

Es wird die Auffälligkeit beschrieben, dass es zwischen den IPP-Linie 1 und 2, Differenzen in Bezug auf die Schichtdicke vorliegen. In beiden Lackieranlagen wird die rechte Karosserie-seite höher beschichtet als die linke Karosserie-seite. Als Resonanzfläche wurde die Tür auf der jeweiligen Seite betrachtet. Im Folgenden wird explizit auf die Untersuchungen von den AQM-Daten von Juni 2022 eingegangen, Die größte Abweichung im Bereich der Schichtdicken wurden im Klarlack festgestellt. Hier baut sich der Versatz auf. Dies hängt damit zusammen, dass die Klarlackschicht gleichzeitig die dickste Schicht darstellt. Entsprechend wird die größte Menge an Lack appliziert. Bei der Betrachtung von

dem Klarlack muss berücksichtigt werden, dass sich in der Industrie vor allem auf die Gesamtschichtdicke konzentriert wird. Hierbei kann man feststellen, dass ein Delta zwischen den Lackierlinien vorhanden ist. Bei den Sommertemperaturen in der IPP-Linie 1 beträgt das Delta 7,28 μm . Dabei liegt das Delta bei der IPP-Linie 2 bei 3,64 μm . Die Unterschiede ergeben sich aus verschiedenen Faktoren. Die Linien werden ständig mit den neusten Lackchargen versorgt. Dazu gehört auch die nötige Wartung der Anlagen. Daher kommt es für kurze Intervalle vor, dass die IPP-Linien mit unterschiedlichen Einstellungen fahren. Entsprechend kommt es vor, dass eine der beiden Lackieranlagen früher angepasst bzw. verbessert wird, während die andere Anlage noch mit einer alten Einstellung weiterfährt. In der Linie 1 wird im Gegensatz zur der Linie 2 auch mit Mattlacken appliziert. Mattlacke unterscheiden sich nur im Klarlack von den normalen Lacken. Es konnte festgestellt werden, dass sich die größten Differenzen beim Klarlack aufbauen.

4.2 Glockendrehrichtung

Im Kapitel 3.3 wurde der Glockendrehrichtungsversuch beschrieben und erklärt. Für das Ergebnis ist es wichtig, die Versuchsdurchführung zu verdeutlichen. Bei dem Versuch wurden zwei Bleche mit dem Maß 60 x 60 cm mit Klarlack appliziert. Hierbei wurde eine Bahnlinie abgefahren, die viermal beschichtet wurde. Ein Blech wurde mit einem Hochrotationszerstäuber im Uhrzeigersinn appliziert und das andere Blech gegen den Uhrzeigersinn.

Die Ergebnisse lassen sich wie folgt darstellen.

Drehrichtung		
Uhrzeigersinn	Gegen - Uhrzeigersinn	
Platte 1 - vorne (μm)	Platte 2 - hinten (μm)	 DELTA in Betrag μm
36,81	34,89	1,92
31,68	33,27	-1,59
35,11	30,91	4,21
34,07	32,25	1,82
34,30	32,12	2,18
31,55	33,36	-1,81
29,92	33,88	-3,96
28,23	30,95	-2,72

Abbildung 55: Ergebnis Glockendrehrichtung

Die Messergebnisse zeigen ein Delta an, welches sich im Bereich von 1,8 μm bis 4,2 μm bewegt. Hierbei sind die Messdaten im Betrag zu betrachten. Aufgrund der Differenz zu den einzelnen Messpunkten, kann man von einem Einfluss auf den Schichtdickenversatz ausgehen. Betrachtet man die Mittelwerte von der Platte 1 zu der Platte 2, kann man feststellen, dass die Mittelwerte nahezu gleich sind. Der Mittelwert der Blechplatte 1 beträgt 32,71 μm und der Mittelwert der Blechplatte 2 beträgt 32,70 μm . Dieses geringfügige Delta hat in der industriellen Produktion keine Relevanz. Die einzelnen gegenübergestellten Messpunkte und deren Differenzen stellen jedoch einen relevanten Faktor dar. Die Tatsache, dass die komplette Karosserie mit einem Schichtdickenversatz von bis zu 4 μm appliziert wird, hat auf die gesamte Karosserie einen Einfluss.

