

Diplomarbeit

Berufsakademie Sachsen
Staatliche Studienakademie Glauchau
Studiengang **Produktionstechnik**
Kopernikusstraße 51

08371 Glauchau

Diplomarbeit

Student: **Honscha, Nils**

Seminargruppe: **PT 08/2**

Matrikelnummer: **4080523**

Diplomarbeit:

Thema:

Definition der messmittelunterstützten Qualitätsprüfung hochglänzender
Lackoberflächen im Außenbereich von Reisebussen

Bearbeitungsschwerpunkte:

- Aufbereitung und Visualisierung vorhandener Daten
- Toleranzfestlegung für orange peel und Glanzgrad anhand statistischer
Berechnungsmethoden
- Definition weiterer Prüfmerkmale für die Decklackierung und deren
Prüfkriterien

Ausgabe der Themas:

23. Mai 2011

Termin der Einreichung der Arbeit im Studiengang am:

22. September 2011

Prof. Dr.-Ing Heiko Enge
Leiter des Studienganges
Industrielle Produktion

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis	V
Formelverzeichnis	VI
Abkürzungsverzeichnis	VII
1 Einleitung	1
1.1 Die Geschichte des Unternehmens.....	1
1.1.1 Standortgründung in Plauen	1
1.1.2 Standortgründung in Stuttgart	2
1.2 Ausgangspunkt und Zielstellung der Diplomarbeit	7
1.2 Vorgehensweise bei der Datensammlung.....	8
2 Aufbereitung und Visualisierung vorhandener Daten.....	9
2.1 Vorstellung der verwendeten Messgeräte.....	10
2.1.1 Das byko-test 1500 (Hersteller: BYK-Gardner)	10
2.1.2 Das Wave-Scan II (Hersteller: BYK-Gardner)	10
2.1.3 Das micro-TRI-gloss.....	11
2.2 Lackanalyse	11
2.2.1 Schichtdickenanalyse	11
2.2.2 Welligkeitsanalyse	12
2.2.3 Glanzgradanalyse.....	16
3 Toleranzfestlegung.....	21
3.1 Prüfung auf Normalverteilung der Messwerte	21
3.1.1 Visueller Abgleich	21
3.1.2 Chi-Quadrat-Test.....	22
3.2 Grundlagen für die Toleranzberechnung.....	26
3.2.1 Toleranzberechnung der Wave-Scan-Werte	31
3.2.2 Toleranzberechnung der Glanzgradwerte	32
4 Fehlervermeidung und Prozessverbesserung.....	34
4.1 Fehlerbehebung.....	35
5 Einführung des Messablaufes in den Prozess.....	38
6 Einführung weiterer Prüfmerkmale.....	40
6.1 Werksinterner Lackstandard	40

6.2 Lackprüfung im Aufbau	40
6.3 Überprüfung weiterer Faktoren	41
7 Zusammenfassung und Ausblick	42
7.1 Kostenrechnung.....	42
7.3 8D-Bericht.....	43
7.4 Schlusswort.....	44
Anlagenverzeichnis.....	45
Literaturverzeichnis	74
Ehrenwörtliche Erklärung	75

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Decklack + Klarlack.....	9
Abbildung 2	Unilack	9
Abbildung 3	Schichtdickenanalyse	12
Abbildung 4	Graphen für die Benotung 1 bis 1,5	13
Abbildung 5	Graphen für die Benotung 3,3 bis 3,5	13
Abbildung 6	Lackalterung	15
Abbildung 7	Glanzgrad aller Lackserien.....	17
Abbildung 8	Glanzgrad Serie Glasurit Wasserbasislack Reihe 90.....	18
Abbildung 9	Glanzgrad Serie 295+293	19
Abbildung 10	Glanzgrad Serie 670+9700	19
Abbildung 11	Glanzgrad sonstige Lackserien	20
Abbildung 12	Histogramm Serie 670+9700.....	21
Abbildung 13	Histogramm Serie Glasurit Wasserbasislack Reihe 90	22
Abbildung 14	Verteilungszeitmodell D.....	28
Abbildung 15	Einflussfaktoren beim Lackierprozess	34
Abbildung 16	Vergleich Roboter- und Handlackierung.....	35
Abbildung 17	Fertigungsversuch.....	36
Abbildung 18	Einfluss des Schleifmittels	37
Abbildung 19	Prüfprozess	39
Abbildung 20	8D-Bericht	43

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Stammdatenbank Glanzgrad	16
Tabelle 2	Chi-Quadrat-Test Serie 670+9700	23
Tabelle 3	Chi-Quadrat-Test Serie 670+9700 (zusammengefasst).....	25
Tabelle 4	Chi-Quadrat-Test Serie Glasurit.....	26
Tabelle 5	Chi-Quadrat-Test Serie Glasurit (zusammengefasst)	26
Tabelle 6	Toleranzgrenzen über alle Lackserien	31
Tabelle 7	Übersicht Toleranzberechnungen	31
Tabelle 8	Toleranzen Glanzgrad	32

Formelverzeichnis

Formel 1	Chi ²	22
Formel 2	Freiheitsgrad.....	23
Formel 3	Chi ² kritisch.....	23
Formel 4	Prozesspotential	27
Formel 5	Prozesspotential für den oberen Prozesspunkt	27
Formel 6	Prozesspotential für den unteren Prozesspunkt	27
Formel 7	Prozessfähigkeit	27
Formel 8	Prozesspotential	29
Formel 9	Prozesspotential für den oberen Prozesspunkt	29
Formel 10	Prozesspotential für den unteren Prozesspunkt	30
Formel 11	obere Toleranzgrenze.....	30
Formel 12	untere Toleranzgrenze.....	30

Abkürzungsverzeichnis

DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
LW	Longwave
MAN	Maschinenfabrik Augsburg Nürnberg
OTG	Obere Toleranzgrenze
QS	Qualitätssicherung
SW	Shortwave
UTG	Untere Toleranzgrenze
VOMAG	Vogtländische Maschinenfabrik AG

1 Einleitung

1.1 Die Geschichte des Unternehmens

1.1.1 Standortgründung in Plauen

Die Vogtländische Maschinenfabrik AG (VOMAG) war ein bedeutendes Unternehmen Plaues zu Beginn des 20. Jahrhunderts. 6000 Mitarbeiter fanden hier bei der Produktion der Stickmaschinen für die berühmte Plauener Spitze ihre Anstellung.

Nach dem Ausbruch des Ersten Weltkrieges begann man in der VOMAG mit der Produktion von Lastkraftwagen für militärische Zwecke.

Um auch im zivilen Bereich Fuß zu fassen, gründete man 1916 die VOMAG Lastkraftwagen GmbH in München. So wurde die Firmentradition durch den Bau ziviler LKWs und Busse (Anlage 1) beibehalten.

In den folgenden Jahren schaffte es der Betrieb, sich Großaufträge des Freistaates Sachsen, zum Beispiel durch den Bau von Omnibussen, zu sichern, wodurch der Kauf eines neuen Firmengeländes, des heutigen Sitzes der Neoplan GmbH am Leuchtmühlenweg in Plauen, notwendig wurde.

Die VOMAG hatte sich fest am Kraftfahrzeugmarkt etabliert, wurde 1919 zu einem Mitbegründer des Deutschen Automobil-Konzerns und gehörte damit zur Elite deutscher Kraftfahrzeugbauer.

So waren Ende 1921 schon über 2000 VOMAG Lastwagen im Einsatz.

Als einer der ersten deutschen Hersteller beschäftigte sich das Unternehmen ab 1923 mit der Entwicklung von Niederrahmenbussen. Dieses Konzept, das bereits 1914 in den USA entwickelt wurde, bezog sich auf einen tiefer gelegten Fahrzeugschwerpunkt, der die Kippgefahr minimierte und eine niedrige Einstiegshöhe ermöglichte. Aufgrund dieser innovativen Neuerungen etablierte sich die Firma auf dem Markt.

Die nächste Station bildete 1927 zusammen mit der Sächsischen Waggonfabrik Werdau die Serieneinführung des Ganzstahlomnibusses.

Eine weitere, aber letztendlich erfolglose Neuerung waren die Omnibusse mit Vorderrad-Antrieb, die wegen zu hoher Lenkkräfte und fehlender Servounterstützung im Versuchsstadium stecken blieben.

Die Jahre der Weltwirtschaftskrise verzeichneten auch bei der VOMAG einen Einbruch. Trotz Streiks und Entlassungen konnte die Produktion auf einem Minimum beibehalten werden.

Die Machtübernahme der Nationalsozialisten bescherte dem Betrieb wieder volle Auftragsbücher für den Bau von LKWs und Bussen.

Ein Novum war ein Bustyp mit einem Zwölfzylinder-Maybach-Motor., dessen Kraft von bis zu 300 PS eigentlich für Panzer vorgesehen war und mit dem man der Deutschen Reichsbahn Konkurrenz machen wollte.

Ab 1941 nahm die Produktion von Rüstungsgütern einen immer höheren Stellenwert ein. Es wurden Halbkettenzugmaschinen, Panzer und Jagdpanzer gefertigt. 1942 entstand an der Elster eine hochmoderne Fertigungshalle, in der die Panzer montiert wurden.¹

Trotz ihrer Beschädigung bei den 14 Bombenangriffen auf Plauen hätte die VOMAG ihre Produktion wieder aufnehmen können. Infolge des Befehls der russischen Besatzer zur vollständigen Demontage des Betriebes aufgrund der Kriegsproduktion gehörte das einst innovative und erfolgreiche Unternehmen der Geschichte an.

Ab 1953 nutzte das Instandsetzungswerk für Großraumfahrzeuge die Montagehalle in Plauen zur Reparatur von LKWs und Bussen. Nach und nach spezialisierte man sich auf die Instandsetzung von Bussen. Anfangs wurden auf Vorkriegschassis neue Aufbauten aufgebaut, bis dann die ersten DDR-Busse der Marken H 3B und H 6B zum Neuaufbau kamen. Als dann in der DDR keine neuen Busse mehr gefertigt werden durften, bestand die Hauptaufgabe in der Instandsetzung ungarischer IKARUS- Busse, was jedoch nach der Wende keine Fortführung mehr fand.

Die gute Qualität der überholten Fahrzeuge beeindruckte die Brüder Albrecht und Konrad Auwärter aus Stuttgart und man entschloss sich zur gemeinsamen Zusammenarbeit.

1.1.2 Standortgründung in Stuttgart

Vergleichbar mit der Geschichte der VOMAG in Plauen ist 1935 die Gründung eines Karosseriebaubetriebes in Stuttgart durch Gottlob Auwärter (Anlage 2). Auch in diesem Werk baute man LKWs, auf deren Grundgestell Buskarosserien montiert wurden.

¹ online: wikipedia/ VOMAG

Der Zweite Weltkrieg brachte auch hier Verluste ein, jedoch verhalfen technische Neuerungen, wie die robuste Ganzstahlbauweise - in dieser Zeit ein absolutes Novum im Busbau - dem Firmengründer Auwärter zum Aufstieg aus den Schwierigkeiten der Nachkriegswirtschaft.

Somit erkennt Auwärter, dass eine Trennung von Bus- und LKW-Bau unabdingbar ist.

Also wird ein eigenständiger Bus konstruiert, der nichts mehr mit einem LKW gemein hat. „Es gibt kein separates Chassis mehr, Fahrwerk und Aufbau bilden vielmehr eine Einheit, die sich selber trägt. Bei dieser freitragenden Bauweise übernimmt ein Gerippe aus Vierkant-Profilen die Tragefunktion. Die Seitenbeplankung wird auf das Gerippe aufgeschweißt und sorgt so für zusätzliche Stabilität. Diese fortschrittliche Konstruktion bringt eine Reduzierung des Eigengewichts um mehrere hundert Kilo mit sich. Eine weitere Neuheit: Der Motor findet im Heck seinen gut zugänglichen Platz. So ist der moderne Omnibus geboren. Um sich bereits beim Namen von seinen Vorgängern abzuheben, erhält er die Markenbezeichnung Neoplan aus dem Griechischen: neuer Plan.“² (Anlage 3)

Mit der Patentierung der Luftfederung wird ein weiterer Meilenstein in der Geschichte der Firma Neoplan gelegt.

1960 steigt Neoplan in den Flughafenverkehr ein, wobei sich die technischen Anforderungen dieser Busse wesentlich von den im Linienverkehr eingesetzten Fahrzeugen unterscheiden, denn die zurückgelegten Strecken sind extrem kurz, alle Passagiere betreten und verlassen das Fahrzeug gemeinsam und die Ein- und Ausstiegszeiten müssen so kurz wie möglich gehalten werden.

So wird der Flughafenbus, ein spezieller Niederflerbus, konstruiert, der einen Vorderantrieb besitzt und dessen Motor sich neben dem Fahrer befindet. Sein Fahrgastraum ist durchgehend eben, der Einstieg ist stufenlos, wobei die Fußbodenhöhe lediglich 350 mm beträgt. Das alles wird durch eine Einzelradaufhängung und Einzelbereifung ermöglicht.

Damit wird Neoplan der Weltmarktführer im Flughafenbusbau.

In den 60er Jahren machte Neoplan durch neues Design auf sich aufmerksam.

Aus der runden Form und kleinen Fenstern wird eine kantige Lilienführung mit großen, ins Dach gewölbten Seitenscheiben, die noch heute das Aussehen der Busse prägen.³

² online: [NEOPLAN/Historie/Meilensteine/1935 bis 1953](#)

³ online: [NEOPLAN/Historie/Meilensteine/1954 bis 1960](#)

Auch im Innenraum wurden Veränderungen vorgenommen. Die Sitzreihen wurden auf Podesten angeordnet, die nach hinten leicht anstiegen. An der Decke verliefen parallel zum Mittelgang zwei Luftkanäle, wodurch der Fahrgast von seinem Sitzplatz aus die Frischluftzufuhr mit einer Düse individuell regulieren konnte.

Gleichzeitig begann man mit dem Bau von Doppeldeckerbussen, deren Merkmale eine spezielle Leichtbauweise und eine neu entwickelte Tiefrahmen-Vorderachse waren.

Auf der 8. Internationalen Omnibuswoche in Nizza 1967 wird der erste Neoplan Skyliner vorgestellt, welcher noch heute im Werk Plauen produziert wird.

In den folgenden Jahren wächst das Unternehmen ständig. Neue Modelle, wie der Cityliner und der Jetliner, kommen auf den Markt und Neoplan fängt an, auch im Ausland, speziell auf dem afrikanischen Kontinent, zu produzieren, von wo aus der Tropicliner hervorgeht.

Auf Grund des wachsenden Erfolges und der hohen Kapazitätsauslastung im Stuttgarter Stammwerk entscheidet Neoplan, ein weiteres Werk im bayrischen Pilsting zu errichten.

Anfang der 80er Jahre feiert der Reisebus Spaceliner auf der IAA seine fulminante Premiere. Er hat eine komplette Fahrgastreihe mehr – das neuartige Unterflur-Cockpit liegt nämlich unter der vorderen Sitzreihe- und bietet dem Fahrer eine völlig ungestörte Arbeitsatmosphäre, die dem Cockpit eines Sportwagens gleicht. „Fahrer und Beifahrer erhalten je eine eigene Tür, der Einstieg für die Reisegäste befindet sich in der Wagenmitte. Der Fahrer erreicht diese über einen niedrigen Gang direkt vom Fahrerplatz. Auf beiden Seiten der Treppe zum Passagiererraum können alle erdenklichen Komforteinrichtungen wie Toilette, Waschraum, Küche, Garderobe, Fahrerschlafkabine etc. angeordnet werden. Abgerundet wird das revolutionäre Konzept von einem riesigen Kofferraum.“⁴

In Berlin wird eine neue Produktionsstätte eröffnet und fungiert als Servicezentrum. Auch auf dem amerikanischen Markt etabliert sich das Unternehmen.

⁴ online: NEOPLAN/Historie/Meilensteine/1976 bis 1981

Die Niederflurbusse setzen sich im Nahverkehr endgültig durch. Konsequenterweise beginnt Neoplan mit der Konstruktion und Produktion standardisierter Linienbusse, die bis heute unter dem Namen Centroliner gebaut werden.

Mit dem ersten völlig freitragenden Omnibus der Welt, der keinerlei stützende Chassis oder Gerippe mehr benötigt, feiert Neoplan 1988 Weltpremiere. Der Metroliner im Carbon-Design ist als komplette Zelle ganz aus Kunststoff hergestellt. Auf Grund seines geringen Eigengewichts ist er prädestiniert für alternative Antriebssysteme wie Hybrid- oder Brennstoffzellenantrieb.⁵

1.1.3 Die Firma Neoplan nach der Wende

Bevor die Neoplan Bus GmbH Plauen am 06.12.1991 gegründet wurde, gab es bereits zuvor eine intensive Zusammenarbeit zwischen dem Vorgängerbetrieb in Plauen und der Firma Auwärter in Stuttgart. Die Grenze hatte sich kaum geöffnet, als sich die Brüder Auwärter in unternehmerischer Weitsicht auf dem Gebiet der damaligen DDR fähige und leistungsstarke Partner suchten, die sich in der Branche des Karosserie- und Fahrzeugbaus auskannten und zugleich bereit waren, neue Wege zu gehen. Unter zwölf Bewerbern blieben am Ende die Werke in den Städten Ehrenhain und Plauen übrig, woraufhin erste konkrete Absprachen der zukünftigen Zusammenarbeit getroffen wurden.

Die ostdeutschen Mitarbeiter wurden in Berlin mit den neuen Technologien vertraut gemacht. Die Brüder Auwärter waren von den handwerklichen Fähigkeiten, der Einsatzbereitschaft der Mitarbeiter sowie der guten Qualität der ersten in Plauen produzierten Fahrzeuge begeistert.

In den Anfangsjahren wurde die alte Kundschaft mit neuen Neoplans beliefert. Privatunternehmer und Verkehrsgesellschaften in den neuen Bundesländern mussten zügig ihren Fahrzeugbestand erneuern, um in der freien Marktwirtschaft bestehen zu können. Dieser Umstand bescherte den Plauener Omnibusbauern volle Auslastung.

1992 war ein Jahr der Veränderungen. Die alte VOMAG- Montagehalle wurde gründlich überholt. Ein Neubau schaffte Platz für eine Reparatur- und Serviceabteilung, einen Bremsenprüfstand sowie zwei Gruben für das Endfinish und die Ausstellungshalle.

Auch Büros der Geschäftsleitung sowie die Kantine fanden hier ihren Platz.

⁵ online: NEOPLAN/Historie/Meilensteine

Die nächsten Jahre bestimmte die Fertigung von Transliner in Zusammenarbeit mit Berlin. Niederflurbusse fertigte man gemeinsam mit Pilsting. Die Centroliner wurden nach Anlieferung der Zelle komplett in Plauen gebaut.

Sonderfahrzeuge und Fahrzeuge mit umweltfreundlichem Antrieb prägten ebenfalls das Plauener Produktionsprofil.

Im August 1996 konnte das 1000. Fahrzeug aus Plauen, ein Transliner, ausgeliefert werden.

1998 verlagerte man die Produktion des Flughafenvorfeldebusses von Stuttgart nach Plauen. Gleichzeitig entstand ein Neubau für den Aggregateeinbau.

Mit der Entscheidung, die Produktion des Euroliners nach Plauen zu verlegen, bekam das Werk Plauen die Chance, sich seine Zukunft zu sichern.⁶

„Am 20. Juni 2001 gibt die Kommission in Brüssel die Übernahme der Gottlob Auwärter GmbH & Co. KG durch die MAN Truck & Bus AG in München frei. Die Gottlob Auwärter GmbH & Co. KG firmiert seit 1. Juli 2001 unter dem neuen Namen Neoplan Bus GmbH. Im Laufe der Fusion wird Neoplan als Premiummarke der NEOMAN Bus Gruppe integriert, die Busse der Marken Neoplan und MAN entwickelt, produziert und vermarktet.“⁷

Mittlerweile wurden sowohl das Stammwerk in Stuttgart als auch die Werke in Berlin und Pilsting geschlossen. Der Standort Pilsting existiert jedoch unter dem Namen VISEON weiter.

Der Standort Plauen hat sich bewährt und ist seitdem einziger Produktionsstandort von Neoplan - Bussen in Deutschland.

⁶ online: NEOPLAN/Historie/Meilensteine

⁷ online: NEOPLAN/Historie/Meilensteine/2000 bis 2002

1.2 Ausgangspunkt und Zielstellung der Diplomarbeit

Die Neoplan Bus GmbH gehört zur MAN Truck & Bus AG und ist auf die Fertigung von Premium-Reisebussen spezialisiert. Klangvolle Namen wie Skyliner (Anlage 4), Starliner (Anlage 5) oder Cityliner (Anlage 6) regen die Vorstellung von Reisekomfort, Innovation und höchster Qualität an. Neoplan-Busse werden solchen speziellen Kundenwünschen stets gerecht. Daher ist der kontinuierliche Verbesserungsprozess ein wesentlicher Bestandteil der Firmenphilosophie. Die Qualität der Neoplan-Busse ist nicht nur durch technische Innovation und Knowhow, sondern auch durch das äußere Erscheinungsbild geprägt. Daher werden sehr hohe Anforderungen an die Erscheinung der Lackoberflächen gestellt.

Doch wie kann man Qualität definieren?

Am Beispiel von zwei Qualitätsmerkmalen des Decklackes soll die Qualitätsdatenerfassung und –auswertung ausführlich beleuchtet werden. Der Fokus liegt dabei auf der visuellen sowie rechnerischen Analyse von aufgenommenen Messwerten bezüglich der Beschaffenheit von Lackoberflächen, der Toleranzfestlegung und damit der daraus resultierenden messbaren Qualität.

Die Analyse der Lackoberfläche bezieht sich hier auf den Glanzgrad und die so genannte Orangenhaut bzw. orange peel.

Der Orangenhaut-Effekt, oder auch Spritznarbigkeit genannt, ist eine Verlaufsstörung des Lackes, wodurch die Lackstruktur der Beschaffenheit einer Orangenschale ähnelt. Ursachen dafür sind z.B. eine zu hohe Viskosität des Lackes, die Verwendung ungeeigneter Verdünnung, falsche Düsendrößen an der Lackpistole oder ein zu großer Spritzabstand⁸.

In der Diplomarbeit werden keine Lackschäden, -einschlüsse oder -läufer untersucht.

Die Grundlage für diese Diplomarbeit ist die vorangegangene Projektarbeit über die Oberflächenstrukturanalyse von Lackoberflächen im Außenbereich von Premium-Reisebussen, worin der Einfluss des so genannten Orangenhaut-Effektes und der Schichtdicke auf die visuelle Wahrnehmung verschiedener Probanden ausführlich untersucht wurde.

⁸ online: <http://www.spieshecker.de>

Ziel dieser Diplomarbeit soll es nun sein, anhand der in der vorangegangenen Projektarbeit gewonnenen Daten und mit Hilfe statistischer Berechnungsmethoden Toleranzgrenzen für den Lackierprozess zu definieren. Außerdem soll ein konkreter Messablauf festgelegt und in den laufenden Produktionsprozess eingeführt werden.

1.2 Vorgehensweise bei der Datensammlung

Im Rahmen der 3. Studienarbeit wurde eine umfassende Datensammlung durchgeführt, welche Basis für die Toleranzberechnung ist. Zusätzlich wurden subjektiv gewonnene Werte aus der Sichtprüfung mit den aufgenommenen Welligkeitsmesswerten verglichen.

Im Zuge der Datensammlung wurden fünf verschiedene Probanden ausgewählt, die das Lackbild im Bezug auf seine Welligkeit visuell, nach einem Schulnotensystem von 1 bis 5, beurteilen sollten. Dazu wurde jedes Fahrzeug in 12 Zonen unterteilt, wobei jede Zone als ein Planquadrat von etwa 0,5 x 0,5 m zu betrachten ist (Anlage 7). In jeder der 12 Zonen wurden zeitgleich noch Schichtdickenwerte, Welligkeitswerte sowie Glanzgradwerte aufgenommen. Die Auswertung ergab dabei, dass die subjektive Wahrnehmung mit den Messwerten der Wave-Scan-Messungen korreliert.

2 Aufbereitung und Visualisierung vorhandener Daten

Die Erscheinung des Lackbildes hat verschiedene Einflüsse, zu denen die Welligkeit, der Glanzgrad sowie die Schichtdicke gehören. Diese variieren in Abhängigkeit der angewandten Lacktechnologie. In der folgenden Grafiken (Abbildung 1 und 2) ist der Prinzipielle Aufbau des Lackes schematisch dargestellt.

Lacktechnologie: Basislack + Klarlack

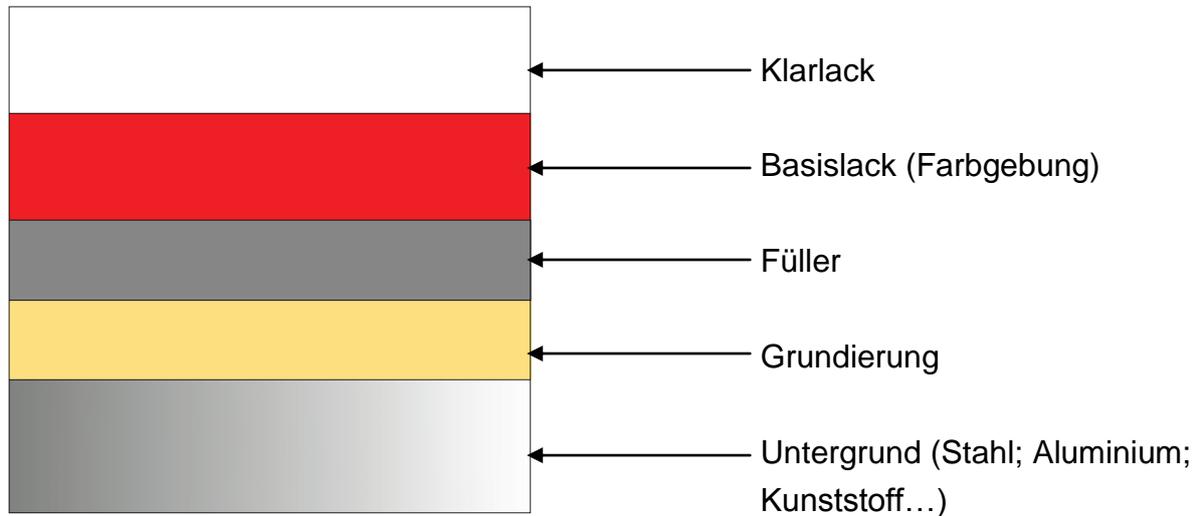


Abbildung 1 Decklack + Klarlack

Lackiertechnologie: Unilack

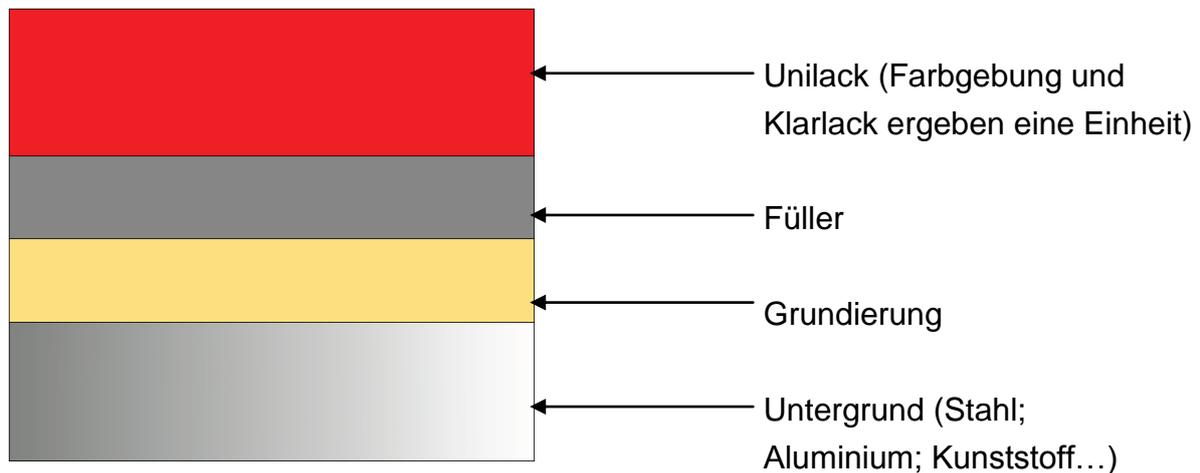


Abbildung 2 Unilack

Um Faktoren wie Welligkeit, Glanzgrad und Schichtdicke untersuchen zu können, werden Messwerte mit verschiedenen Messgeräten aufgenommen.

2.1 Vorstellung der verwendeten Messgeräte

2.1.1 Das byko-test 1500 (Hersteller: BYK-Gardner)

Das byko-test 1500 ist ein Schichtdickenmessgerät, mit dem sich die Schichtdicke einer Lackschicht auf verschiedenen Untergründen messen lässt (Anlage 8). Das verwendete Messprinzip hängt von der Zusammensetzung des lackierten Körpers ab.

Bei ferromagnetischen Untergründen kommt die magnetive Methode zum Einsatz. Das Magnetfeld der im Gerät eingebauten Magnetspulen wird durch die Annäherung an die magnetische Oberfläche verändert. „Die Magnetfeldänderung hängt vom Abstand der Sonde zum Untergrund – und somit von der Schichtdicke – ab.“⁹

Die magnetive Methode wird bei den Messungen an der Seitenwand verwendet, da diese aus einer Stahlblech- Tafel besteht. Die Klappen eines Reisebusses bestehen jedoch aus Aluminium. Hierzu wird als Messprinzip die Wirbelstrom- Methode verwendet, welche auf dem Prinzip der elektromagnetischen Induktion beruht. An die mit feinem Draht gewickelte Spule im Gerät wird ein hochfrequenter Wechselstrom angelegt, wodurch ein Magnetfeld erzeugt wird. Gelangt die Sonde in die Nähe eines leitenden Trägers, werden in diesem Wirbelströme erzeugt, die auf das Magnetfeld einwirken. Die Größe der Rückwirkung hängt vom Abstand der Sonde und somit wiederum von der Schichtdicke ab

2.1.2 Das Wave-Scan II (Hersteller: BYK-Gardner)

Mit dem Wave-Scan II (Anlage 9) kann die Lackqualität von Neoplan-Bussen messbar werden. Das Gerät ist in der Lage, die Welligkeit hochglänzender Oberflächen zu messen, welche einen bedeutenden Faktor im Erscheinungsbild des Lackes darstellen. Die Funktionsweise des Gerätes basiert auf der unterschiedlichen Reflexion des Lichtes durch die Oberflächenbeschaffenheit. Als Lichtquelle hierzu dient ein Laser, dessen reflektiertes Licht auf eine Fozelle trifft. Durch dieses Prinzip werden mit Hilfe eines mathematischen Filters die verschiedenen Wellenlängen auf der Oberfläche errechnet und am Gerät angezeigt (Anlage 10). Die Dominanz unterschiedlicher Wellenlängen sorgt wiederum für verschiedene Erscheinungsformen der Lackoberfläche¹⁰.

⁹ online: <http://www.igz.ch>

¹⁰ online: <http://www.byk.com>

In früheren Messverfahren wurden hierzu nur zwei Wellenlängen unterschieden, Longwave und Shortwave. Diese werden vom Messgerät erfasst. Moderne Welligkeitsmessgeräte unterscheiden darüber hinaus fünf verschiedene Wellenlängen, Wa bis We. Dabei sind deren Werte logarithmisch aufgebaut. Während bei Wa eine Wellenlänge von 0,1 bis 0,3 mm gemessen wird, zeigt We Wellenlängen von 10 bis 30 mm an (Anlage 11). Durch die aus den Messwerten resultierenden Diagramme kann das äußere Erscheinungsbild der Lackoberfläche abgeleitet werden (Anlage 12, 13, 14, 15).

2.1.3 Das micro-TRI-gloss

Die Firma BYK-Gardner ist Vorreiter auf dem Gebiet der Oberflächenmessung. Neben Welligkeitsmessgeräten wie dem Wave-Scan II gehört auch das Glanzgradmessgerät micro-TRI-gloss (Anlage 16) zur Produktpalette des Unternehmens. Ähnlich wie beim Wave-Scan II werden verschiedene Werte durch die Reflexion des Lichtes durch die Lackoberfläche ermittelt. Die unterschiedliche Streuung des Lichtes bei der Reflexion sorgt dabei für verschiedene Erscheinungsbilder der Lackoberfläche (Anlage 17, 18).

Je weniger das Licht gestreut wird, desto mehr glänzt die Oberfläche. Als Lichtquelle dienen hierbei langlebige Leuchtdioden, die in definierten Beleuchtungswinkeln (20°, 60°, 85°) eingebaut sind (Anlage 19). In drei Sensoren, die dazu im jeweiligen Reflexionswinkel angebracht sind, wird der prozentuale Anteil des reflektierten Lichtes gemessen und in die Glanzeinheit umgerechnet. Dabei wird zwischen metallischen und nicht metallischen Oberflächen, wie zum Beispiel Kunststoffen oder Lacken, unterschieden. Zum Schutz der hochempfindlichen Sensoren sorgt eine Abdeckkappe mit eingebautem Prüfkörper zur Autodiagnose. Das Gerät meldet selbstständig, wenn eine Kalibrierung nötig ist.

2.2 Lackanalyse

2.2.1 Schichtdickenanalyse

Um herauszufinden, welchen Einfluss die verschiedenen Schichtdicken auf das Aussehen des Lackbildes haben, wurden die Werte mit den Ergebnissen der visuellen Beurteilung verglichen.

Diese Auswertung erfolgte messpunktbezogen, d.h., jeder Messpunkt wurde einzeln betrachtet. Die Analyse ist fahrzeugunabhängig. Die gesammelten Daten wurden in einem Diagramm (Abbildung 3) zusammengefasst:

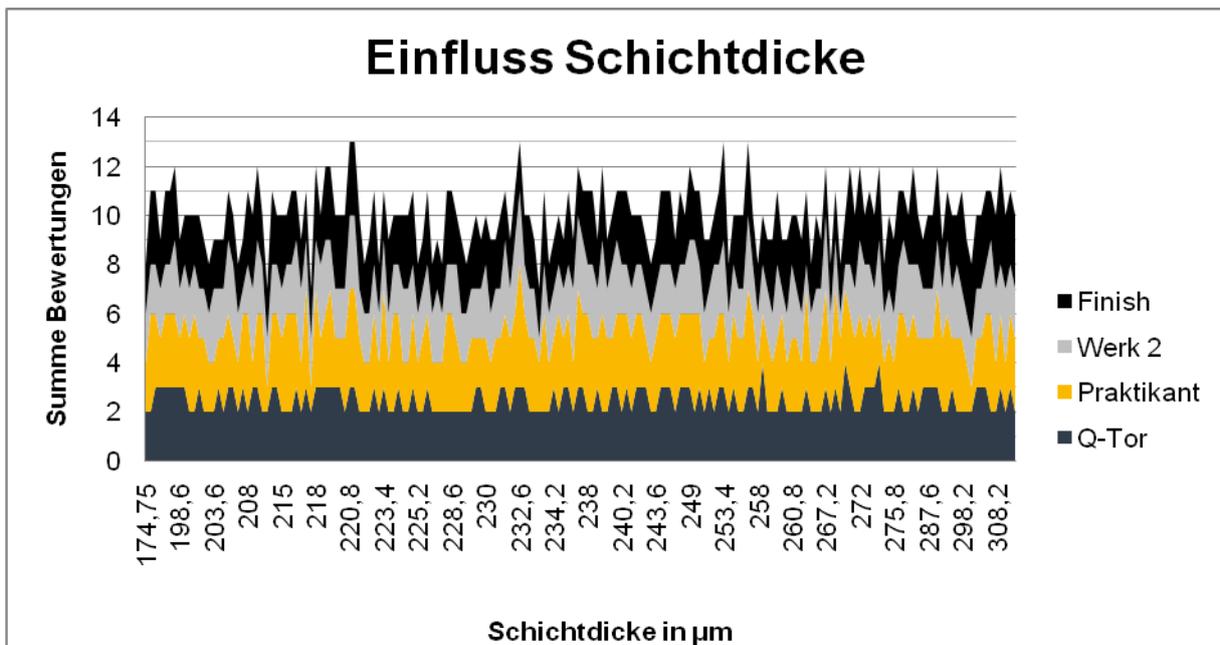


Abbildung 3 Schichtdickenanalyse

Das Diagramm zeigt die von den Probanden vergebenen und aufsummierten Noten, die den Schichtdickenwerten zugeordnet sind. Das bedeutet, dass an Minimum-Stellen tendenziell die besten Bewertungen und an Maximum-Stellen die schlechtesten Bewertungen abgegeben wurden. Die Schichtdickenwerte sind dabei der Größe nach aufsteigend geordnet.

Aus dem Diagramm ist abzulesen, dass in allen Bereichen sowohl gute als auch schlechte Beurteilungen abgegeben wurden. Aufgrund der großen Streuung der Werte lässt sich schlussfolgern, dass die Schichtdicke keinen wesentlichen Einfluss auf das optische Erscheinungsbild bzw. die Wahrnehmung der Lackoberfläche hat.

2.2.2 Welligkeitsanalyse

Wie bereits in Kapitel 2.1.2 erläutert, ergeben sich aufgrund der Dominanz verschiedener Wellenlängen unterschiedliche Lack- Erscheinungsbilder. Diese Ausprägung der Wellenlängen wird zur visuellen Analyse in einem Diagramm dargestellt. Hierzu sind auf der X-Achse die Wellenlängenbereiche von λ_a bis λ_e aufgetragen. Die Y-Achse zeigt den Ausschlag dieser Werte, also die Häufigkeit dieser bestimmten Wellenlängen in einem definierten Messbereich.

Anhand der Notenvergabe bei der visuellen Bewertung des Lackbildes wurden die am besten bzw. die am schlechtesten bewerteten Kurven herausgefiltert und dargestellt (Abbildung 4, 5).

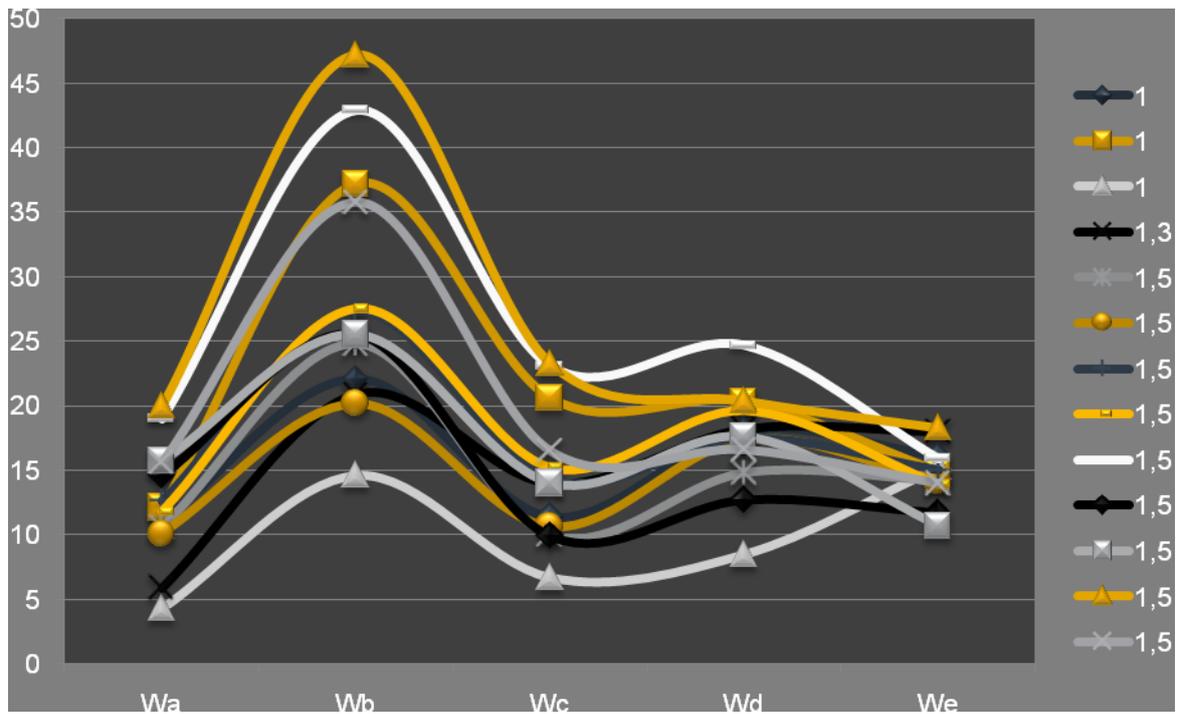


Abbildung 4 Graphen für die Benotung 1 bis 1,5

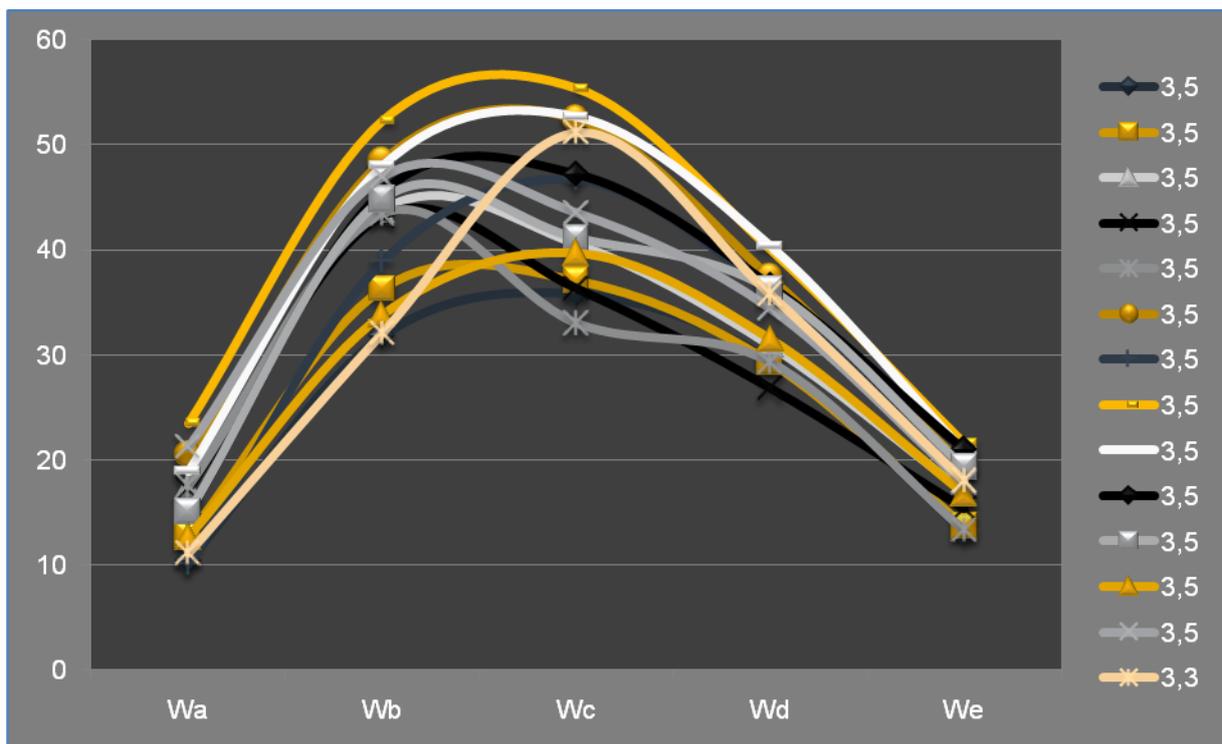


Abbildung 5 Graphen für die Benotung 3,3 bis 3,5

Bei Betrachtung der Kurven lässt sich ein deutlicher Unterschied zwischen den guten und den schlechten Bewertungen erkennen. Markant sind dabei die Ausschläge der verschiedenen Graphen sowie das unterschiedliche Verhältnis zwischen den Wb- und Wd-Werten.

Die visuelle Wahrnehmung der Welligkeit hängt teilweise vom individuellen Geschmack des Betrachters ab. Fakt ist jedoch, dass ein Zusammenhang zwischen der optischen Beurteilung und den Welligkeitswerten besteht, wie es die oben gezeigten Diagramme darstellen. Dabei kommt es auf das Verhältnis zwischen langen und kurzen Wellen sowie die Höhe der Werte an. Niedrige Werte werden dabei tendenziell besser empfunden als hohe Werte.

Werksintern kam seitens der Qualitätssicherung öfter die Anmerkung, dass sich das Erscheinungsbild der Lackoberfläche im Laufe der Produktion verändert. Es soll nachgewiesen werden, ob sich der Lack aufgrund der Vorgänge beim Aushärteprozess optisch ändert. Daher werden jeweils mit dem Wave-Scan-Gerät zwei Messungen durchgeführt. Die erste Messung findet kurz nach der Lackierung des Fahrzeuges im Bereich Q-Tor statt, die zweite Messung bei der Fahrzeugendabnahme im Bereich Finish (Anlage 20). Zwischen diesen zwei Messstationen liegen etwa zwei bis drei Wochen Produktionszeit. Die aufgenommenen Messwerte werden miteinander verglichen und die Korrelation der Werte zueinander wird überprüft. Die Diagramme (Anlage 21) zeigen die Gegenüberstellung der Werte von Q-Tor und Finish. Liegt eine Korrelation vor, so ergeben die Werte eine Linie.