Durch die Lackschichtdicken können viele Faktoren eintreten, die einen negativen Einfluss auf die Qualität der Karosse haben. In dem zweiten Versuch, wie man aus dem Kapitel 3.8 entnehmen kann, wurden die Bleche mit mehreren Bahnlinien im BC1 appliziert. Hierbei konnte beobachtet werden, dass die Glockendrehrichtung eine Abweichung in den einzelnen Bahnlinien aufweist. Betrachtet man beide Versuchsreihen im Bereich der Glockendrehrichtung, so kann erneut eine Abweichung festgestellt werden. Die Bahnlinien sind nicht gleichmäßig appliziert worden, somit wurde die Abweichung erneut bestätigt.

4.3 Overspray

In dem Kapitel 3.4 wurde der Overspray erklärt und um was für einen Prozess es sich handelt. Bei der Betrachtung der Folgedaten, die aus dem Overspray-Versuchen hervorgingen, konnten neue Erkenntnisse erzielt werden. Es wurde festgestellt, dass die Bahnlinienprogramme einen Overspray auslösen. Der Overspray wird vor allem von dem Neigungswinkel der Glocke beeinflusst. Betrachtet man den Overspray nur in Bezug auf den Schichtdickenversatz, so ergibt sich ein Versatz von 4 μm , wenn man den Overspray vermeidet. In dem durchgeführten Versuch hat der Overspray keinen negativen Einfluss.

4.4 Messgerätegenauigkeit

Die Untersuchungen im Bereich Messgerätegenauigkeit beinhalteten differenzierte Betrachtung der Messdaten. Zu diesem Zweck wurden die Messgerätegenauigkeit, jeweils manuell und automatisch abgefragt. Grundlegend ist ein Unterschied bei den Messgeräten vorhanden, da beide Messgeräte von unterschiedlichen Herstellern stammen. Zusätzlich ist zu beachten, dass es bei beiden Messgeräten eine Toleranz von ca. 2 μm gibt. Entsprechend hat ebenfalls die Kalibrierung einen Anteil am Messwert. Man unterscheidet nach den Ergebnissen zwischen dem JSR-Modell, welches in der End of Line-Messzelle verwendet wird. Manuelle Messungen werden mit dem Fischer-Messgerät durchgeführt. Den Daten zu folge, war es nötig Mittelwerte zu erstellen. Hierbei kann man die Abbildung 44 berücksichtigen, die die wichtigsten Messdaten gegenüberstellt. Bei allen Messungen wurde festgestellt, dass die rechte Karosseriehälfte eine höhere Schichtdicke aufweist als die linke Karosseriehälfte. Hierbei liegt die Differenz bei der manuellen Messung bei 3,91 μm . Dem steht die Differenz bei der EOL-Anlage gegenüber, mit einer Differenz von 7,96 μm . Der Mittelwert der rechten Karosseriehälfte liegt bei der manuellen Messung bei 111,13 μm . Dem steht der Wert von 109,81 (EOL) μm gegenüber. Entsprechend ist die Differenz in Anbetracht der Gerätetoleranz von 2 μm im Rahmen. Richtet man den Fokus auf die linke Fahrzeugseite, so kann man größere Differenzen feststellen. Hierbei liegt der Mittelwert der manuellen Messung bei 107,22 μm und die EOL basierten Daten liegen bei 101,85 μm . Zusammen betrachtet resultiert ein Delta von 5,37 μm . Von diesem Wert ist die allgemeine Gerätetoleranz von 2 μm zu verrechnen. Daraus resultiert ein Ergebnis, welches darauf schließend lässt, dass eine deutliche Abweichung vorliegt. Der Versatz wird durch die Messgeräte bestätigt, sowohl die manuellen Messwerte als auch die EOL-Daten belegen das. Dabei gilt es noch einmal zu unterstreichen, dass die Werte von unterschiedlichen Messgeräten stammen. Zusätzlich ist zu berücksichtigen, dass die Kalibration und die Häufigkeit der durchgeführten Kalibration einen Faktor darstellen. Prinzipiell ist der Einfluss der Messgerätegenauigkeit als Hoch zu beurteilen.