Bei Betrachtung der Diagramme ist festzustellen, dass die Werte sehr stark streuen. Für eine Korrelation müssten sich die Punkte deutlich in Richtung der, hier rot dargestellten Gerade, orientieren. Somit ist abzuleiten, dass die Messwerte der Messungen am Q-Tor nicht mit denen der Messungen im Finish korrelieren.

Die starke Abweichung der Messwerte kann durch Messfehler entstanden sein, da das genaue Treffen des gleichen Messbereiches der ersten Messung nicht garantiert ist (Messzone = Planquadrat ca. 0,5x0,5 m).

Um einen solchen Messfehler auszuschließen, wird analog dazu ein Fertigungsversuch durchgeführt. Dazu wurde ein Blech in der Größe DIN A5 mit Füller und Decklack beschichtet. Auf diesem Prüfkörper werden täglich an drei definierten Stellen Wave-Scan-Messungen durchgeführt. Somit sind Messfehler ausgeschlossen. Aus den gewonnenen Daten soll nun die Alterung des Lackes visualisiert werden (Abbildung 6).

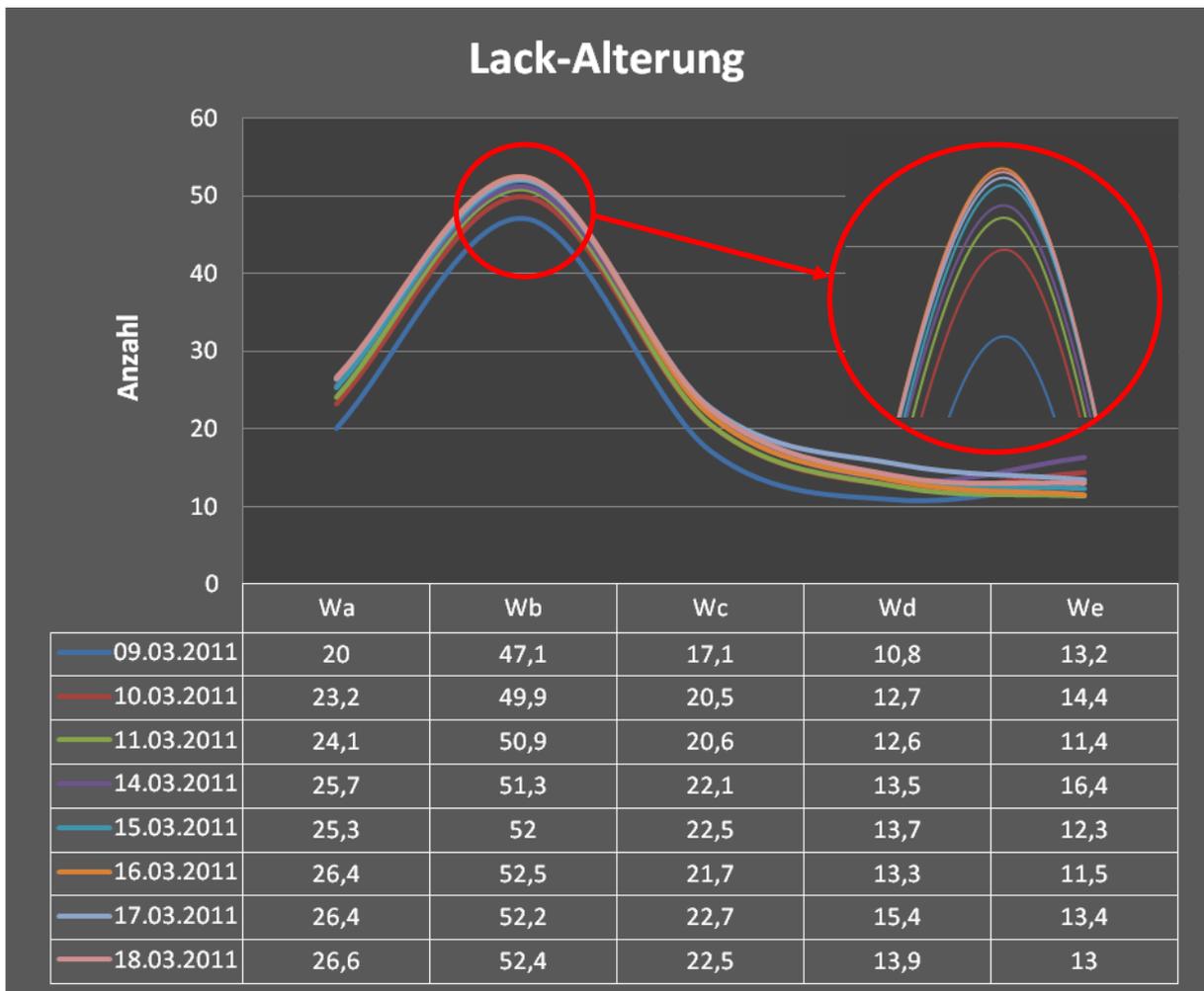


Abbildung 6 Lackalterung

Das Diagramm zeigt die Alterung des Lackes im Zeitraum von neun Tagen. Es ist deutlich zu erkennen, dass beim Vergleich der ersten beiden Messungen die Werte stark angestiegen sind. In diesem Zeitraum ist die Veränderung am größten, da dort die Aushärtung des frisch lackierten Bleches den größten Einfluss auf die Oberflächenbeschaffenheit des Lackes hat.

Je mehr die Beschichtung aushärtet, desto geringer sind die Veränderungen. Die Dauer des Aushärtungsprozesses kann bis zu einem Jahr betragen. Die Messwerte würden sich voraussichtlich nach einer bestimmten Zeit einpendeln.

Es ist eine Messwertabweichung von 4-6% durch Ungenauigkeit des Messgerätes zu erwarten. Bei einer Testmessung auf einem Prüfkörper wurde dabei eine Standardabweichung von 0,38 bis 0,81 errechnet. Da einige Werte im Zuge der letzten Messungen steigen, jedoch auch wieder sinken, ist davon auszugehen, dass diese Schwankung auf Ungenauigkeiten des Messgerätes zurückzuführen sind.

2.2.3 Glanzgradanalyse

Analog zu den Welligkeitsmessungen werden auch im Zuge der Glanzgradanalyse Messwerte im Bereich Q-Tor sowie im Bereich Finish aufgenommen. Wie bereits in Kapitel 2.1.3 erwähnt, misst das Glanzgradmessgerät den Reflexionsgrad des Lichtes in drei verschiedenen Winkelstellungen. Für die Messung auf hochglänzenden Oberflächen, wie beispielsweise poliertes Metall oder Lackschichten, wie es in diesem Beispiel der Fall ist, wird jedoch nur die 20°-Messung betrachtet.

Die gesammelten Daten werden ausgelesen und in einer Datenbank gespeichert. Im Laufe der Datensammlung wurden 915 Messwerte an 38 Fahrzeugen aufgenommen. Weitere Einflussfaktoren auf den Glanzgrad, wie zum Beispiel der Farbton oder die Lackserie, wurden in die Datenbank aufgenommen. Die folgende Tabelle (Tabelle 1) ist ein Auszug aus der Stammdatenbank der Glanzgradwerte.

	A	B	C		D		E		F		G		H		I	J	
1			20°		60°		85°									Farbe	
2	Fzg- N	Zone	Mitt	StAb	Mitt	StAb	Mitt	StAb	Farbtc	Bezeichnung							
3	P110220	1	93,52	0,12	101,04	0,20	98,92	0,18	Silber	Hyundai Sky							
4	P110220	2	93,41	0,03	100,72	0,07	99,41	0,03	Silber	Hyundai Sky							
5	P110220	3	93,59	0,12	101,27	0,15	99,37	0,08	Silber	Hyundai Sky							
6	P110220	4	92,56	0,31	100,38	0,32	98,66	0,36	Silber	Hyundai Sky							
7	P110220	5	93,25	0,10	100,64	0,16	99,02	0,12	Silber	Hyundai Sky							
8	P110220	6	93,61	0,11	101,78	0,15	99,55	0,04	Silber	Hyundai Sky							
9	P110220	7	93,02	0,18	100,19	0,24	99,10	0,00	Silber	Hyundai Sky							
10	P110220	8	92,91	0,24	100,01	0,09	99,29	0,10	Silber	Hyundai Sky							
11	P110220	9	92,23	0,08	98,52	0,15	99,20	0,10	Silber	Hyundai Sky							
12	P110220	10	92,47	0,52	99,27	0,27	99,07	0,18	Silber	Hyundai Sky							
13	P110220	11	92,51	0,05	99,03	0,09	98,79	0,30	Silber	Hyundai Sky							
14	P110220	12	92,10	0,30	99,08	0,18	98,31	0,85	Silber	Hyundai Sky							
15	P110220	13	92,12	0,53	100,03	0,21	99,23	0,12	Silber	Hyundai Sky							
16	P110220	14	89,34	0,42	98,49	0,15	98,82	0,13	Silber	Hyundai Sky							
17	P110220	15	93,22	0,59	100,49	0,35	99,58	0,03	Silber	Hyundai Sky							
18	P110220	16	90,44	1,81	99,18	1,06	99,23	0,20	Silber	Hyundai Sky							
19	P110220	17	85,45	1,52	96,54	0,62	98,26	0,23	Silber	Hyundai Sky							
20	P110220	18	78,52	0,92	93,13	0,78	97,55	0,27	Silber	Hyundai Sky							
21	P110220	19	89,87	1,64	98,25	0,67	99,00	0,11	Silber	Hyundai Sky							
22	P110220	20	81,70	2,19	92,85	1,43	94,79	0,36	Silber	Hyundai Sky							
23	P110220	21	89,10	0,42	96,83	0,17	99,04	0,14	Silber	Hyundai Sky							
24	P110220	22	80,99	0,07	93,64	0,33	98,86	0,09	Silber	Hyundai Sky							
25	P110220	23	88,46	0,38	97,38	0,23	98,91	0,11	Silber	Hyundai Sky							
26	P110220	24	91,35	0,45	98,51	0,07	98,94	0,32	Silber	Hyundai Sky							
27	P120294	1	93,21	0,14	101,44	0,36	99,00	0,88	Beige	Toyota 4L5							
28	P120294	2	92,86	0,41	101,46	0,15	101,25	1,68	Beige	Toyota 4L5							
29	P120294	3	93,33	0,44	101,84	0,15	103,32	0,23	Beige	Toyota 4L5							
30	P120294	4	79,46	4,72	95,71	2,10	100,00	0,45	Beige	Toyota 4L5							
31	P120294	5	92,96	0,27	101,80	0,11	101,23	0,95	Beige	Toyota 4L5							
32	P120294	6	89,74	0,14	96,28	0,09	72,58	0,85	Beige	Toyota 4L5							
33	P120294	7	92,73	0,20	100,77	0,48	98,58	2,31	Beige	Toyota 4L5							
34	P120294	8	92,60	0,26	101,63	0,28	101,98	0,45	Beige	Toyota 4L5							
35	P120294	9	92,92	0,23	101,87	0,19	102,16	0,33	Beige	Toyota 4L5							

Tabelle 1 Stammdatenbank Glanzgrad

Das wichtigste Kriterium zur Auswertung der Daten ist die Analyse des Einflusses der Lackserie. Der Glanzgrad ist abhängig von der angewandten Lackiertechnologie. So weist zum Beispiel ein mit Unilack beschichtetes Fahrzeug niedrigere Werte auf, als ein Fahrzeug, das mit Basislack und Klarlack lackiert wurde.

In jeder Messzone wurden drei Glanzgrad-Messungen durchgeführt. Die in den Diagrammen (Abbildung 7 bis 11) angezeigten Werte sind jeweils die Mittelwerte aus diesen drei Messungen. Außerdem wurde die Standardabweichung automatisch über das Ausleseprogramm berechnet, was für das weitere Vorgehen jedoch keine Rolle spielt.

Ähnlich wie bei der Analyse der Wave-Scan-Werte wird auch hier eine Zweitmessung nach zwei bis drei Wochen Produktionszeit durchgeführt, um eventuelle Veränderungen des Glanzgrades festzustellen. Im Zuge dessen werden die Stammdaten in einer neuen Tabelle so einprogrammiert, dass eine Abweichung der Werte der ersten und zweiten Messung direkt in einem Diagramm visualisiert werden kann. Über diverse Filterfunktionen ist es möglich, einzelne Lackserien herauszufiltern und diese anhand des Diagramms zu analysieren. Die Tabelle (Anlage 22) zeigt einen Teil der neu programmierten Datenbank.

Nun können die Daten nach verschiedenen Gesichtspunkten gefiltert und analysiert werden. Die folgenden Diagramme (Abbildung 7 bis 11) stellen die unterschiedlichen Ergebnisse bei verschiedener Filterung dar.

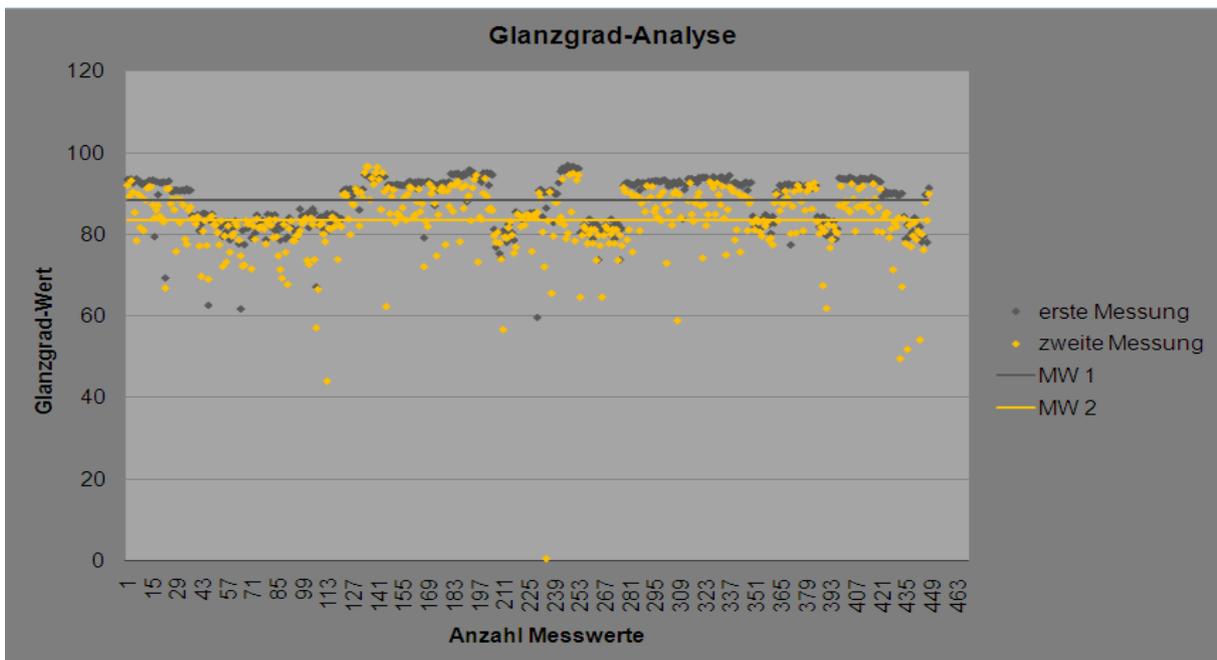


Abbildung 7 Glanzgrad aller Lackserien

Die im Diagramm schwarz dargestellten Punkte sind die Messwerte der ersten Messung, die gelben Punkte die der zweiten Messung. Hierzu ist ein deutlicher Unterschied zu erkennen, was möglicherweise an der bereits nachgewiesenen Lackalterung oder auch an Schmutz auf dem Fahrzeug liegen kann. Zur besseren Verdeutlichung wurde über die verschiedenen Datenreihen der Mittelwert errechnet, welcher hier jeweils als schwarze bzw. gelbe Linie dargestellt ist.

Wie bereits erwähnt, ist der der Glanzgrad stark von der Lackserie abhängig. Daher werden die verschiedenen Lackserien über die in die Datenbank einprogrammierte Filterfunktion herausgefiltert und deren Werte untersucht (Abbildung 8 bis 11).

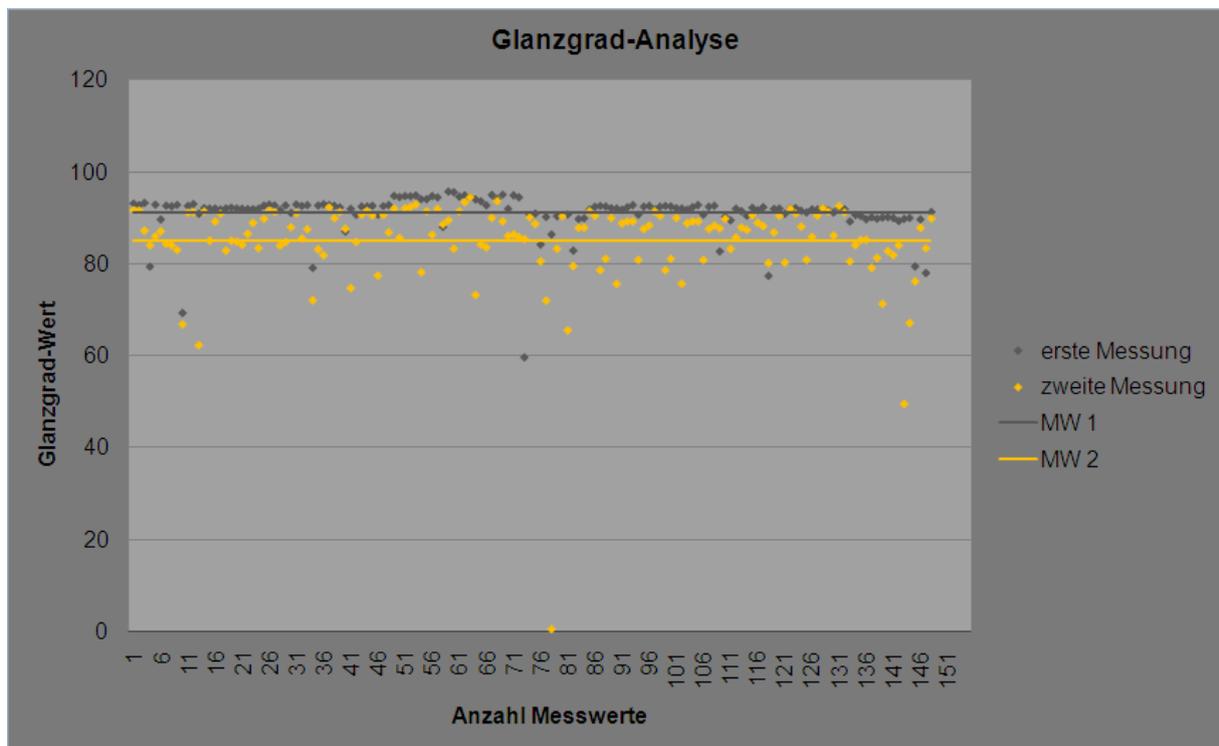


Abbildung 8 Glanzgrad Serie Glasurit Wasserbasislack Reihe 90

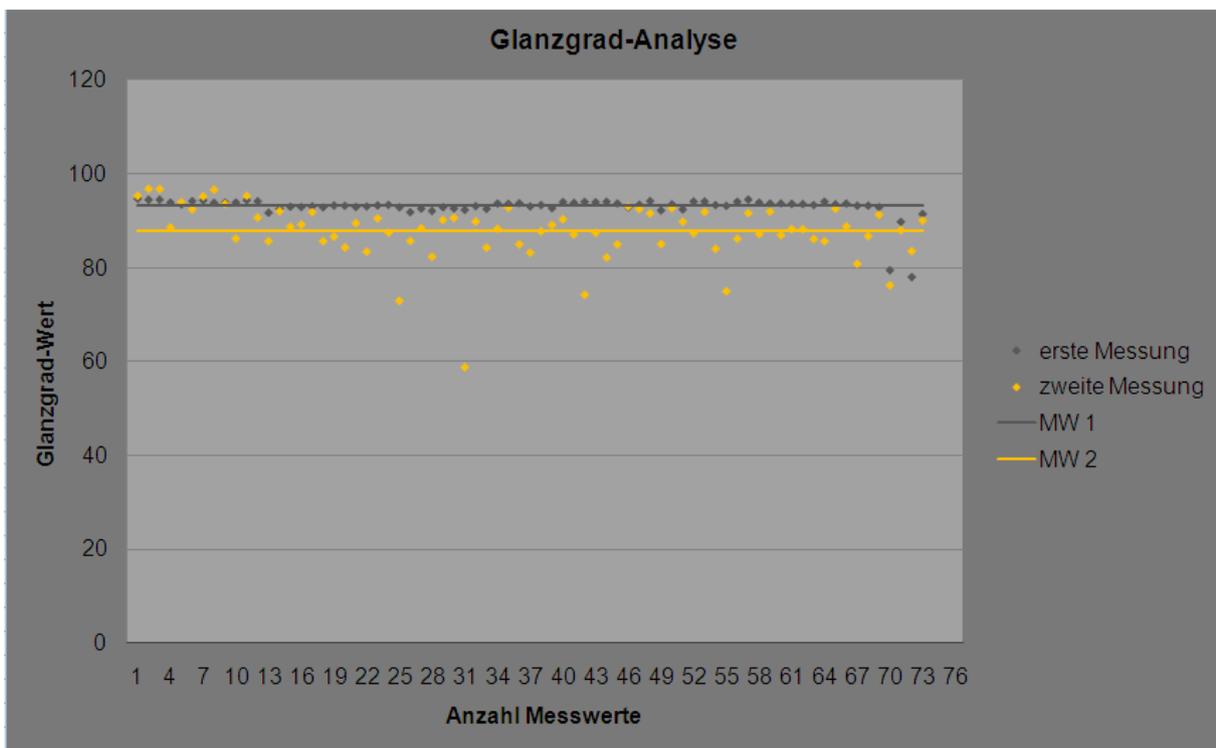


Abbildung 9 Glanzgrad Serie 295+293

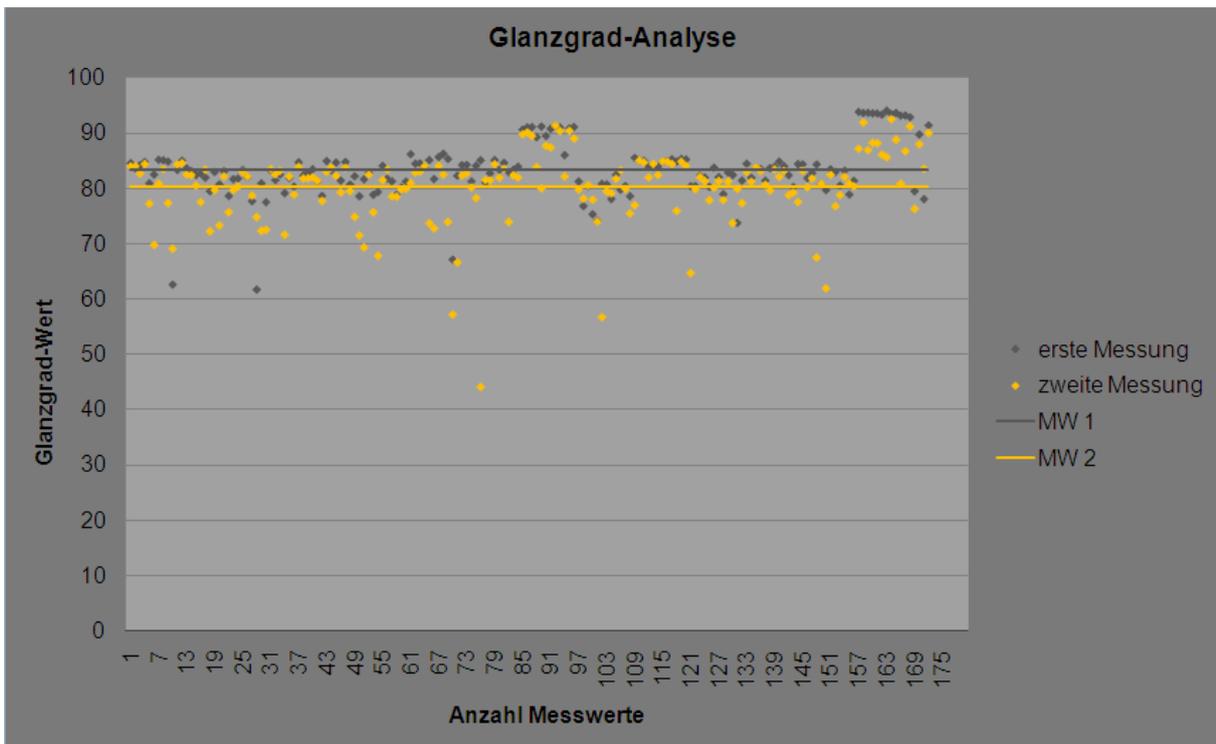


Abbildung 10 Glanzgrad Serie 670+9700

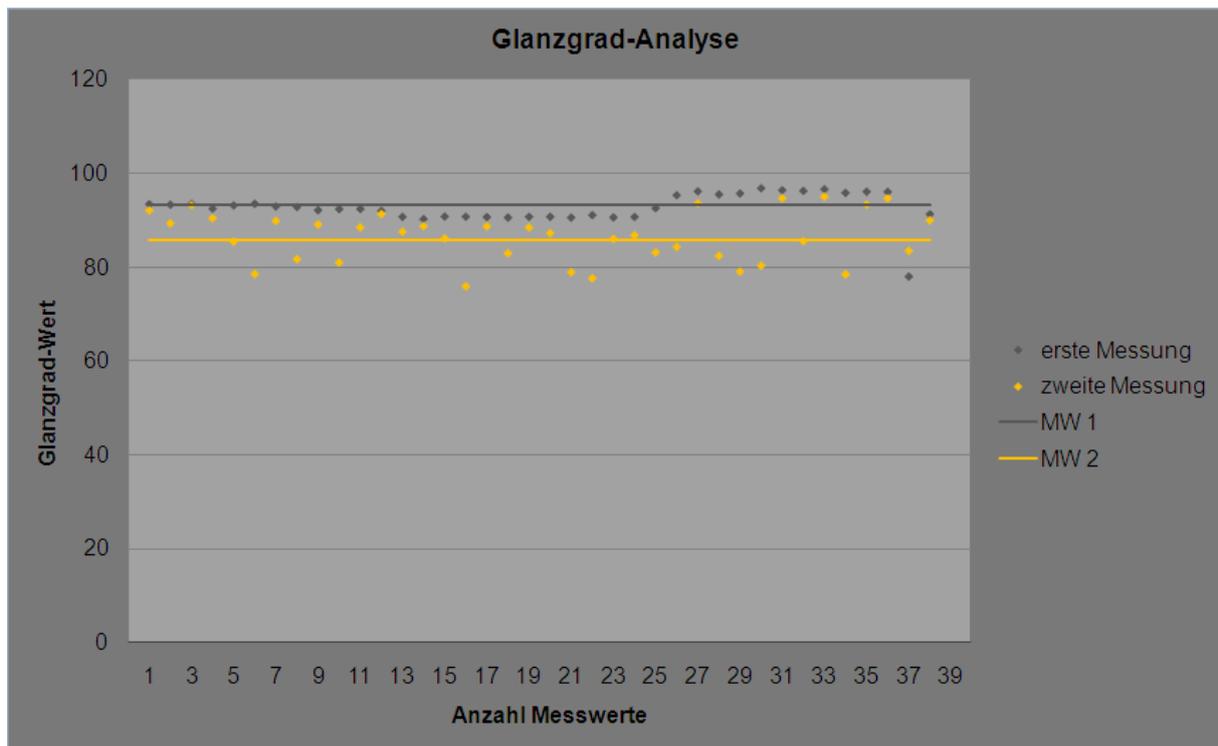


Abbildung 11 Glanzgrad sonstige Lackserien

Bei erster Betrachtung fällt auf, dass die Glanzgradwerte unabhängig von der Lackserie bei der zweiten Messung gesunken sind. Wie bereits erwähnt, besteht die Vermutung, dass entweder die Lackalterung oder eine eventuelle Verschmutzung der Oberfläche die Ursachen dafür sind. Die errechneten Mittelwerte sind hier immer um etwa vier bis sechs Zähler gesunken. Auch beim Vergleich der Messwerte unter Berücksichtigung der Lackserien lassen sich Unterschiede erkennen. Wurde über die Messwerte der ersten Messung bei der Serie Glasurit Wasserbasislack ein Mittelwert von 91,31 ermittelt, so ergab sich bei Serie 670+9700 nur ein Mittelwert von 83,39. Die Lackserie mit den besten Glanzgradwerten ist hier Serie 295+293 mit einem Mittelwert von 93,36.

Die Ursache für die starke Abweichung unter den verschiedenen Lackserien ist die Lackiertechnologie. Bei den Serien Glasurit sowie 295+293 handelt es sich um eine Zweischicht- Technologie. Hier wird zunächst der Basislack aufgetragen, welcher die Farbe des Busses bestimmt. Nach der Trocknung des Basislackes wird noch eine Schicht Klarlack appliziert, welcher den Glanzgrad signifikant erhöht.

Bei Serie 670+9700 handelt es sich um eine Unilack-Technologie, das heißt, Farbgebung und Klarlack sind in einer Lackschicht kombiniert. Daher weist dieser Lack herkömmlich geringere Glanzgradwerte auf.

3 Toleranzfestlegung

Ein wichtiger Aspekt bei Qualitätssicherungsmaßnahmen ist die Beurteilung, ob ein Produkt in Ordnung ist oder nicht. Für diese Kontrolle sind Toleranzgrenzen festzulegen. Die Toleranzfestlegung ist notwendig, da die Kundenanforderungen im Bezug auf die Lackwelligkeit und den Glanzgrad bisher nur subjektiv definiert sind. Zudem ist die Qualitätsfähigkeit des Serienlackierprozesses nicht quantifiziert.

3.1 Prüfung auf Normalverteilung der Messwerte

3.1.1 Visueller Abgleich

Für die Berechnung der Toleranzgrenzen gibt es in Abhängigkeit von der Verteilung der Messwerte verschiedene Berechnungsgrundlagen. Daher ist es zunächst erforderlich, die Datenmenge auf Normalverteilung zu untersuchen.

Die Prüfung auf Normalverteilung kann entweder optisch oder rechnerisch realisiert werden. Zunächst wird in einer Voruntersuchung ein visueller Test durchgeführt. Hierzu werden die Messwerte in einem Histogramm dargestellt und mit den Erwartungswerten des Prozesses verglichen (Anlage 23 bis 27). Dabei wird jede einzelne Lackserie separat betrachtet.

Die Untersuchung ergab, dass die meisten Werte nicht normalverteilt sind. Lediglich bei Betrachtung der Wd-Werte der Lackserie 670+9700 (Abbildung 12) und der Wd-Werte in der Lackserie Glasurit Wasserbasislack Reihe 90 (Abbildung 13) ist eine signifikante Ähnlichkeit mit der Gauß'schen Normalverteilung zu erkennen.

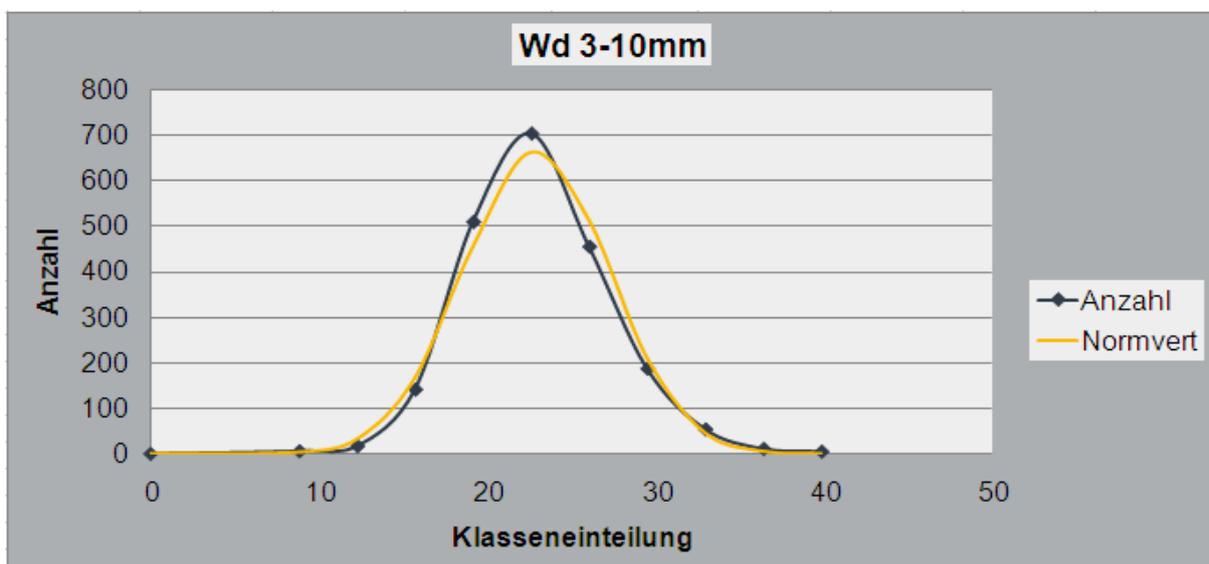


Abbildung 12 Histogramm Serie 670+9700

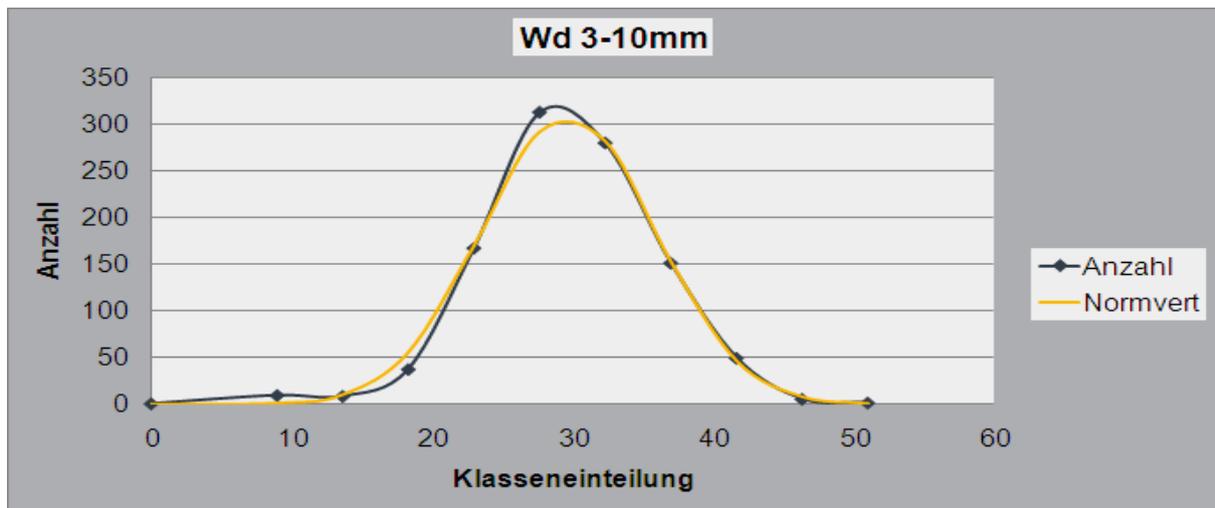


Abbildung 13 Histogramm Serie Glasurit Wasserbasislack Reihe 90

3.1.2 Chi-Quadrat-Test

Um eine endgültige Aussage treffen zu können, ob die Werte in den oben gezeigten Diagrammen (Abbildung 12, 13) normalverteilt sind, wird eine rechnerische Analyse, der Chi-Quadrat-Test, durchgeführt. Für die Berechnung von χ^2 müssen folgende Werte ermittelt werden:

- die Klassenbreite d
- für die Klassenanzahl k wird $k=10$ festgelegt
- die tatsächliche Verteilung der Werte in den einzelnen Klassen h_m
- die Erwartungswerte np_m

Die Berechnung der standardisierten Normalverteilung wird über die Excel- Funktion NORMVERT berechnet.

Zur Berechnung des χ^2 -Wertes ist nun folgende Formel zu verwenden:

$$\chi^2 = \sum_{m=1}^k \frac{(h_m - np_m)^2}{np_m}$$

Formel 1 χ^2

Legende

χ^2 = Chi-Quadrat

k = Klassenanzahl

h_m = tatsächliche Verteilung

np_m = Erwartungswert

Die Testentscheidung kann schließlich mit Hilfe des tabellarischen Wertes

$\chi^2_{\alpha; k-1}$ herbei geführt werden. (Anlage 28)¹¹.

¹¹<http://de.wikipedia.org/wiki/Chi-Quadrat-Test>

Die Anzahl der Freiheitsgrade f ergibt sich aus folgender Formel:

$$f = k - 1 - r$$

Formel 2 Freiheitsgrad

Legende

f = Anzahl der Freiheitsgrade
 r = Anzahl der angenommenen Variablen
 k = Klassenanzahl

Das r ist hier die Anzahl der angenommenen Variablen (Mittelwert und Standardabweichung $\Rightarrow r=2$). Das Signifikanz-Niveau α wird auf 0,05 definiert. Die Normalverteilung einer Messreihe ist bestätigt, wenn folgende Ungleichung gilt:

$$\chi^2 < \chi^2_{\alpha; k-1}$$

Formel 3 χ^2 kritisch

Legende

χ^2 = Chi-Quadrat
 $\chi^2_{\alpha; k-1}$ = Chi-Quadrat kritisch

Um die Berechnung besser zu verstehen, wird der Chi²-Test an einem Beispiel durchgeführt. Das Beispiel bezieht sich auf die Untersuchung der in Abbildung 12 und 13 dargestellten Graphen. Anhand der folgenden Tabelle (Tabelle 2) wird der Rechenweg zur Ermittlung von Chi-Quadrat für die Wd-Werte der Lackserie 670+9700 erklärt.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Chi-Quadrat-Test für Wd-Werte Serie 670 + 9700								
2									
3	Bereich	Anzahl h_m	Klassenanfang	F(x)	P(x)	Erwartungswert np_m	Abweichung $h_m - np_m$	quadriert $(h_m - np_m)^2$	relativiert $\frac{(h_m - np_m)^2}{np_m}$
4	0	0							
5	8,85	6	5,40	0,0001	0,0016	3,2889	2,7111	7,3503	2,23489371
6	12,3	17	8,85	0,0017	0,0153	32,1861	-15,1861	230,6175	7,165126989
7	15,75	142	12,30	0,0170	0,0793	166,4195	-24,4195	596,3128	3,583190348
8	19,2	512	15,75	0,0963	0,2173	456,0704	55,9296	3128,1176	6,858847865
9	22,65	707	19,20	0,3136	0,3163	663,9234	43,0766	1855,5970	2,794896327
10	26,1	457	22,65	0,6299	0,2448	513,8655	-56,8655	3233,6842	6,292861168
11	29,55	188	26,10	0,8747	0,1007	211,3298	-23,3298	544,2778	2,575490463
12	33	54	29,55	0,9754	0,0220	46,0875	7,9125	62,6069	1,358434653
13	36,45	11	33,00	0,9973	0,0025	5,3138	5,6862	32,3333	6,084811722
14	39,9	5	36,45	0,9998	0,0002	0,3227	4,6773	21,8767	67,78399875
15	Σ	2099	39,90	1,0000	0,9999	2098,8076			106,732552
16									
17	Mittelwert	21,250738							
18	Stabw	4,221317							

Tabelle 2 Chi-Quadrat-Test Serie 670+9700

Zunächst wurde aus den gesammelten Messwerten der Mittelwert sowie die Standardabweichung mit den Excel-Funktionen MITTELWERT und STABW berechnet (Zellen B17 und B18). In Spalte A sind die Klassengrenzen eingetragen. In Spalte B ist angegeben, wie viele Werte der betrachteten Stichprobe in den zugeordneten Bereich fallen.

So kann man zum Beispiel aus Zelle B5 herauslesen, dass die Stichprobe sechs Werte beinhaltet, die kleiner 8,85 sind. Zelle B15 zeigt die Summe der aufgetretenen Anzahlen der Werte und ist somit gleichzeitig die Stichprobengröße. Ebenfalls wird hierzu der Klassenanfang berechnet.

$F(x)$ berechnet sich durch die Excel-Funktion NORMVERT. Hierzu wird in diesem Beispiel in der Zelle D5 die Formel „=NORMVERT(C5;\$B\$17;\$B\$18;1)“ eingegeben. Das erste Rechenergebnis wird nun bis zu Zelle D15 heruntergezogen. In Zelle E5 ergibt sich nun $P(x)$ aus „=D6-D5“. Hier wird ebenfalls das erste Ergebnis bis zu Zelle D14 heruntergezogen. Zelle D15 ist die Summe aller Werte im Bereich von D5 bis D14.

Nun lässt sich der Erwartungswert für die einzelnen Klassen berechnen. Dieser sagt aus, wie viele Werte sich in der konkreten Klasse befinden müssten, wenn die Funktion genau normalverteilt wäre. Der Erwartungswert berechnet sich in diesem Beispiel für Zelle F5 aus der Formel „=E5*\$B\$15“.

Die Abweichung zeigt, wie weit die tatsächliche Anzahl der Werte in einer Klasse vom Erwartungswert entfernt ist. Die Berechnungsformel für Zelle F5 lautet hierzu „=B5-F5“. Je größer der Betrag des Abweichungswertes, desto weiter ist die Entfernung zur Normalverteilungsfunktion.

Für die Ermittlung der relativierten Werte ist es nötig, die Abweichung zu quadrieren, also für Zelle H5 „=G5^2“, da sich Zelle I5 aus „=H5/F5“ ergibt. Das Ergebnis in Spalte I5 wird wiederum bis zu Zelle I14 heruntergezogen und darüber in Zelle I15 die Summe gebildet.

Laut den Berechnungsvorschriften bei einem Chi-Quadrat-Test werden Erwartungswerte <5 nicht berücksichtigt. Das heißt, es müssen diejenigen Klassen, in denen ein Erwartungswert von <5 vorliegt, mit der nächsten Klasse bzw. der vorherigen Klasse zusammengefasst werden. Tabelle 3 zeigt Tabelle 2 in zusammengefasster Form.

	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1	Chi-Quadrat-Test für Wd-Werte Serie 670 + 9700								
2									
3	Bereich	Anzahl h_m	Klassenanfang	F(x)	P(x)	Erwartungswert np_m	Abweichung $h_m - np_m$	quadriert $(h_m - np_m)^2$	relativiert $\frac{(h_m - np_m)^2}{np_m}$
4	0	0							
5	8,85	23	5,40	0,0001	0,0169	35,4750	-12,4750	155,6246	4,386885214
6	15,75	142	12,30	0,0170	0,0793	166,4195	-24,4195	596,3128	3,583190348
7	19,2	512	15,75	0,0963	0,2173	456,0704	55,9296	3128,1176	6,858847865
8	22,65	707	19,20	0,3136	0,3163	663,9234	43,0766	1855,5970	2,794896327
9	26,1	457	22,65	0,6299	0,2448	513,8655	-56,8655	3233,6842	6,292861168
10	29,55	188	26,10	0,8747	0,1007	211,3298	-23,3298	544,2778	2,575490463
11	33	54	29,55	0,9754	0,0220	46,0875	7,9125	62,6069	1,358434653
12	36,45	16	33,00	0,9973	0,0027	5,6365	10,3635	107,4020	19,05470309
13	Σ	2099	39,90	1,0000	0,9999	2098,8076			
14									
15								Chi ²	46,90530912
16								Überschreitungs- wahrscheinlichkeit	5,93968E-09

Tabelle 3 Chi-Quadrat-Test Serie 670+9700 (zusammengefasst)

Durch die Zusammenfassung einzelner Klassen verändert sich die Anzahl in den Klassen und somit auch der Chi²-Wert. Nun kann der Chi²-Wert mit dem tabellarischen Wert verglichen werden. Hierzu wurde ein Freiheitsgrad von 5 berechnet und $\alpha=0,05$ angenommen. Daher lässt sich der Tabellenwert von 11,07 ablesen (Anlage 28). Da der Chi²-Wert mit 46,9 größer als der Tabellenwert ist, liegt für dieses Beispiel keine Normalverteilung vor.

Es ist jedoch auch möglich, eine Entscheidung herbeizuführen, wenn keine Tabelle vorliegt. Hierzu kann über Excel die Überschreitungswahrscheinlichkeit für Chi² mit Hilfe der Formel „=CHIVERT(S13;5)“ ermittelt werden. Ist dieser Wert kleiner als das angenommene Signifikanz-Niveau $\alpha=0,05$, so liegt keine Normalverteilung vor.

Das Signifikanz-Niveau wird unter Einschätzung der Irrtumswahrscheinlichkeit definiert. In diesem Beispiel wird ein Signifikanz-Niveau von $\alpha=0,05$ angenommen, welches „die maximal zulässige Wahrscheinlichkeit für irrtümliches Ablehnen einer eigentlich richtigen Nullhypothese“¹² aussagt.