4.5 Roboterabstände in den Lackieranlagen

Basierend auf den bestehenden Analysen konnte ermittelt werden, dass sich die Roboter bei der ersten Überprüfung, nicht im Toleranzbereich bewegen. Die Messungen an den einzelnen Robotern belegen, dass die Roboter nicht im Soll-Bereich liegen. Die Messungen fanden an der A-Säule und im Bereich des Dachs statt. Hierbei konnte festgestellt werden, dass Abweichungen in den X, Y und Z Koordinaten vorliegen. Die Abweichungen lagen im zweistelligen Bereich. Bei fast jeden Wert wurde eine Verdopplung festgestellt, die über dem Soll-Wert liegen. Nachdem die Software mittels eines Tools überarbeitet wurde, sind alle Werte bei einer erneuten Messung in den Soll-Wert gewechselt. Aus diesem Grund lag keine Differenz in den Roboterabständen vor, sondern die Software war nicht angepasst. Zusätzlich konnte festgestellt werden, dass nach der Korrektur die Öffnungswinkel der Türen eingehalten wurden. Zusammenfassend lässt sich daraus schließen, dass die Roboterabstände keinen Einfluss auf den Schichtdickenversatz darstellen.

4.6 Ausliterdaten und Ergebnisse

Ausgehend von den Ausliterdaten ist es möglich die Lackdurchflussmenge zu bestimmen, die auf die Karossen appliziert wird. Bei der IPP-Linie 1 wurde der Farbton Slate Grey berücksichtigt. Hierbei wird festgestellt, dass die Auslitermengen sich auf die vier festgelegten Roboter 11, 12, 21 und 22 beziehen. Je nach Abstimmung fließt eine unterschiedliche Menge aus den Robotern. Die Auslitermengen wurden in drei generelle Soll-Werte aufgeteilt (100, 300, 500). Die Roboterposition befindet sich bei den Robotern 11 und 21 auf der linken Karosserie-seite. Entsprechend befinden sich die Positionen der Roboter 12 und 22 auf der rechten Karosserie-seite. Die Werte des Roboters 11 überschreiten die Soll-Werte (100, 200, 500) sowohl bei der Linie 1 als auch bei der Linie 2. Der Roboter 11 hat eine höhere Auslitermenge in den einzelnen Soll-Werten als der Roboter 11 in der IPP-Linie 2. Betrachtet man den Roboter 21 auf der IPP-Linie 1, so wird ersichtlich, dass auch in diesem Fall der Linie 1 mehr Lack ausgegeben wird als auf der Linie 2 mit demselben Roboter. Betrachtet man die die rechte Karosserie-seite mit den Robotern 12 und 22 erkennt man, dass die Roboter der Linie 1 erneut höhere Werte aufweisen als die der Linie 2.

Anschließend muss man die Roboter in der Line isoliert betrachten. In der IPP-Linie 1 weisen die Roboter auf der rechten Karosserie-seite höhere Ausliterdaten aus als die Roboter auf der linken Karosserie-seite. Dies betrifft sämtliche Soll-Werte, wie 100, 300 und 500 ml/Min. Der Roboter 12 auf der IPP-Linie 1 überbietet die Werte des Roboters 11 jeweils bei den Soll-Werten 100, 300 und 500 ml/ min. Vergleicht man die Roboter 21 und 22, so übersteigen die Ausliterdaten des Roboters einen Soll-Wert von 300 ml/ min.

In der IPP-Linie 2 übertrifft der Roboter 12, den Roboter 11, bei den Soll-Werten 300 und 500 ml/ min. Entsprechend überwiegt die Durchflussmenge der Roboter auf der rechten Karosserie-seite. Bei den Robotern 21 und 22, kann dies nicht bestätigt werden. Der Roboter 21 weist höhere Ausliterwerte auf als der Roboter 22. Hierbei überwiegen die Werte des Roboters 21, bei den Soll-Werten von 100 und 300 ml/ ml.

Insgesamt dominieren die Roboter auf der rechten Karosserie-seite mit den zugehörigen Ausliterdaten. Daher ist es schlüssig, dass die Auslitermengen Einfluss auf den Schichtdickenversatz haben.

5 Fazit

Das BMW-Werk in München appliziert die Karossen mit dem Verfahren des Integrated Paint Process. Hierbei werden die Karossen nass in nass lackiert. Im Rahmen der Lackieranlage verlassen täglich bis zu 1000 Fahrzeuge das Werk. Zu diesem Zweck werden die Karossen wegen der hohen Qualitätsansprüche, kontrolliert. Die Kontrollen erfolgen hochautomatisiert. Ergänzt werden die Kontrollen durch manuelle Feinvermessungen. Die Messdaten bestehen aus Farbton, Oberflächenstruktur und den Lackschichtdicken.

In dem Bereich der Schichtdickenmessungen sind Auffälligkeiten festgestellt worden. Hierbei wurde festgestellt, dass ein Versatz der Schichtdicken vorhanden ist. Da die Schichtdicken unterschiedliche Auswirkungen auf die Wahrnehmung der lackierten Oberfläche haben kann, wird auf eine gleichmäßig applizierte Schichtdicke besonders Wert gelegt. Der Bereich der Wahrnehmbarkeit wird bei den festgestellten Schichtdickenversatz nicht erreicht, sodass es ein internes Verbesserungsfeld ist.

Entsprechend wurde diese Arbeit in dem Bereich angefertigt, welcher den Schichtdickenversatz näher untersucht. Hierbei wurde der Versatz visualisiert und bestätigt. Zunächst musste der Versatz mit den AQM-Datensätzen analysiert werden. Anschließend wurden die Daten zusammengefasst und in Diagrammen wiedergegeben, somit hat man den Ist-Zustand erhalten. Anschließend wurden Einflussfaktoren bestimmt, die einen Einfluss auf den Schichtdickenversatz haben können. Festgestellt wurde, dass es einen Unterschied macht, ob die Karossen zu den winterlichen Temperaturen zwischen 1,5 und 7,1 Grad Celsius lackiert werden oder zu den sommerlichen Temperaturen zwischen 12,2 und 21,6 Grad Celsius lackiert werden. In dem Zeitraum der Untersuchungen wurde die rechte Karosserie-seite höher beschichtet als die linke Karosserie-seite. Vor allem auf der IPP-Linie 1 ist der Schichtdickenversatz ausgeprägter. Im Bereich der Temperaturanalyse ist zu berücksichtigen, dass die vorhandenen Datensätze ein Potenzial haben, um einen längeren Zeitraum zu analysieren. Mit diesen Datensätzen könnten weitere Tendenzen abgeleitet werden, vor dem Hintergrund, dass es innerhalb von einem Jahr verschiedene Entwicklungen geben kann.