Der Chi-Quadrat-Test wurde auch für die aufgenommenen Wd-Werte der Lackserie Glasurit Wasserbasislack Reihe 90. Tabelle 4 zeigt die errechneten Werte.

¹² online: [http://de.wikipedia.org/wiki/ Statistische Signifikanz](http://de.wikipedia.org/wiki/Statistische_Signifikanz)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Chi-Quadrat-Test für Wd-Werte Serie Glasurit Wasserbasislack Reihe 90								
2									
3	Bereich	Anzahl h_m	Klassenanfang	F(x)	P(x)	Erwartungswert np_m	Abweichung $h_m - np_m$	quadriert $(h_m - np_m)^2$	relativiert $\frac{(h_m - np_m)^2}{np_m}$
4	0	0							
5	8,98	9	4,30	0,0001	0,0010	1,0321	7,9679	63,4874	61,5127058
6	13,66	8	8,98	0,0011	0,0099	10,1599	-2,1599	4,6652	0,459179315
7	18,34	37	13,66	0,0110	0,0544	55,7871	-18,7871	352,9551	6,326822298
8	23,02	167	18,34	0,0653	0,1669	171,2866	-4,2866	18,3753	0,107277929
9	27,7	313	23,02	0,2323	0,2872	294,6191	18,3809	337,8580	1,146762082
10	32,38	280	27,70	0,5194	0,2770	284,1616	-4,1616	17,3190	0,060947566
11	37,06	151	32,38	0,7964	0,1498	153,6768	-2,6768	7,1654	0,046626674
12	41,74	55	37,06	0,9462	0,0454	46,5498	8,4502	71,4060	1,533969303
13	46,42	5	41,74	0,9916	0,0077	7,8823	-2,8823	8,3075	1,053945938
14	51,1	1	46,42	0,9992	0,0007	0,7442	0,2558	0,0654	0,08788902
15	Σ	1026	51,10	1,0000	0,9999	1025,8996			72,33612592
16									
17	Mittelwert	27,407549							
18	Stabw	5,9993483							

Tabelle 4 Chi-Quadrat-Test Serie Glasurit

Die Berechnung der Werte erfolgte nach dem gleichen Schema wie im ersten Beispiel bereits erklärt (Tabelle 5).

	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1	Chi-Quadrat-Test für Wd-Werte Serie Glasurit Wasserbasislack Reihe 90								
2									
3	Bereich	Anzahl h_m	Klassenanfang	F(x)	P(x)	Erwartungswert np_m	Abweichung $h_m - np_m$	quadriert $(h_m - np_m)^2$	relativiert $\frac{(h_m - np_m)^2}{np_m}$
4	0	0							
5	8,98	17	4,30	0,0001	0,0109	11,1920	5,8080	33,7327	3,013996689
6	18,34	37	13,66	0,0110	0,0544	55,7871	-18,7871	352,9551	6,326822298
7	23,02	167	18,34	0,0653	0,1669	171,2866	-4,2866	18,3753	0,107277929
8	27,7	313	23,02	0,2323	0,2872	294,6191	18,3809	337,8580	1,146762082
9	32,38	280	27,70	0,5194	0,2770	284,1616	-4,1616	17,3190	0,060947566
10	37,06	151	32,38	0,7964	0,1498	153,6768	-2,6768	7,1654	0,046626674
11	41,74	55	37,06	0,9462	0,0454	46,5498	8,4502	71,4060	1,533969303
12	46,42	6	41,74	0,9916	0,0084	8,6265	-2,6265	6,8986	0,799695388
13	Σ	1026	51,10	1,0000	0,9999	1025,8996			
14									
15								Chi ²	13,03609793
16								Überschreitungs- wahrscheinlichkeit	0,02304

Tabelle 5 Chi-Quadrat-Test Serie Glasurit (zusammengefasst)

Ergebnis ist ein Chi²-Wert von 13,04. Bei der Annahme eines anderen Signifikanz-Niveaus, zum Beispiel $\alpha=0,01$, würde sich eine Normalverteilung ergeben. Da hier jedoch $\alpha=0,05$ angenommen wurde, liegt für diese Werte keine Normalverteilung vor.

3.2 Grundlagen für die Toleranzberechnung

Toleranzgrenzen lassen sich über Formeln zur Errechnung der Fähigkeitskennwerte eines Prozesses errechnen. Normalerweise wird anhand der festgelegten Grenzen der Fähigkeitskennwert ermittelt um nachzuweisen, dass eine Prozessfähigkeit gegeben ist. Charakteristische Größen sind hier das Prozesspotential c_p , welches

das Verhältnis zwischen der Toleranzbreite zur natürlichen Toleranz des Prozesses angibt, sowie die Prozessfähigkeit c_{pk} , bei der die Abweichung der Toleranzgrenzen zum Erwartungswert und damit die Lage des Prozessmittelwerts im Toleranzfeld untersucht wird.

$$c_p = \frac{\text{Toleranzbreite}}{\text{Prozessstreuung}}$$

Formel 4 Prozesspotential

Legende

c_p = Prozesspotential

$$c_{po} = \frac{\text{Abstand der oberen Toleranzgrenze zum Prozessmittelwert}}{\text{Halbe Toleranzbreite}}$$

Formel 5 Prozesspotential für den oberen Prozesspunkt

Legende

c_{po} = Prozesspotential für den oberen Prozesspunkt

$$c_{pu} = \frac{\text{Abstand der unteren Toleranzgrenze zum Prozessmittelwert}}{\text{Halbe Toleranzbreite}}$$

Formel 6 Prozesspotential für den unteren Prozesspunkt

Legende

c_{pu} = Prozesspotential für den unteren Prozesspunkt

$$c_{pk} \{ c_{po}; c_{pu} \}$$

Formel 7 Prozessfähigkeit

Legende

c_{po} = Prozesspotential für den oberen Prozesspunkt

c_{pu} = Prozesspotential für den unteren Prozesspunkt

c_{pk} = Prozessfähigkeit

Wie bereits erwähnt, ist ein Nachweis über die Normalverteilung der Prozessdaten erforderlich. Da nachgewiesen wurde, dass der Prozess nicht normalverteilt ist, muss untersucht werden, welches Prozessmodell vorliegt. Um hier eine Entscheidung treffen zu können, werden die Prozessdaten unter Berücksichtigung der verschiedenen Lackserien graphisch dargestellt.

Die Vorgehensweise für die Toleranzberechnung wird hier am Beispiel der Wa-Werte aller gesammelten Daten (unabhängig von der Lackserie) erklärt. Die Stichprobe umfasst 3812 Messwerte.

Die DIN ISO 21747 (2007-03) definiert verschiedene Prozessmodelle. Bei Betrachtung des Diagramms (Anlage 29) ist erkennbar, dass Lage, Streubreite, Schiefe und Wölbung der Messwerte einer zufälligen Änderung unterliegen. Aufgrund dessen wird für diesen Prozess das Verteilungszeitmodell D (Abbildung 14) angenommen.

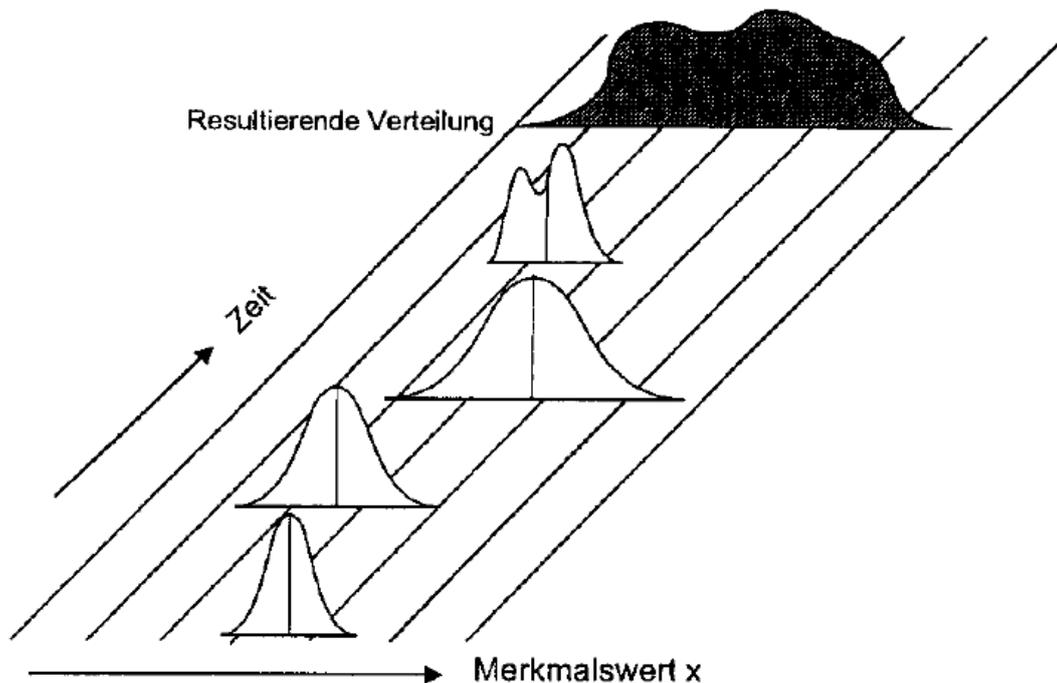


Abbildung 14 Verteilungszeitmodell D

Quelle: DIN ISO 21747 (2007-03)

Das Modell weist folgende Merkmale auf:

Lage	:	Systematische und zufällige Änderung
Streuung	:	Systematische und zufällige Änderung
Schiefe	:	Systematische und zufällige Änderung
Wölbung	:	Systematische und zufällige Änderung
Momentanverteilung	:	beliebig verteilt, gegebenenfalls mehrgipflig
Resultierende Verteilung	:	beliebig verteilt, gegebenenfalls mehrgipflig

Zur Ermittlung der Prozessfähigkeitskennzahlen c_p , c_{po} und c_{pu} für dieses Modell ist laut DIN ISO 21747 (2007-03) Methode M4 (Berechnung mit Schätzwerten für Quantile) geeignet. Ausgangspunkt für die Berechnung ist die Definition des Bereiches, innerhalb dessen 99,73% aller Merkmalswerte liegen. Dieser Bereich wird als Prozessstreuung definiert, dessen Grenzen am 0,135%- Punkt (unterer Prozesspunkt u_p) und 99,865%- Punkt (oberer Prozesspunkt o_p) liegen.

Hierzu sind folgende Formeln zu verwenden:

$$c_p = \frac{OTG - UTG}{o_p - u_p}$$

Formel 8 Prozesspotential

Legende

- c_p = Prozesspotential
- OTG = obere Toleranzgrenze
- UTG = untere Toleranzgrenze
- o_p = oberer Prozesspunkt
- u_p = unterer Prozesspunkt

$$c_{po} = \frac{OTG - \bar{x}}{o_p - \bar{x}}$$

Formel 9 Prozesspotential für den oberen Prozesspunkt

Legende

- c_{po} = Prozesspotential für den oberen Prozesspunkt
- OTG = obere Toleranzgrenze
- \bar{x} = Mittelwert der Stichprobe
- o_p = oberer Prozesspunkt

$$c_{pu} = \frac{\bar{x} - \text{UTG}}{\bar{x} - u_p}$$

Formel 10 Prozesspotential für den unteren ProzesspunktLegende

c_{pu} = Prozesspotential für den unteren Prozesspunkt

UTG = untere Toleranzgrenze

\bar{x} = Mittelwert der Stichprobe

u_p = unterer Prozesspunkt

Ziel ist in diesem Beispiel jedoch nicht die Berechnung der Prozessfähigkeitskennzahlen, sondern die Ermittlung der oberen und unteren Toleranzgrenzen. Daher werden die Formeln zur Berechnung von c_{po} bzw. c_{pu} jeweils nach OTG und UTG umgestellt. Die Grenzen sollen so definiert sein, dass eine Prozessfähigkeit vorliegt. Daher wird für c_{po} und c_{pu} der Wert 1,33 gewählt. Nun können die Toleranzgrenzen folgendermaßen berechnet werden:

$$\text{OTG} = c_{po} * (o_p - \bar{x}) + \bar{x}$$

Formel 11 obere ToleranzgrenzeLegende

c_{po} = Prozesspotential für den oberen Prozesspunkt

OTG = obere Toleranzgrenze

\bar{x} = Mittelwert der Stichprobe

o_p = oberer Prozesspunkt

$$\text{UTG} = -1 * (c_{pu} * (\bar{x} - u_p) - \bar{x})$$

Formel 12 untere ToleranzgrenzeLegende

c_{pu} = Prozesspotential für den unteren Prozesspunkt

UTG = untere Toleranzgrenze

\bar{x} = Mittelwert der Stichprobe

u_p = unterer Prozesspunkt

3.2.1 Toleranzberechnung der Wave-Scan-Werte

Unter Anwendung der im Punkt 3.2 aufgezeigten Formeln (Formel 11, 12) werden hierzu nun die obere und untere Toleranzgrenze für die Wave-Scan-Werte ermittelt. Tabelle 6 zeigt die errechneten Prozesspunkte (o_p und u_p) und Toleranzgrenzen aller Lackserien. Die Prozesspunkte können im Excel-Programm über die Funktion Quantil mit Angabe der entsprechenden Matrix und des definierten Prozessgrenzwertes (hier 0,99865 und 0,00135) kalkuliert werden. Anlage 29 zeigt ein Diagramm aller aufgenommenen Prozessdaten sowie die dazu kalkulierten Toleranzgrenzen.

Alle Lackserien	Longwave	Shortwave	Wa 0,1-0,3mm	Wb 0,3-1,0mm	Wc 1-3mm	Wd 3-10mm	We 10-30mm
op (99,865%)	46,23927	62,285515	42,927575	65,085515	58,04206	43,785515	30,58412
up (0,135%)	1,92897	5,5	2,172425	6,55794	4,7	6,02897	7,214485
OTG	56,886678	73,252759	51,98530591	75,96365363	69,669126	50,411631	35,6790763
UTG	-2,0460208	-2,2719761	-2,21904359	-1,87802112	-1,2758135	0,1954265	4,5974618

Tabelle 6 Toleranzgrenzen über alle Lackserien

Eine pauschale Festlegung der Toleranzen ohne Berücksichtigung der Lackserie ist jedoch aufgrund der starken Schwankung der Welligkeitswerte ungeeignet. Daher müssen die Toleranzgrenzen für jede Lackserie einzeln definiert werden. Tabelle 7 zeigt die Toleranzen der verschiedenen Wellenlängen unter Berücksichtigung der Lackserien.

Alle Lackserien	Longwave	Shortwave	Wa 0,1-0,3mm	Wb 0,3-1,0mm	Wc 1-3mm	Wd 3-10mm	We 10-30mm
OTG	56,8866782	73,2527588	51,98530591	75,96365363	69,6691263	50,4116313	35,67907635
UTG	-2,04602079	-2,27197613	-2,219043585	-1,878021122	-1,27581348	0,19542648	4,597461797
Glaserit Wasser							
Glaserit Wasser	Longwave	Shortwave	Wa 0,1-0,3mm	Wb 0,3-1,0mm	Wc 1-3mm	Wd 3-10mm	We 10-30mm
OTG	55,5060918	71,0344513	52,4402771	74,14917973	66,8061839	50,5725859	38,65429999
UTG	-4,72602384	-2,87978004	-2,4218771	-1,677013024	-5,22916302	-3,19249118	4,941912188
Serie 295+293							
Serie 295+293	Longwave	Shortwave	Wa 0,1-0,3mm	Wb 0,3-1,0mm	Wc 1-3mm	Wd 3-10mm	We 10-30mm
OTG	50,0516993	67,5727508	51,17716334	67,2896357	64,0600145	47,7717484	32,27887573
UTG	-2,12824385	-5,48191485	-2,73635506	-5,547548297	-1,93937346	3,35746245	4,450487735
Serie 670+9700							
Serie 670+9700	Longwave	Shortwave	Wa 0,1-0,3mm	Wb 0,3-1,0mm	Wc 1-3mm	Wd 3-10mm	We 10-30mm
OTG	31,9271097	63,5453654	35,94313656	65,18930962	46,6877923	42,1534727	27,75749206
UTG	0,11533177	1,54176293	-0,126290536	3,340186621	1,24392667	4,15843171	5,522538761
Sonstige							
Sonstige	Longwave	Shortwave	Wa 0,1-0,3mm	Wb 0,3-1,0mm	Wc 1-3mm	Wd 3-10mm	We 10-30mm
OTG	51,1618188	61,9235043	32,4172711	60,4929032	63,4338015	45,221865	26,2682477
UTG	-0,2848821	-2,46417643	-1,47003165	-0,55749495	1,31051897	6,93327968	6,1630367

Tabelle 7 Übersicht Toleranzberechnungen

Durch die MAN Truck & Bus AG wurden bereits Toleranzgrenzen im LKW-Bereich für Longwave und Shortwave festgelegt. In der Diplomarbeit werden diese zur Orientierung mit herangezogen. Die Grenzwerte der MAN sind mit 0-30 im Longwave-Bereich und mit 20-40 im Shortwave-Bereich definiert. Beim Vergleich der

berechneten Werte mit den MAN- Vorgaben kann festgestellt werden, dass der Prozess bei Neoplan außerhalb dieser Grenzen streut. Die Toleranzgrenzen wurden unter der Annahme errechnet, dass bei der Lackierung eine gute Prozessfähigkeit (d.h. $c_{pk}=1,33$ und Ausschussanteil=0,27%) aufweist, was die weite Entfernung der Grenzwerte vom Mittelwert erklärt. Realistisch betrachtet liegt jedoch keine Prozesssicherheit vor.

Für das Erreichen engerer Toleranzgrenzen gibt es zwei Möglichkeiten. Die wünschenswerteste Möglichkeit ist eine Prozessverbesserung, wodurch eine verbesserte Lackqualität im Beschichtungsprozess selbst erreicht wird. Hierzu ist eine Prozess- und Fehleranalyse erforderlich sowie daraus resultierend die Umsetzung wirksamer Verbesserungsmaßnahmen.

Eine andere Alternative zum Erreichen engerer Toleranzgrenzen ist das Akzeptieren eines erhöhten Ausschussanteils, was jedoch wiederum einen erhöhten Anteil an Nacharbeit in Form von Polierarbeiten zur Folge hat und somit wiederum mit Mehrkosten verbunden ist.

3.2.2 Toleranzberechnung der Glanzgradwerte

Bei der Toleranzberechnung der Glanzgrad-Werte findet die selbe Berechnungsmethode, die bereits bei der Toleranzberechnung der Wave-Scan-Werte ausführlich beschrieben wurde, Anwendung. Auch hierzu wird die angewandte Lackserie bei der Berechnung berücksichtigt. Tabelle 8 beinhaltet die errechneten Toleranzwerte.

Alle Lackserien	20°
OTG	100,266397
UTG	43,6148558
Glasurit Wasser Reihe 90	20°
OTG	97,2955166
UTG	46,4654211
Serie 295+293	20°
OTG	97,4445615
UTG	62,3781777
Serie 670+9700	20°
OTG	96,8468284
UTG	45,4325957
Sonstige	20°
OTG	98,214918
UTG	73,0291538

Tabelle 8 Toleranzen Glanzgrad

Ähnlich wie bei den Welligkeitswerten lässt sich auch hier der Prozess mit den eingetragenen Toleranzgrenzen graphisch darstellen. In Anlage 30 ist der Prozess der Glanzgradwerte über alle Lackserien graphisch dargestellt.

Auch für den Glanzgrad ist seitens der MAN bereits eine Grenze definiert worden. Hierzu ist ein unterer Toleranzwert von 80 festgelegt. Bei Betrachtung der Berechnungsergebnisse ist jedoch eine deutlich niedrigere Grenze errechnet worden.

Da der Glanzgrad, wie auch die Welligkeit, über das Streulichtverfahren ermittelt wird, kann jedoch auch die bereits nachgewiesene, sehr hohe Lackwelligkeit als Grund für die niedrigen Glanzgradwerte in Frage kommen.

4 Fehlervermeidung und Prozessverbesserung

Bei der Überlegung zur Fehlervermeidung stellt sich die Frage, ob der Lackierprozess an sich so beeinflusst werden kann, dass im Ergebnis bessere Messwerte erzielt werden. Hierzu müssen die Einflussfaktoren beim Lackierprozess untersucht werden. Dies ist im folgenden Diagramm (Abbildung 15) dargestellt.

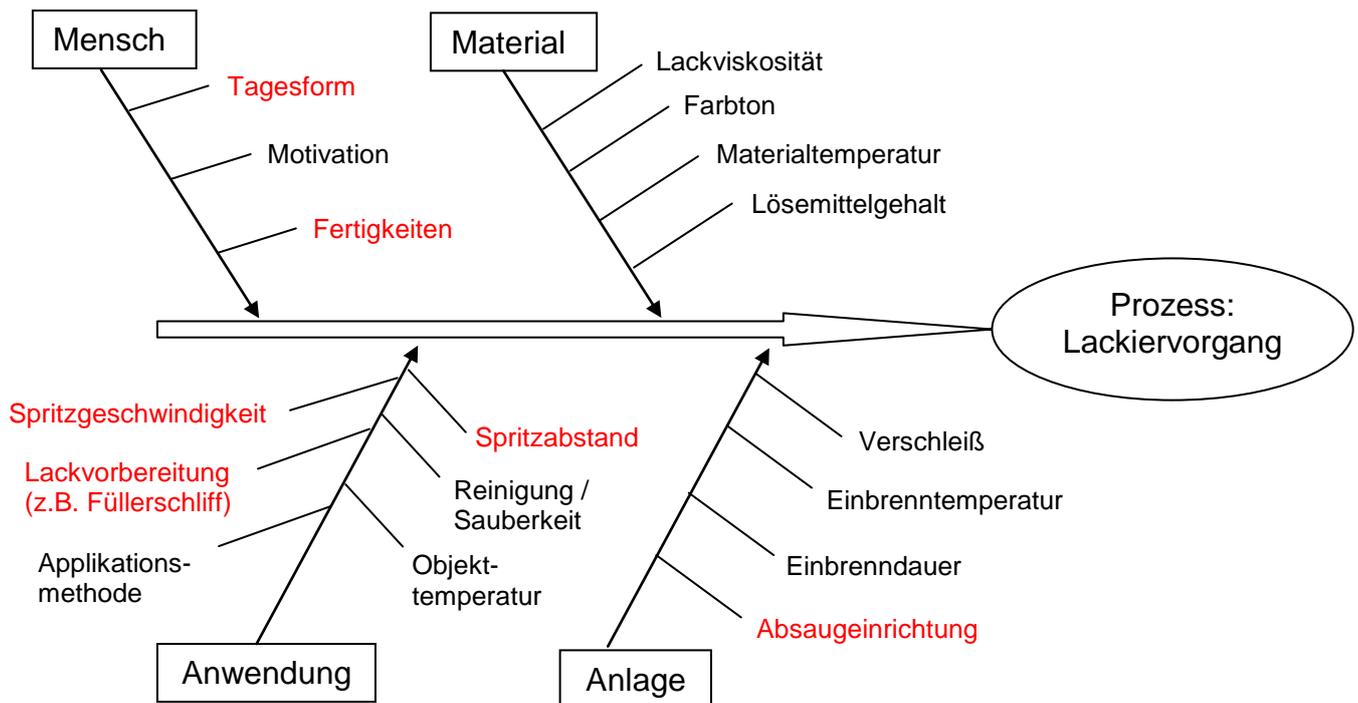


Abbildung 15 Einflussfaktoren beim Lackierprozess

Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an Handbuch Produktion; Mario Steven; Seite 176

Die im Diagramm rot dargestellten Begriffe sind Faktoren, die nicht beeinflusst werden können. Für die Ausprägung der Welligkeit sind jedoch Faktoren wie eine gleichmäßige Lackvorbereitung sowie ein genormter Spritzabstand und eine konstante Spritzgeschwindigkeit ausschlaggebend.