Des Weiteren wurde festgestellt, dass die Glockendrehrichtung einen Einfluss haben kann. Durch die Experimente wurde bestätigt, dass die Drehrichtung des Hochrotationszerstäubers einen Einfluss auf den Schichtdickenversatz hat. Die Versuchsreihe zur Untersuchung des Oversprays haben ergeben, dass es keinen Einfluss auf den Schichtdickenversatz hat. Im Gegenteil, die Karossen wurden besser bzw. gleichmäßiger lackiert und der Versatz wurde stark reduziert. Aufgrund der Tatsache, dass Messwerte durch unterschiedliche Messgeräte erfasst werden, wurde ein Vergleichsversuch durchgeführt. Das Ergebnis zeigt, dass die Werte deutlich abweichen. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass nicht dieselben Karossen miteinander verglichen wurden. Tatsächlich hat man sich auf das Derivat G20 mit demselben Farbton festgelegt. Sodass man Mittelwerte verglichen hat und keine direkten Werte. Daher gibt es einen Einfluss der Messgerätetypen. Die Untersuchungen der Roboterabstände haben ergeben, dass die Abstände konstant sind und keinen negativen Einfluss auf den Schichtdickenversatz haben. Eine Empfehlung ist es, bei den Robotern eine Tool – Center – Point Einstellung erneut durchführen zu lassen. Hierbei werden größere Wartungsarbeiten in der Zukunft vermieden.

Trotz der Analysen und Versuchsreihe gibt es Parameter, die nicht behandelt worden sind. Hierbei ist es sinnvoll die Abbildung 35 zu betrachten. In der Abbildung 35 sind weitere Bereiche aufgelistet, die weiter untersucht werden müssen. Ein großes Themengebiet wäre die Kabine, in der die Karossen lackiert werden. Hierbei erstrecken sich interessante Bereiche wie der Lufthaushalt und die Luftfeuchtigkeit. Des Weiteren kann untersucht werden, wie das Lackmaterial sich im Verlauf der Produktion und mit dem Verlauf der Jahreszeit entwickelt. Weitere Untersuchungen im Bereich der Karossen wären nötig. Hierbei spielt auch die Karosserietemperatur eine Rolle. Zusätzlich wäre eine Untersuchung der Trockner eine Option, damit überprüft werden kann, auf welchem Niveau sich die Restfeuchtigkeit im Lack einpendelt.

Im Rahmen des Glockendrehversuchs können weitere Versuche durchgeführt werden. Hierbei ergibt sich die Chance, die Versuche in allen Lackbereichen wie BC1, BC2 und dem CC durchzuführen. Im Optimum könnten die Versuche in einem Durchgang durchführen, sodass man sehr viele Messdaten hat, die man vergleichen kann. Aufgrund dieser Datensätze hätten man die Möglichkeit, Analysen durchzuführen die aussagekräftig sind und die alle Optionen beinhaltet.

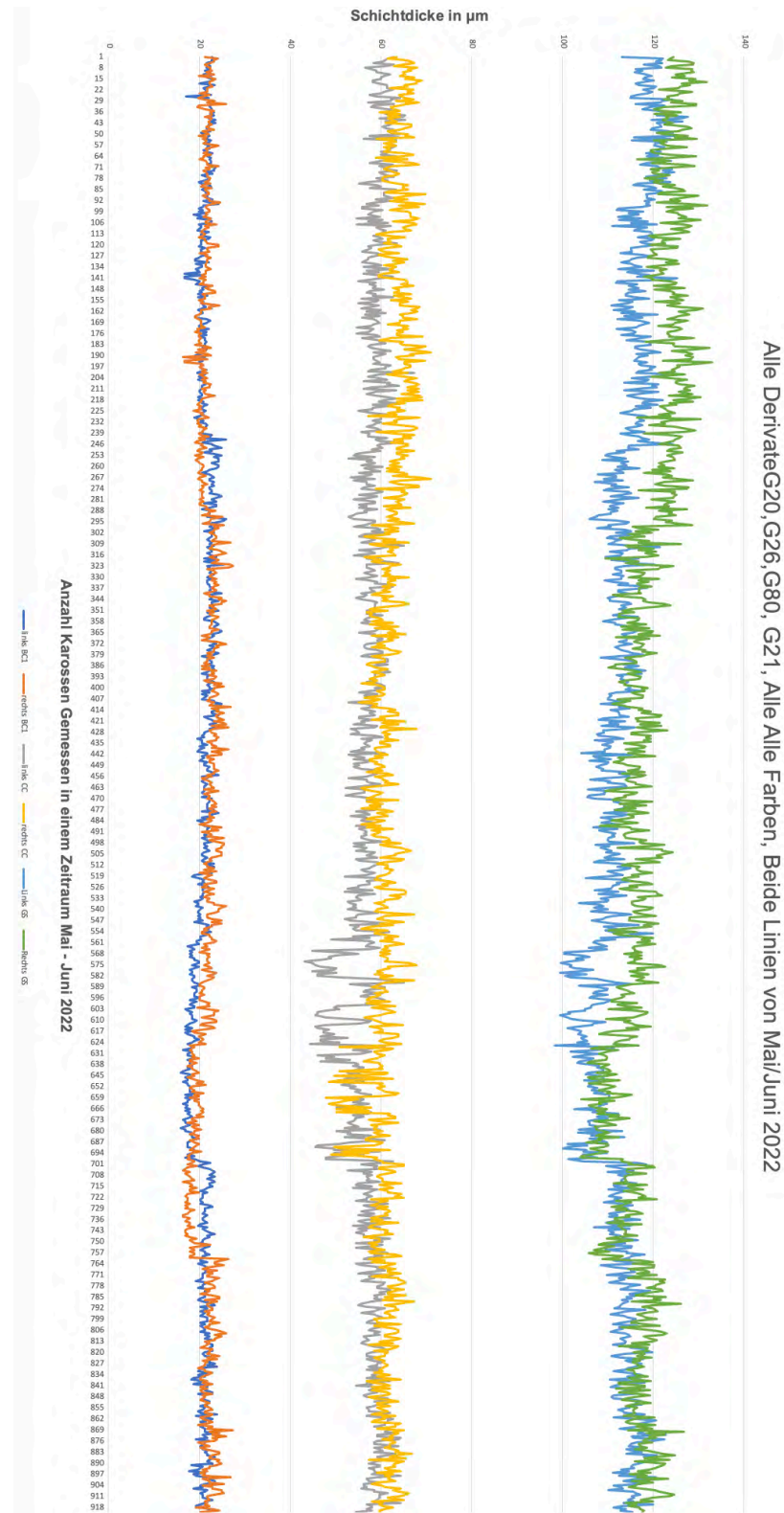
Weitere Temperaturanalysen wären nötig, um eine konkrete Aussage über den Einfluss zu bestätigen. Hierbei muss berücksichtigt werden, dass es in einem Jahr zu vielen Ereignissen kommen kann, sowohl auf Seiten des Unternehmens als auch in Bezug auf die äußeren Faktoren (Temperatur). Um dem Prozess, der durch die Temperatur beeinflusst wird entgegenzuwirken, könnte man die Roboter bzw. die Leitungen klimatisieren. Weitestgehend hätte man eine konstante Temperatur in den Leitungen, wodurch der Lack besser und zu immer gleichbleibenden Bedingungen fließen kann. Es muss berücksichtigt werden, ob es sich finanziell für den Konzern bzw. für das Werk lohnt, eine Investition in die Klimatisierung der Leitungen zu tätigen. Zusätzlich wäre diese Maßnahme keine Garantie dafür, dass das Problem gelöst wird. Da der Lufthaushalt in der Lackieranlage eine große Rolle einnimmt, müsste man auch diesen Faktor im Gesamtbild betrachten. Hierbei wäre es zusätzlich eine Option, die gesamte Lackieranlage auf beiden Linien zu klimatisieren. In Kombination mit den klimatisierten Schläuchen, ergibt sich eine Investitionssumme, die vorrausichtlich nicht verhältnismäßig ist und nicht wirtschaftlich ist. Letztendlich müssen die Maßnahmen zur Qualitätsverbesserung in Relation zu den Kosten stehen.