Um einen genormten Abstand sowie eine gleichmäßige Vorlaufgeschwindigkeit gewährleisten zu können, wäre die Installation eines Lackierroboters denkbar, der jedoch aufgrund der geringen Stückzahl (12 Fahrzeuge pro Woche) nicht wirtschaftlich wäre.

Dennoch wurde dazu ein Fertigungsversuch durchgeführt, wobei Bleche, die von einem Roboter lackiert wurden, untersucht wurden. Die Messwerte wurden dabei mit Messwerten von händig lackierten Blechen verglichen (Abbildung 16).

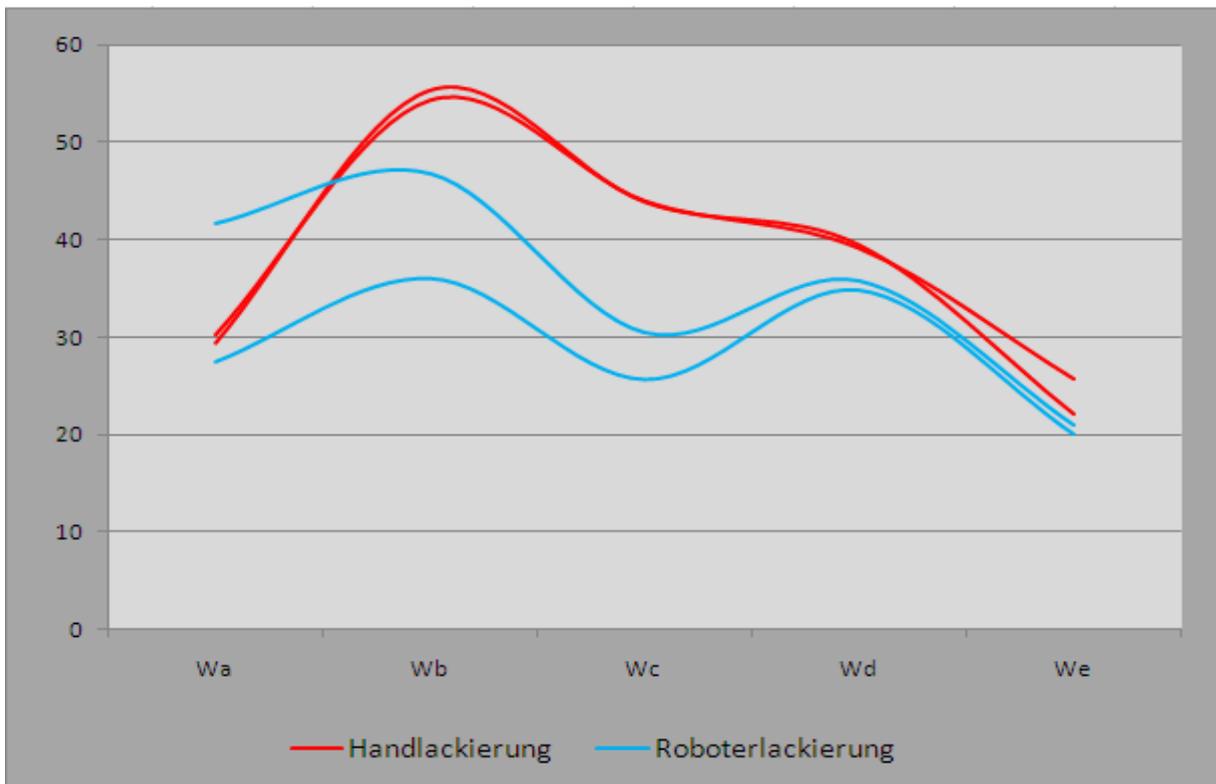


Abbildung 16 Vergleich Roboter- und Handlackierung

Deutlich ist hierbei abzulesen, dass die Welligkeitswerte einer Roboterlackierung von denen der Handlackierung abweichen. Die Qualitätsverbesserung des Lackes durch Einsatz eines Roboters ist somit möglich. Da jedoch entscheidende Faktoren, wie Spritzabstand und Spritzgeschwindigkeit, momentan nicht steuerbar sind, ist lediglich eine Fehlerbehebung nach dem Lackierprozess möglich.

4.1 Fehlerbehebung

Es stellt sich nun die Frage, wie eine unzulässige Welligkeit im Nachhinein verbessert werden kann. Um dies herauszufinden, wurde ein Fertigungsversuch durchgeführt, bei dem der Einfluss verschiedener Poliermittel auf die Welligkeit untersucht wurde. Dazu wurden Bleche (Größe: DIN A4) beschichtet und direkt nach der Lackierung auf ihre Welligkeit untersucht. Nach dem Polieren mit verschiedenen Poliermitteln wurden nun die Prüfkörper nochmals vermessen. Aus der Tabelle in Anlage 31 sind die aufgenommenen Messwerte abzulesen.

Bei jedem Prüfkörper sind vier Messreihen aufgenommen worden, woraus jeweils der Mittelwert gebildet wurde. Bei Betrachtung der Messwerte lässt sich hier schon erkennen, dass die Welligkeitswerte deutlich gesunken sind. Um die Daten besser auswerten zu können, werden die errechneten Mittelwerte der ersten und zweiten Messungen in einem Diagramm visualisiert (Abbildung 17).

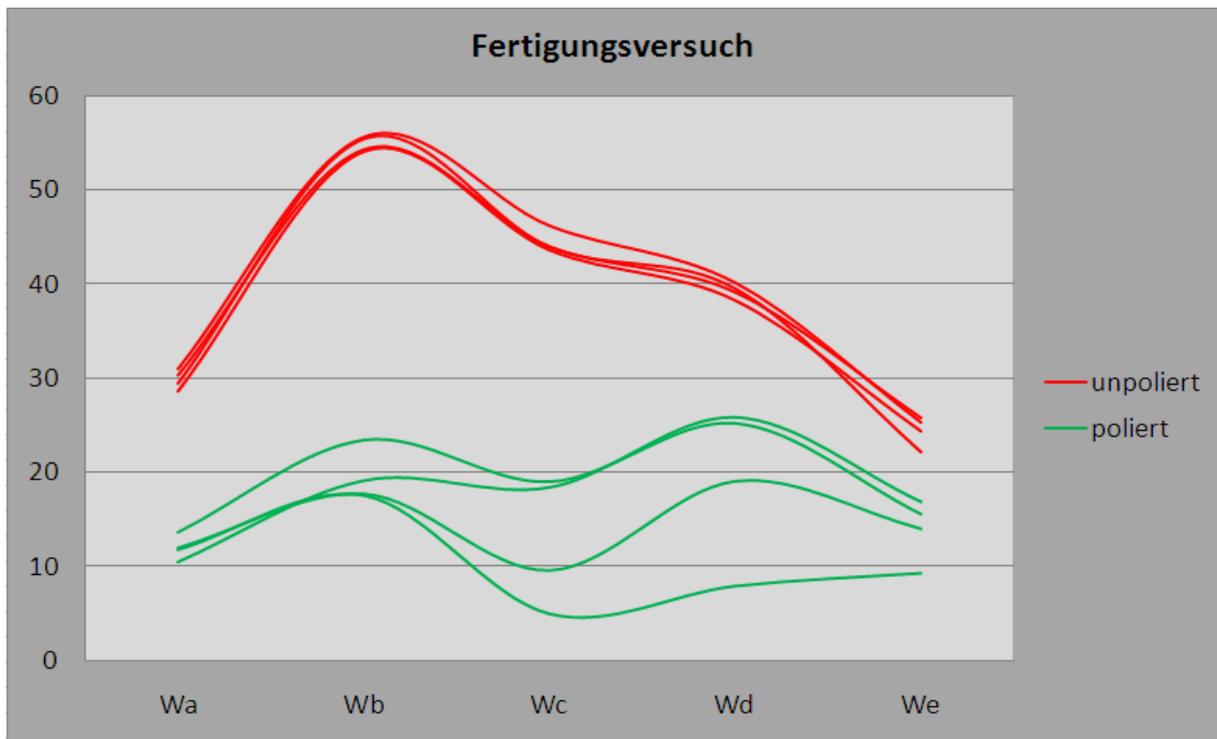


Abbildung 17 Fertigungsversuch

Bei den Polierversuchen wurden verschiedene Methoden angewandt. Zwei der vier Prüfkörper sind lediglich poliert worden. Bei Blech 3 und 4 wurde der Lack vorher zusätzlich mit Schleifpapier geschliffen. Bei Blech 3 kam dazu Schleifpapier mit einer 3000er Körnung zum Einsatz und bei Blech 4 wurde zuerst 1500er und danach 3000er Schleifpapier verwendet.

Die Auswertung der Daten bringt ein deutliches Ergebnis hervor. Die Senkung der Messwerte und somit die Qualitätsverbesserung des Lackes hinsichtlich der Welligkeit kann durch Schleifen und Polieren des Lackes erreicht werden.

Um zu zeigen, wie sich die unterschiedlichen Schleif- und Poliervorgänge auf die Welligkeit auswirken, sind die entsprechenden Messwerte noch einmal visualisiert worden (Abbildung 18).

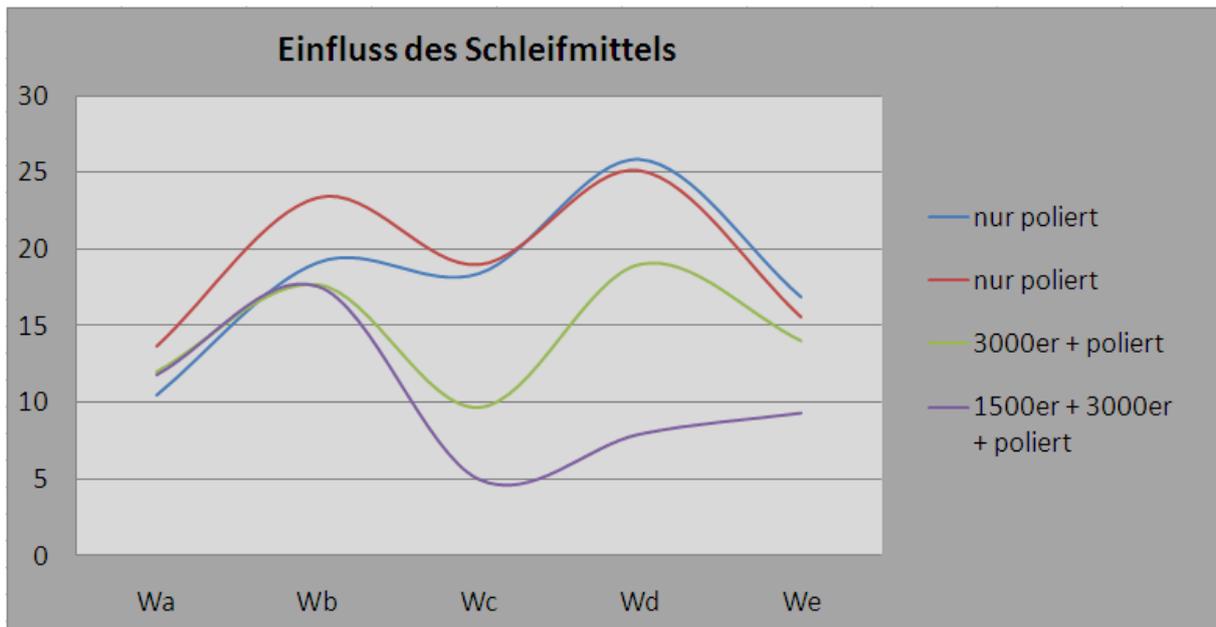


Abbildung 18 Einfluss des Schleifmittels

Durch das Polieren kann zwar die Welligkeit deutlich verbessert werden, die Glanzgrad-Werte sinken jedoch. Wie bereits erläutert, wird der Glanzgrad anhand des Anteils an reflektiertem Licht gemessen. Bei einer frisch lackierten Oberfläche ist der Lack im Mikrometerbereich trotz Welligkeit sehr glatt und reflektiert somit viel Licht. Wird die Oberfläche nun poliert, so ändern sich die Gegebenheiten des Lackes im Mikrometerbereich, was zu einer Beeinträchtigung der Reflexionseigenschaften und damit zu veränderten Glanzgrad-Werten führt.

Folglich kann der Glanzgrad im Nachhinein nicht mehr signifikant verbessert werden.

5 Einführung des Messablaufes in den Prozess

Anhand der bisher gewonnenen Erkenntnisse der ermittelten Toleranzgrenzen der verschiedenen Lackserien soll diese Qualitätskontrolle nun in die laufende Produktion eingeführt werden.

Vorab muss jedoch die Überlegung angestellt werden, an welchem Taktplatz die Lackanalyse durchgeführt wird. Hierzu kommen wiederum entweder der Bereich Q-Tor, wo eine Qualitätskontrolle direkt nach dem Lackieren stattfindet, oder der Bereich Finish, wo die Fahrzeugendabnahme vor der Kundenauslieferung durchgeführt wird, in Frage. An dem jeweils ausgewählten Prüfplatz ist eine Verbesserung der Lichtverhältnisse unbedingt erforderlich, da frühere Untersuchungen gezeigt haben, dass eine visuelle Beurteilung der Lackoberfläche durch die gegebenen Lichtverhältnisse im Werk stark beeinträchtigt wird.

Als Prüfplatz wird der Taktplatz Q-Tor definiert. Der Lack ist hier noch frei von Verschmutzung, was eine visuelle Beurteilung vereinfacht. Durch die Nähe zum Bereich Lack ist auch eine Kommunikation zwischen den Bereichen günstiger. Der Bereich Lack kann somit ein schnelleres Feedback von der Prüfperson erhalten, was das Einleiten eventueller Nacharbeit beschleunigt.

Für den Prüfablauf wird ein Prüfprotokoll (Anlage 32) in die Fahrzeugakte aufgenommen, in dem die Toleranzgrenzen aufgeführt sind. Die Grenzwerte sind dabei jeweils an die am Fahrzeug verwendete Lackserie sowie an den verwendeten Farbton angepasst. Der Prüfer kann nun direkt am Fahrzeug die Messwerte aufnehmen und im Protokoll vermerken, an welchen Stellen des Fahrzeuges die Messwerte nicht den Toleranzen entsprechen. Somit kann auf einen Blick entschieden werden, ob Nacharbeit angeordnet werden muss. Die aufgenommenen Messwerte werden außerdem in einer Datenbank archiviert.

Da die Beurteilung anhand der Messwerte sehr aufwändig ist, wird noch eine andere Variante der Lackprüfung in Betracht gezogen. Demnach werden lackierte Bleche angefertigt, die dem Prüfer als Vergleichsobjekt dienen sollen. Mit Hilfe der gewonnenen Erkenntnisse und der Toleranzwerte können die Bleche nach ihrer Lackqualität klassifiziert und mit Noten versehen werden. Die benoteten Bleche dienen nun direkt als Vergleichskörper für die Prüfperson. Die Lackprüfung erfolgt nun nicht über die Auswertung der Messwerte, sondern kann durch optisches Vergleichen mit den Prüfkörpern durchgeführt werden. Dadurch kann die Lackqualität schnell, einfach und ohne großen Aufwand erfasst werden.

Der Nachteil dieser Methode ist jedoch wiederum eine subjektive Einschätzung durch die Prüfperson. Daher sollen dennoch die Welligkeitswerte aufgenommen und archiviert werden, um im Zweifelsfall die Entscheidung der Prüfperson zu untermauern bzw. zu widerlegen.

Ein langfristiges Ziel sollte das Erreichen sowie die Beibehaltung einer besseren Lackqualität sein. Angesichts dessen könnte der Prüfprozess folgendermaßen aussehen:



Abbildung 19 Prüfprozess

Anhand der in der Projektarbeit unter Punkt 7 ermittelten Werte muss mit einem Kapazitätsaufwand zur Erfassung und Archivierung der Daten von ca. 40 bis 50 Minuten pro Fahrzeug gerechnet werden. Hinzu kommt noch ein Zusatzaufwand für Nacharbeiten, der jedoch fahrzeugabhängig schwankt. Erfahrungsgemäß sind hier etwa sechs bis sieben Stunden pro Fahrzeug anzunehmen.

6 Einführung weiterer Prüfmerkmale

6.1 Werksinterner Lackstandard

Bei der Qualitätskontrolle des Lackes gibt es noch weitere Faktoren, die berücksichtigt werden müssen. Die Anlagen 33 zeigt einen Teil der werksinternen Norm, in dem weitere Prüfkriterien aufgelistet sind. Hierzu wurde das Fahrzeug in verschiedene Bewertungszonen eingeteilt. So wurde Zone A für den Außenbereich im direkten Sichtfeld (z.B. Seitenwand), Zone B für das indirekte Sichtfeld im Außenbereich (Dachbereich) und Zone C für den Innenbereich (z.B. Kofferraum) definiert.

Um die in der Norm aufgeführten Kriterien in der Lackprüfung umsetzen zu können, sind optimale Prüfbedingungen vorausgesetzt. Hierzu gehört vor allem eine gute Beleuchtung des Prüfplatzes. Wie bereits erwähnt, wurden die Lichtverhältnisse im Werk untersucht, mit dem Ergebnis, dass diese an vielen Taktplätzen für eine Sichtprüfung nicht ausreichend sind.

Die Lösung dieses Problems ist die Installation eines Lichttunnels (Anlage 34). Im Zuge der Werksumstrukturierung und damit dem Neubau der Lackieranlagen im Laufe des Jahres 2012 ist daher der Bau eines Lichttunnels zu empfehlen.

Um die visuelle Prüfung, gerade in Bezug auf die Welligkeit, noch weiter vereinfachen zu können, ist die Anfertigung einer Grenzmustertafel sinnvoll. Die Prüfperson hätte somit Vergleichskörper, was die Entscheidung über die Güte der Lackoberfläche vereinfacht.

6.2 Lackprüfung im Aufbau

Wie in Punkt 2.1.2 (das Wave Scan II) beschrieben und in Anlehnung an die These der Herstellerfirma BYK Gardner, ist die Qualität des Decklackes nicht nur von der Decklackschicht abhängig. Dabei spielen noch mehrere Faktoren, wie der Füllerschleif sowie die Deck- und Klarlackapplikation (Anlage 12 bis 14), eine Rolle.

Aufgrund dessen ist eine direkte Prüfung der einzelnen Schichten sinnvoll. Folglich werden zusätzlich Schichtdicken- und Welligkeitsmessungen bei der Grundierungsschicht sowie bei der Füllerschicht durchgeführt. Somit können eventuell entstehende Fehler schon bei der Vorbereitung der Decklackierung

vermieden werden. Die Einführung dieses Prüfprozesses ist ebenfalls bei der Neustrukturierung des Werkes zu berücksichtigen.

6.3 Überprüfung weiterer Faktoren

Für die Prozesssicherung des Lackierprozesses ist nicht nur die Überwachung des fertigen Lackes zu berücksichtigen. Zur Optimierung des Fertigungsprozesses müssen alle denkbaren Einflussfaktoren berücksichtigt werden. Um die Prozesssicherheit zu erhöhen, wird im Werk Plauen ein Acryl-Füller eingeführt. Der neue Füller liefert eine andere Oberflächenstruktur und macht somit den bisher sehr aufwändigen Füllerschleif überflüssig. Dadurch werden enorme Personal- sowie Materialkosten gespart. Außerdem ist eine Fehlerquelle, die durch das Schleifen des Füllers entstanden ist, neutralisiert, was wiederum geringeren Nacharbeitsaufwand zur Folge hat.

Ebenso wichtig wie die Überwachung des Lackes selbst ist die Untersuchung der Umweltfaktoren in der Kabine, wie zum Beispiel Luftfeuchtigkeit, Einbrenntemperatur und –dauer sowie Luftsinkgeschwindigkeit in den Lackierkabinen. Im Hinblick auf die Neustrukturierung des Lackierbereiches sollen diese Faktoren aufgezeichnet, analysiert und mit den Qualitätsmerkmalen des Lackes in Verbindung gebracht werden.

7 Zusammenfassung und Ausblick

7.1 Kostenrechnung

Unabhängig von der Fehlerrückführung bzw. der Fehlervermeidung beim Lackierprozess ist aus aktueller Sicht noch eine andere Lösung denkbar, wonach der Kunde beim Verkaufsgespräch zwischen dem Standard-Lack und einer Premium-Lackierung, bei der das komplette Fahrzeug aufpoliert wird, wählen kann. Um die Kosten für diesen Zusatzaufwand zu ermitteln, wird hierzu eine Überschlagsrechnung aufgestellt. Dabei wird ein Stundenlohn von 40 €/h angenommen. Aus Erfahrungswerten geht hervor, dass zwei Mitarbeiter etwa drei Tage beschäftigt sind, woraus sich ein Stundenaufwand von 48 Stunden/Fahrzeug ergibt.

Materialkosten

	Einzelpreis in €/Stk.	Stückzahl in Stk./Fahrzeug	Gesamt in €/Fahrzeug
Schleifpapier 1500er Körnung	0,7491	750	561,825
Schleifpapier 3000er Körnung	3,78	255	963,9
3M Politur (grob)	25,21	3	75,63
3M Politur (fein)	31,98	2	63,96
Summe der Materialkosten			<u>1665,315</u>

Personalkosten

	Stundenlohn in €/Stunde	Stundenzahl in Stunden/Fahrzeug	
	40	48	<u>1920,00</u>
Gesamtkosten			<u>3585,32</u>

7.3 8D-Bericht

Die Bearbeitungsweise der Diplomarbeit baut auf den Grundlagen des 8D-Berichtes auf. Folgende Übersicht soll dies verdeutlichen.



Abbildung 20 8D-Bericht

7.4 Schlusswort

Die Diplomarbeit beschäftigt sich mit der messmittelunterstützten Qualitätsprüfung hochglänzender Lackoberflächen im Außenbereich von Premium-Reisebussen. Mit Hilfe des in der Projektarbeit aufgenommenen Datenpools sowie statistischer Berechnungsmethoden wurden Toleranzgrenzen für den Lackierprozess ermittelt.

Darauf aufbauend wurde ein Prüfablauf definiert, der mit der anstehenden Werksumstrukturierung eingeführt werden kann. Ebenso wurden weitere Prüfmerkmale beleuchtet, die in den Prüfablauf aufgenommen werden. Außerdem wurde das angesetzte Ziel, die subjektive Beurteilung der Prüfperson mit konkreten Messwerten zu festigen, erreicht. Die gewonnenen Erkenntnisse sowie die definierten Toleranzen sind dabei hilfreiche Werkzeuge zur richtigen Einordnung der Messwerte und somit zur konkreten Qualitätsanalyse und -verbesserung des Lackes.

Wie bereits erwähnt, soll die Neoplan Bus GmbH Plauen zum neuen Lack-Kompetenzzentrum für Premium-Reisebusse umstrukturiert werden. Die Ergebnisse dieser Diplomarbeit sind ein erster Schritt für ein professionelleres und geregelteres Arbeiten im Lackbereich. Die gewonnenen Erfahrungen sollen dabei innovative Denkanstöße und konstruktive Ideen fördern, die als Basiskonzept bei der Planung der neuen Anlagen und Prozessabläufe einfließen sollen.

Anlagenverzeichnis

Anlage 1	VOMAG-Bus	46
Anlage 2	Gottlob Auwärter	46
Anlage 3	Moderner Omnibus	46
Anlage 4	Skyliner	47
Anlage 5	Starliner	47
Anlage 6	Citiliner	47
Anlage 7	Einteilung der Prüfzonen	48
Anlage 8	Das byko-test 1500	48
Anlage 9	Das Wave-Scan II	48
Anlage 10	Messprinzip Wave-Scan	49
Anlage 11	Einteilung der Wellenlängen	49
Anlage 12	Optimieren des Klarlackes	50
Anlage 13	Schleifen des Füllers	50
Anlage 14	Optimierte Füller / Decklack-Applikation	51
Anlage 15	Erscheinungsbild bei unterschiedlicher Kurvencharakteristik	52
Anlage 16	Das micro-TRI-gloss	52
Anlage 17	Erscheinungsbild polierter Oberflächen	53
Anlage 18	Erscheinungsbild matter Oberflächen	53
Anlage 19	Beleuchtungswinkel	54
Anlage 20	Werkslayout	55
Anlage 21	Korrelationsdiagramme	56
Anlage 22	Glanzgraddatenbank umprogrammiert	57
Anlage 23	Histogramme für alle Lackserien	58
Anlage 24	Histogramme für die Lackserie Glasurit Wasserbasis	59
Anlage 25	Histogramme für Lackserie 295 + 293	60
Anlage 26	Histogramme für die Serie 670 + 9700	61
Anlage 27	Histogramme für sonstige Lackserien	62
Anlage 28	Tabelle Chi ²	63
Anlage 29	Prozessdaten aller Wa-Werte mit Toleranzgrenzen	64
Anlage 30	Prozessdaten Glanzgrad	65
Anlage 31	Messwerte Fertigungsversuch	66
Anlage 32	Prüfprotokoll	67
Anlage 33	Lackstandard Intern	72
Anlage 34	Lichttunnel	73



Anlage 1 VOMAG-Bus



Anlage 2 Gottlob Auwärter



Anlage 3 Moderner Omnibus



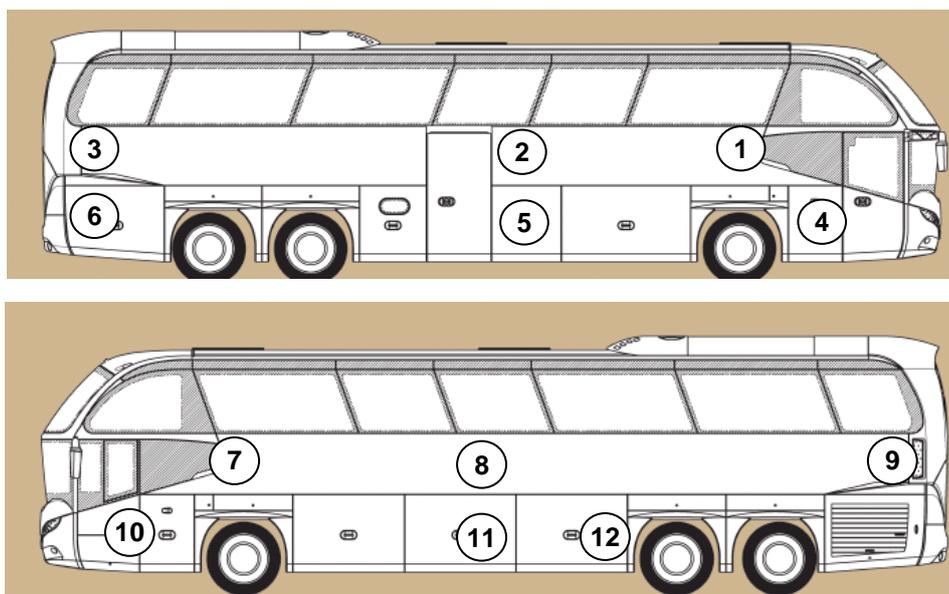
Anlage 4 Skyliner



Anlage 5 Starliner



Anlage 6 Citiliner



Anlage 7 Einteilung der Prüfzonen

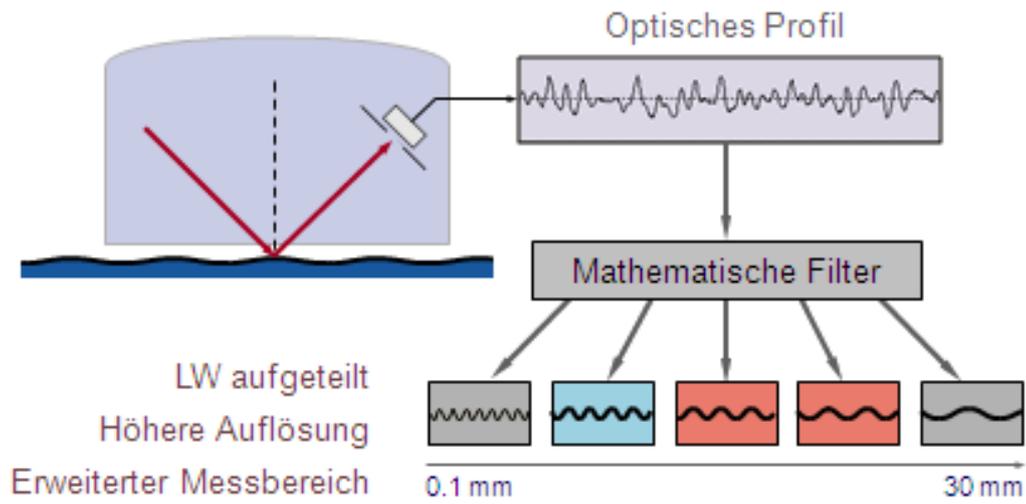


Anlage 8 Das byko-test 1500



Anlage 9 Das Wave-Scan II

Messprinzip: wave-scan DOI

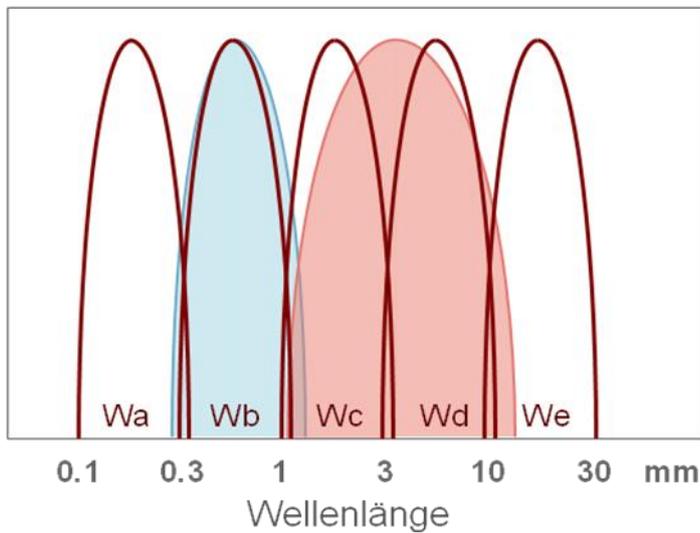


Page 16, BYK-Gardner, Appearance von Autmobillackien



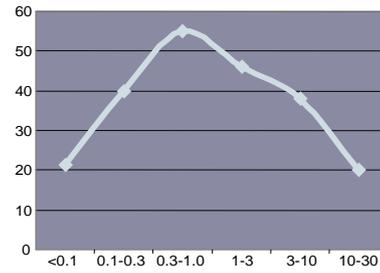
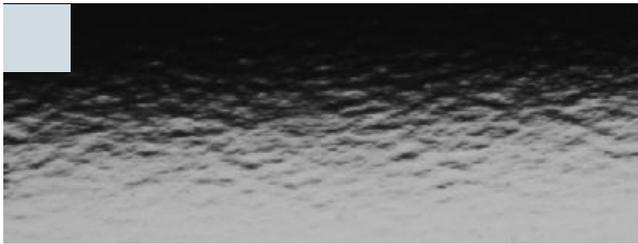
Anlage 10 Messprinzip Wave-Scan

Klassische Skalen: SW LW

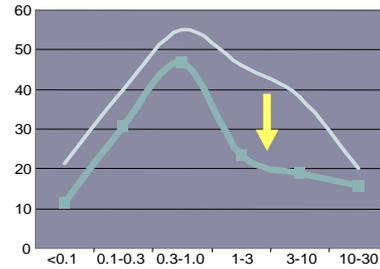
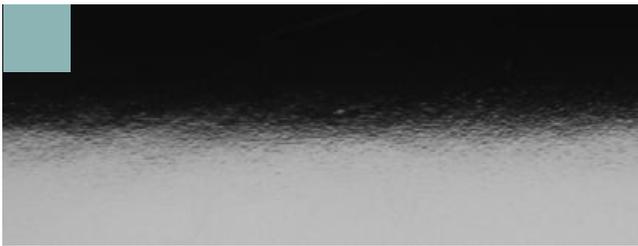


Anlage 11 Einteilung der Wellenlängen

Istzustand: Sehr hohe Welligkeit



1. Schritt: Optimieren des Klarlackes

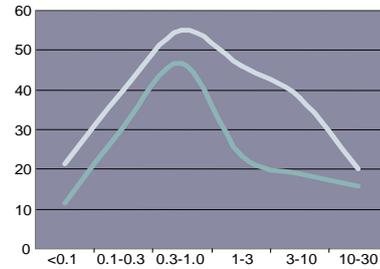
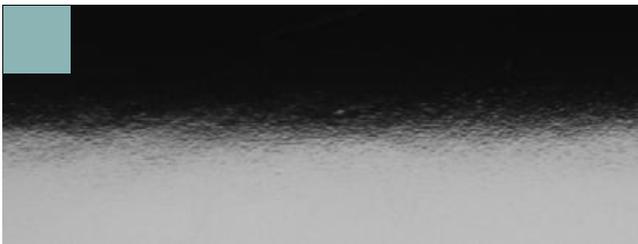


Page 1, BYK-Gardner, Appearance von Automobillacken

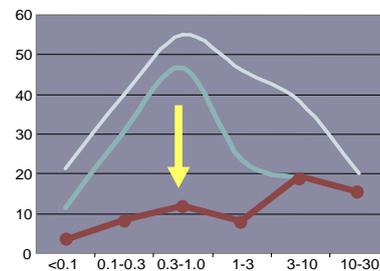
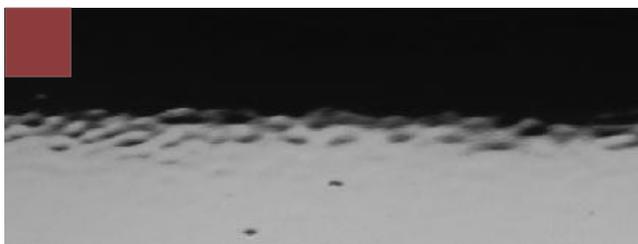


Anlage 12 Optimieren des Klarlackes

1. Schritt: Optimierter Klarlack



2. Schritt: Schleifen des Füllers

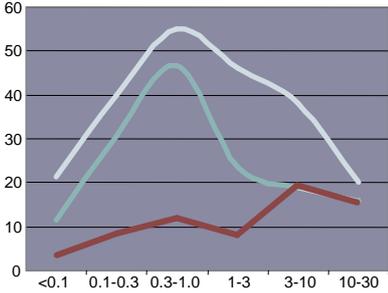
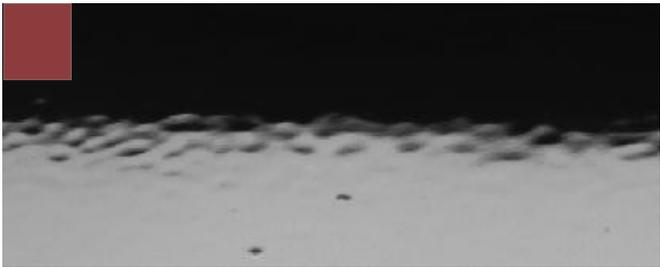


Page 37, BYK-Gardner, Appearance von Automobillacken

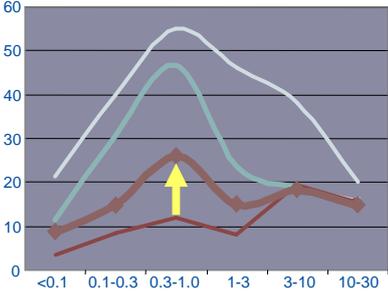
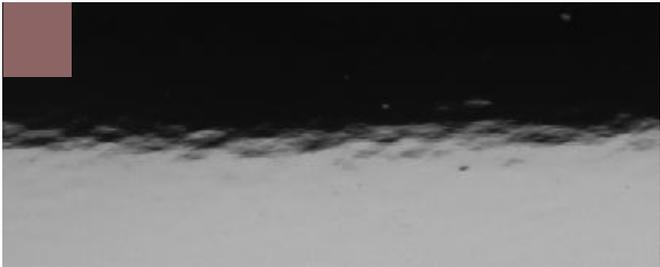