6 Literaturverzeichnis

- [1] Goldschmidt, A. & Streitberger, H.J. (2014). *BASF Handbuch Lackiertechnik*. (1. Aufl. 2014 Aufl.) Vincentz Network
- [2] Brock, T.; Groteklaes M.; Mischke, P.; Strehmel B.: *Lehrbuch der Lacktechnologie*. 5. Aufl. Hannover: Vincentz Network GmbH & Co. KG, 2017
- [3] BMW Group (2020). *PR161201_TOP_Prüfplanung_W1_V1* – Firmen internes Dokument
- [4] BMW Group (2022): *SPEZ_161025_GS96009_1* – Firmen internes Dokument
- [5] Fertig, E.; Milojevic, D. Etta F. RoDip – *Das neue Tauchverfahren zur Vorbehandlung und Elektro-tauchlackierung von Automobilkarosserien* [ABB Felxible Automation GmbH] abgerufen am 17.07.2022
- [6] Ebbinghaus Verbund Management- und Dienstleistungs GmbH. (2020,16.Mai). *KTL-Beschichtung – Teil 1 “Was ist KTL – Beschichtung?”*. Abgerufen am 17.09.2022 von <https://www.ebbinghaus.de/blog/2020/05/16/kti-beschichtung/>
- [7] Michael, B. *KTL – Beschichtung*. Holzapfel Group. Abgerufen am 17.09.2022 von <https://holzapfel-group.com/oberflaechenverfahren/kti-kataphoresische-tauchlackierung.html>
- [8] BMW Group (2021). *PR21074_VBH_KTL-Verfahrensplan* – Firmen internes Dokument
- [9] BMW Group (2018). *Ausliterergebnisse – 2022.06.11IP2 – 2022.07.04_IP1* – Firmen internes Dokument
- [10] Peter, W. *Beschichtungsaufbau der Serienlackierung* [lawag.ch]. Abgerufen am 04.07.2022 von <https://www.lawag.ch/beschichtungsaufbau-serienlackierung/>
- [11] BMW Group (19.05.2022): *PV 92039: Hauptlackiererei Werk 01.10 München* – Firmen internes Dokument
- [12] PHYNIX Sensortechnik GmbH (2022). *Schichtdickenmessung: unverzichtbares Messverfahren für zahlreiche Anwendungsgebiete*. Abgerufen am 14.08.2022 von <https://www.phynix.de/start.html>
- [13] BMW Group (2022). *Bahn_Programm_CC_G20* – Firmen internes Dokument
- [14] BMW Group (2022). *G20* – Firmen internes Dokument
- [15] HELMUT FISCHER GMBH, *Phasensensitives Wirbelstrom-Verfahren*. Abgerufen am 02.07.2022 von <https://www.helmut-fischer.com/de/methoden/phasensensitives-wirbelstrom-verfahren>

- [16] HELMUT FISCHER GMBH, *Magnetinduktives Verfahren zur Schichtdickenmessung*. Abgerufen am 02.07.2022 von <https://www.helmut-fischer.com/de/methoden/magnetinduktive-schichtdickenmessung>
- [17] Koc, A. (2022). *Einfluss verschiedener Parameter der Hochrotationsglocke bei der Applikation. Korrelation von Spritzbildern anhand vom SB50* (unveröffentlichte Bachelorarbeit). Fachhochschule Dortmund.
- [18] BMW Group (20.05.2022). *Zukunft Gestalten im BMW Group Werk München*. Abgerufen am 30.06.2022 von <https://www.bmwgroup.com/de/news/allgemein/2022/100YearsPlantMunich.html>
- [19] BMW Group (28.11.2018). *Applikationstechnische Probleme / Kocher / Läufer IP1 / IP2* – Firmen internes Dokument
- [20] BMW Group (2021). *AQM-Novmeber* – Firmen internes Dokument
- [21] BMW Group (2022). *AQM-Juni-Mai* – Firmen internes Dokument

Anhang A: Einzelwerte für Karossen im Mai und Juni 2022 mit allen Derivaten im Detail



Anhang B: Einzelwerte für Karossen im November 2021 mit allen Derivaten im Detail