Anlage 13 Schleifen des Füllers

2. Schritt: Schleifen des Füllers

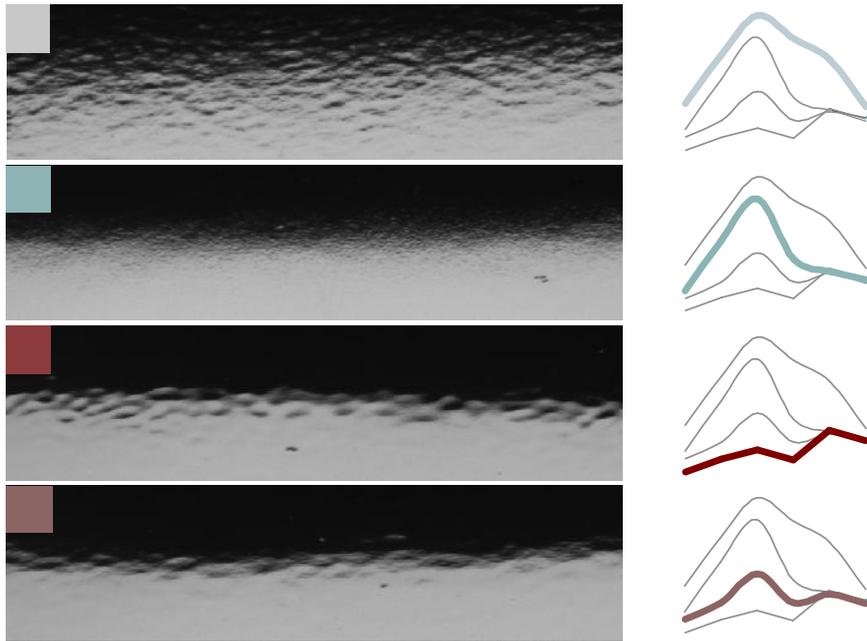


3. Schritt: Optimierte Füller / Decklack-Applikation



Anlage 14 Optimierte Füller / Decklack-Applikation

Verhältnis der verschiedenen Strukturbereiche



Page 39, BYK-Gardner, Appearance von Automobillacken

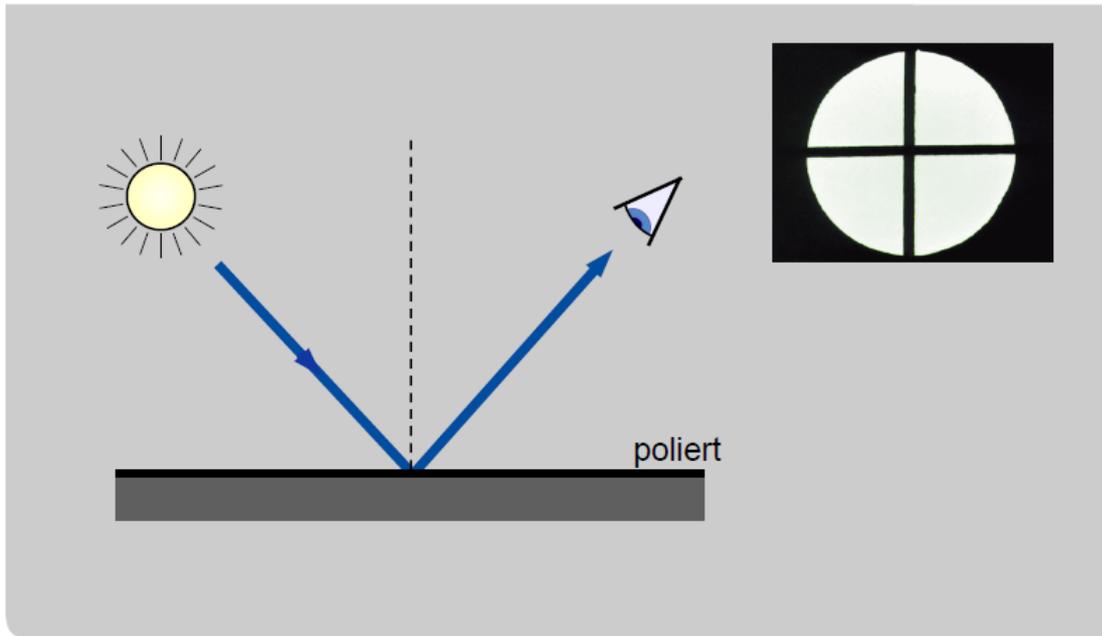
BYK
Additives & Instruments

Anlage 15 Erscheinungsbild bei unterschiedlicher Kurvencharakteristik

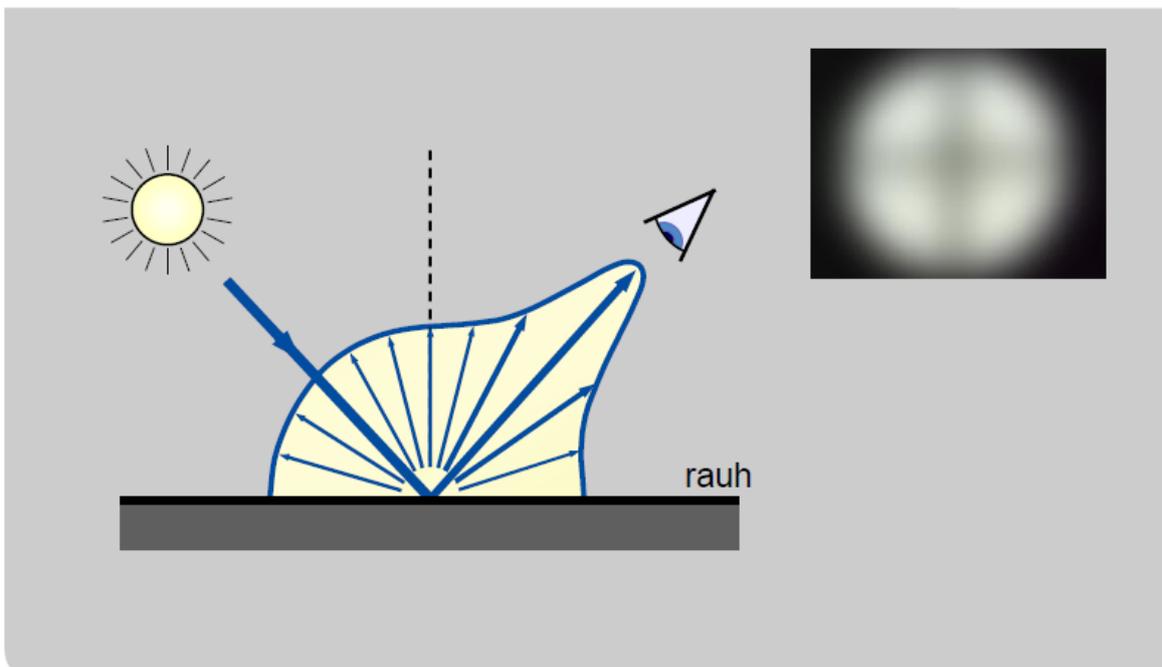


Anlage 16 Das micro-TRI-gloss

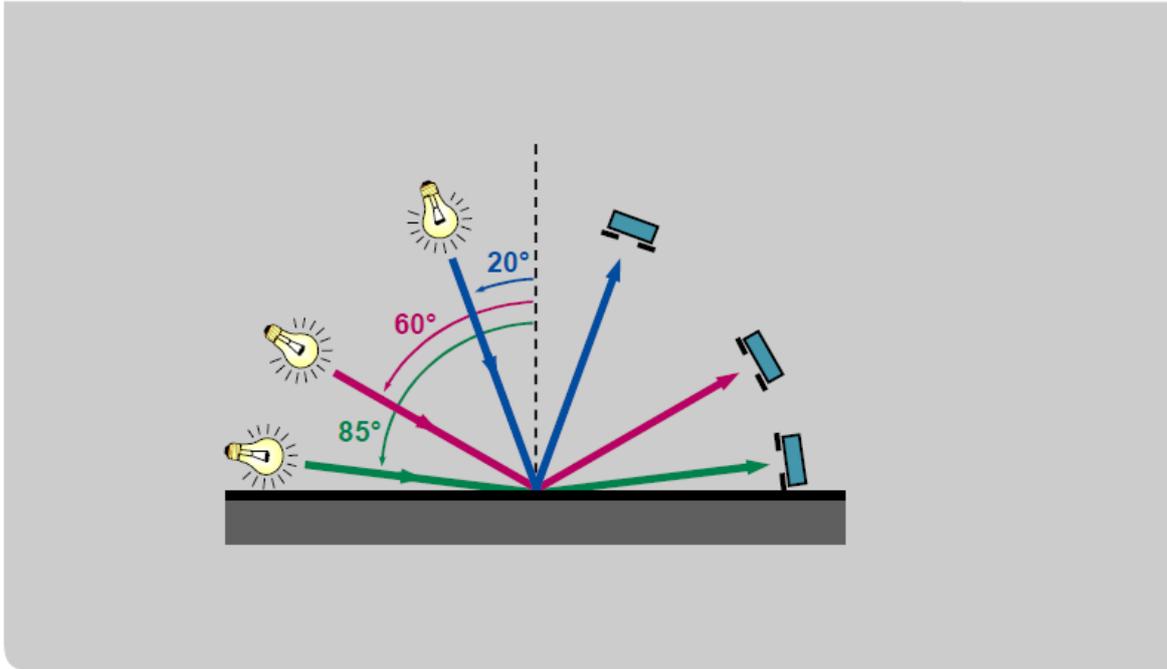
Glänzende Oberfläche

**Anlage 17** Erscheinungsbild polierter Oberflächen

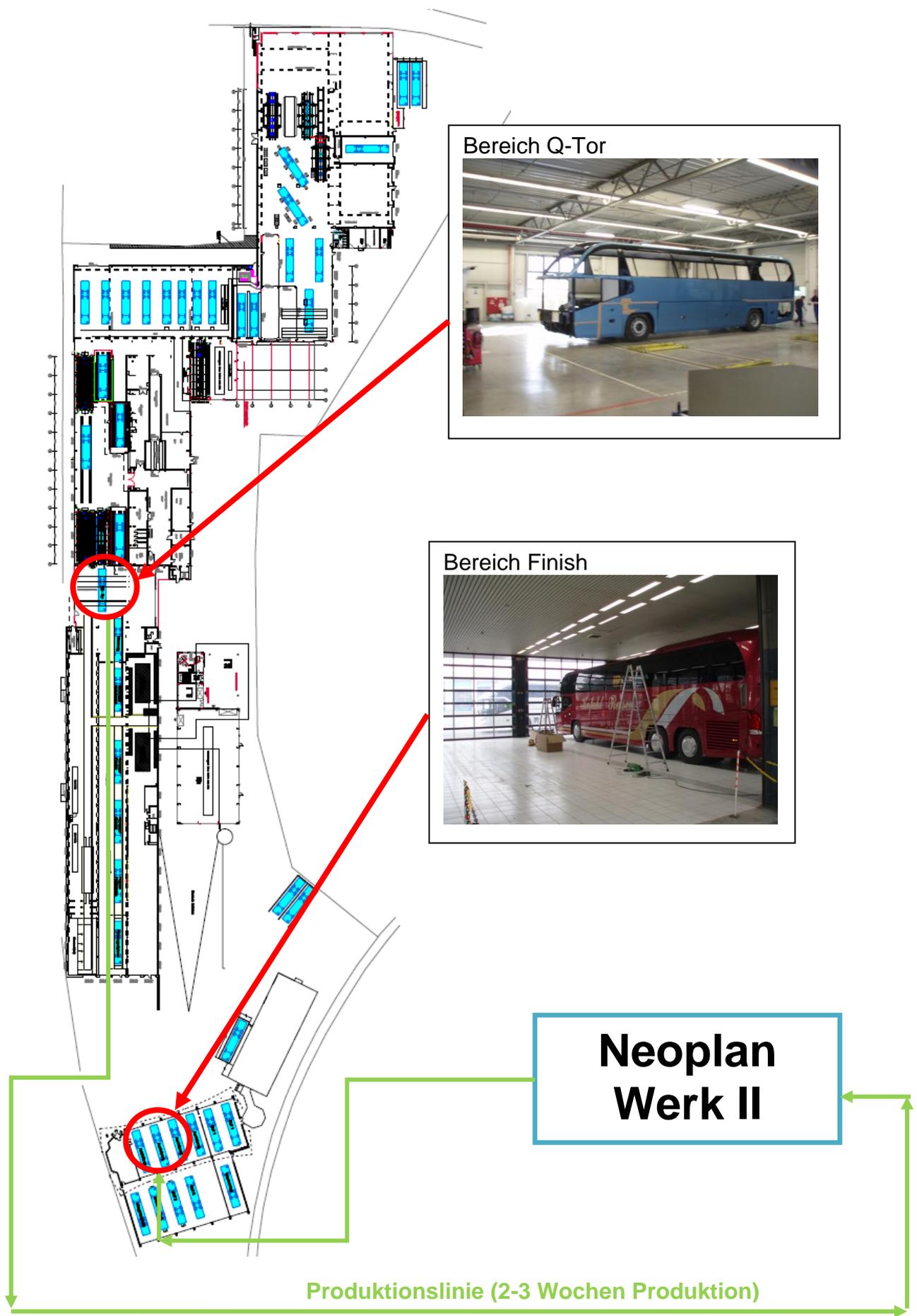
Matt- und mittelglänzende Oberflächen

**Anlage 18** Erscheinungsbild matter Oberflächen

Definierte Beleuchtungswinkel



Anlage 19 Beleuchtungswinkel



Bereich Q-Tor



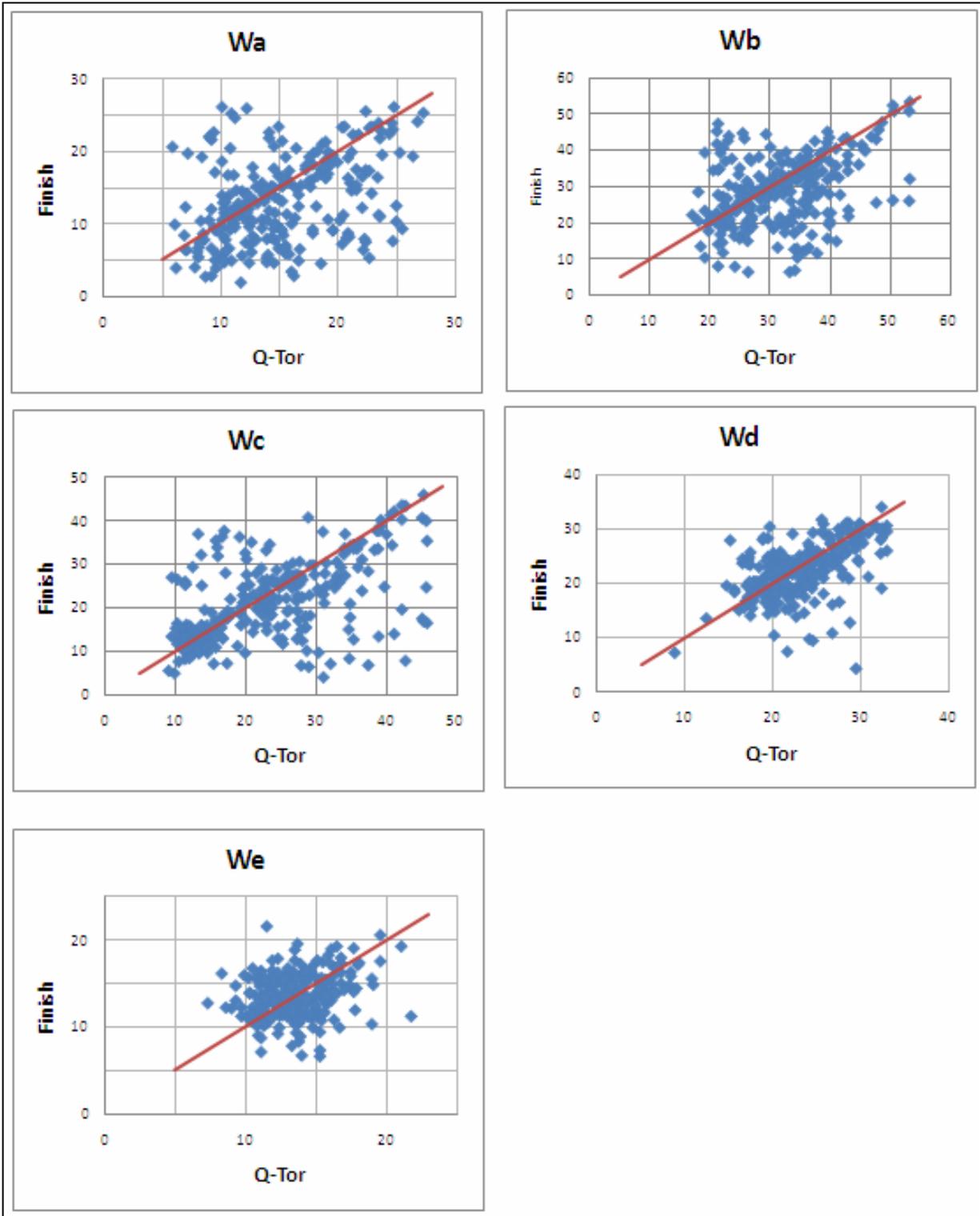
Bereich Finish



**Neoplan
Werk II**

Produktionslinie (2-3 Wochen Produktion)

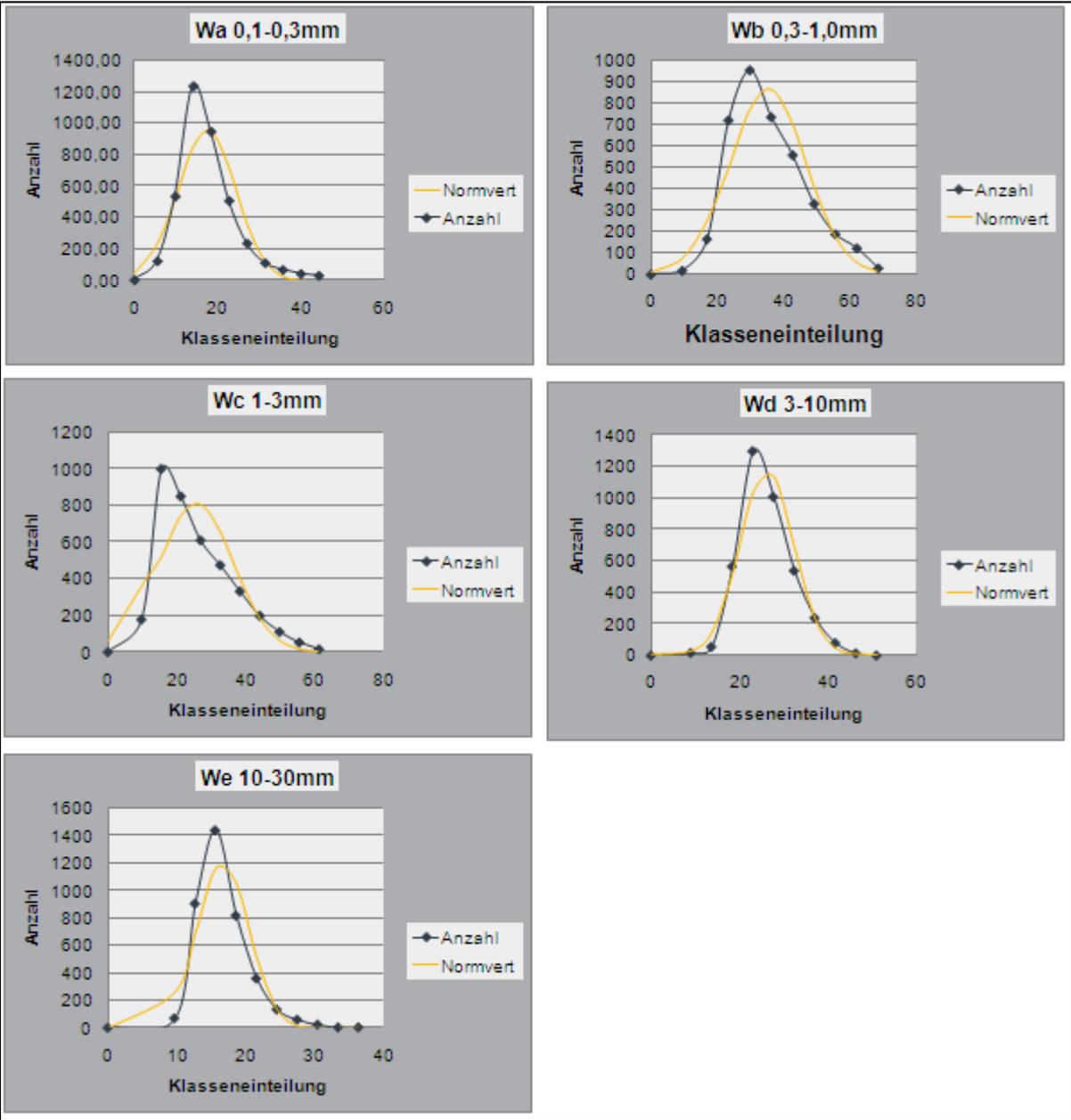
Anlage 20 Werklayout



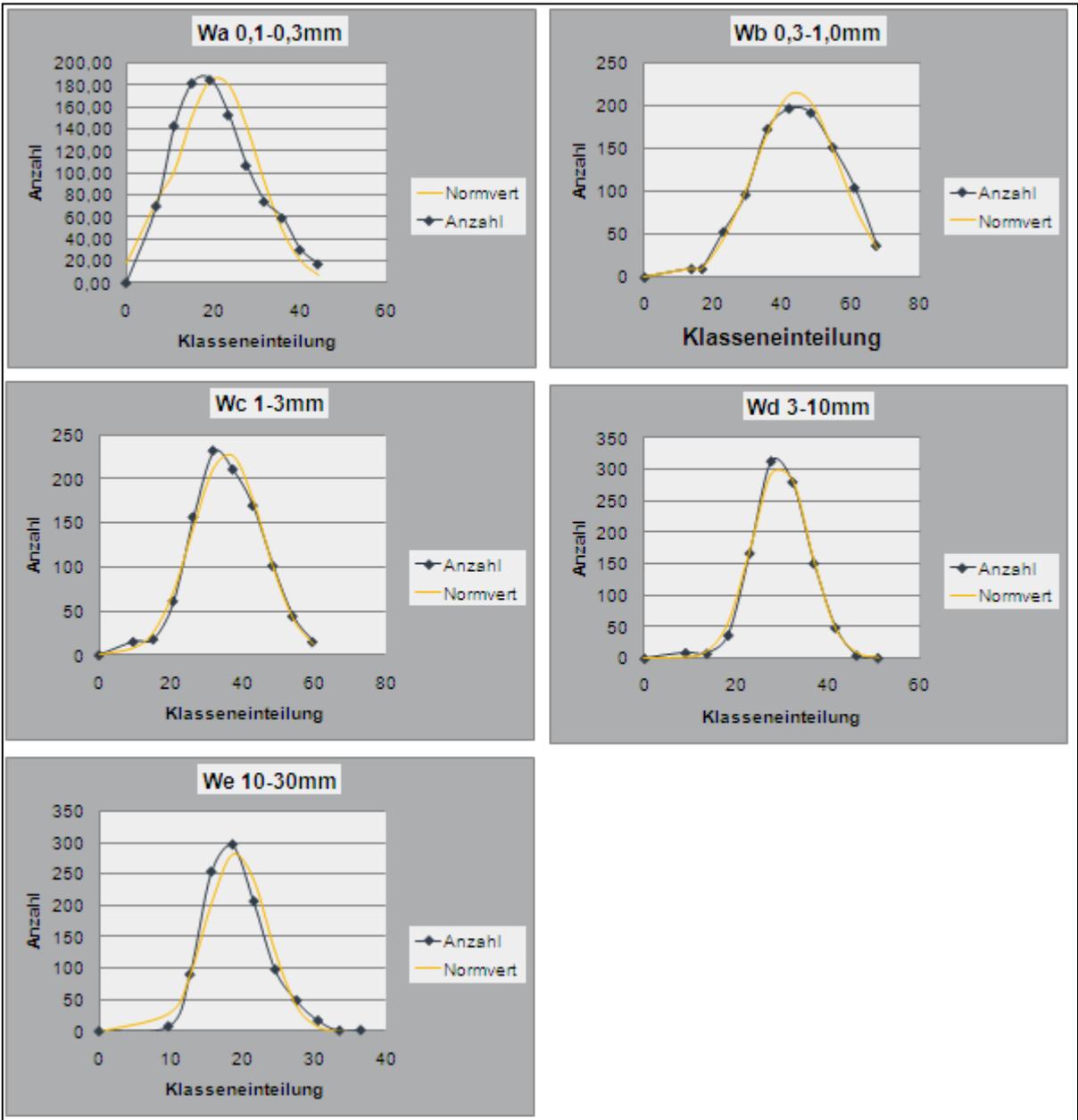
Anlage 21 Korrelationsdiagramme

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
	20° erste Messung				20° zweite Messung								
	Fzg.-Nr.	Zone	Mittel	StAbw.	Zone2	Mittel2	StAbw2	Farbton	Bezeichnung	Serie	Mittelwert 1. Messu	Mittelwert 2. Messur	Abweichung
34													
35	P110220	1	93,5199866	0,11692679	13	92,1208572	0,53277969	Silber	Hyundai Sky	Sonstige	88,28	83,50	-1,4
36	P110220	2	93,4060898	0,02551562	14	89,342041	0,42081273	Silber	Hyundai Sky	Sonstige	88,28	83,50	-4,1
37	P110220	3	93,5897751	0,11692679	15	93,2226181	0,59402406	Silber	Hyundai Sky	Sonstige	88,28	83,50	-0,4
38	P110220	4	92,5648499	0,3061862	16	90,4405823	1,8096242	Silber	Hyundai Sky	Sonstige	88,28	83,50	-2,1
39	P110220	5	93,2495728	0,10206208	17	85,4523926	1,51747632	Silber	Hyundai Sky	Sonstige	88,28	83,50	-7,8
40	P110220	6	93,6106567	0,11121957	18	78,5177383	0,92032886	Silber	Hyundai Sky	Sonstige	88,28	83,50	-15,1
41	P110220	7	93,0215149	0,18221724	19	89,8692017	1,6387639	Silber	Hyundai Sky	Sonstige	88,28	83,50	-3,2
42	P110220	8	92,9101639	0,23524146	20	81,6957779	2,18883896	Silber	Hyundai Sky	Sonstige	88,28	83,50	-11,2
43	P110220	9	92,2285233	0,07654655	21	89,1035156	0,42081273	Silber	Hyundai Sky	Sonstige	88,28	83,50	-3,1
44	P110220	10	92,4670839	0,51853663	22	80,9853516	0,06750771	Silber	Hyundai Sky	Sonstige	88,28	83,50	-11,5
45	P110220	11	92,5062866	0,05103104	23	88,459259	0,37673211	Silber	Hyundai Sky	Sonstige	88,28	83,50	-4,0
46	P110220	12	92,0975723	0,29755953	24	91,3537064	0,45069391	Silber	Hyundai Sky	Sonstige	88,28	83,50	-0,7
47	P120294	1	93,2073975	0,13740528	13	91,7903137	0,85276818	Beige	Toyota 4L5	Sonstige	88,28	83,50	-1,4
48	P120294	2	92,8626785	0,40745014	14	91,729454	0,16337904	Beige	Toyota 4L5	Glasurit Wasser Reihe 90	88,28	83,50	-1,1
49	P120294	3	93,3344193	0,43824342	15	87,3379745	1,1010748	Beige	Toyota 4L5	Glasurit Wasser Reihe 90	88,28	83,50	-6,0
50	P120294	4	79,4561386	4,71864653	16	84,1276932	4,72829485	Beige	Toyota 4L5	Glasurit Wasser Reihe 90	88,28	83,50	4,7
51	P120294	5	92,9687021	0,267609	17	86,0758896	0,31663924	Beige	Toyota 4L5	Glasurit Wasser Reihe 90	88,28	83,50	-6,9
52	P120294	6	89,7402115	0,14206439	18	87,198822	0,88019294	Beige	Toyota 4L5	Glasurit Wasser Reihe 90	88,28	83,50	-2,5
53	P120294	7	92,7250595	0,19598842	19	84,4747391	5,08335495	Beige	Toyota 4L5	Glasurit Wasser Reihe 90	88,28	83,50	-8,3
54	P120294	8	92,5958862	0,25642779	20	84,0666275	0,16535947	Beige	Toyota 4L5	Glasurit Wasser Reihe 90	88,28	83,50	-8,5
55	P120294	9	92,9153214	0,22963966	21	83,114296	0,94200307	Beige	Toyota 4L5	Glasurit Wasser Reihe 90	88,28	83,50	-9,8
56	P120294	10	69,3525772	5,41719723	22	66,9165955	3,64876366	Beige	Toyota 4L5	Glasurit Wasser Reihe 90	88,28	83,50	-2,4
57	P120294	11	92,6832047	0,86188084	23	91,2285156	0,66143787	Beige	Toyota 4L5	Glasurit Wasser Reihe 90	88,28	83,50	-1,5
58	P120294	12	93,0981369	0,12236873	24	91,3361206	0,24071291	Beige	Toyota 4L5	Glasurit Wasser Reihe 90	88,28	83,50	-1,8
59	P120349	1	90,8121033	0,24340264	13	87,5809708	0,07216878	Gold	Congac Gold	Sonstige	88,28	83,50	-3,2
60	P120349	2	90,3513184	0,14206439	14	88,7498779	0,33946189	Gold	Congac Gold	Sonstige	88,28	83,50	-1,6
61	P120349	3	90,8930054	0,1613743	15	86,1181412	1,29552519	Gold	Congac Gold	Sonstige	88,28	83,50	-4,8
62	P120349	4	90,8494873	0,04419418	16	75,8855209	18,8825531	Gold	Congac Gold	Sonstige	88,28	83,50	-15,0
63	P120349	5	90,7654114	0,04419418	17	88,7257385	1,23110723	Gold	Congac Gold	Sonstige	88,28	83,50	-2,0
64	P120349	6	90,6608887	0,4656145	18	82,9704895	0,33946189	Gold	Congac Gold	Sonstige	88,28	83,50	-7,7
65	P120349	7	90,8217773	0,18042196	19	88,4589844	0,1875	Gold	Congac Gold	Sonstige	88,28	83,50	-2,4
66	P120349	8	90,8213882	0,05103104	20	87,276329	0,70802689	Gold	Congac Gold	Sonstige	88,28	83,50	-3,5
67	P120349	9	90,6597061	0,28754529	21	78,9013138	3,89602852	Gold	Congac Gold	Sonstige	88,28	83,50	-11,8

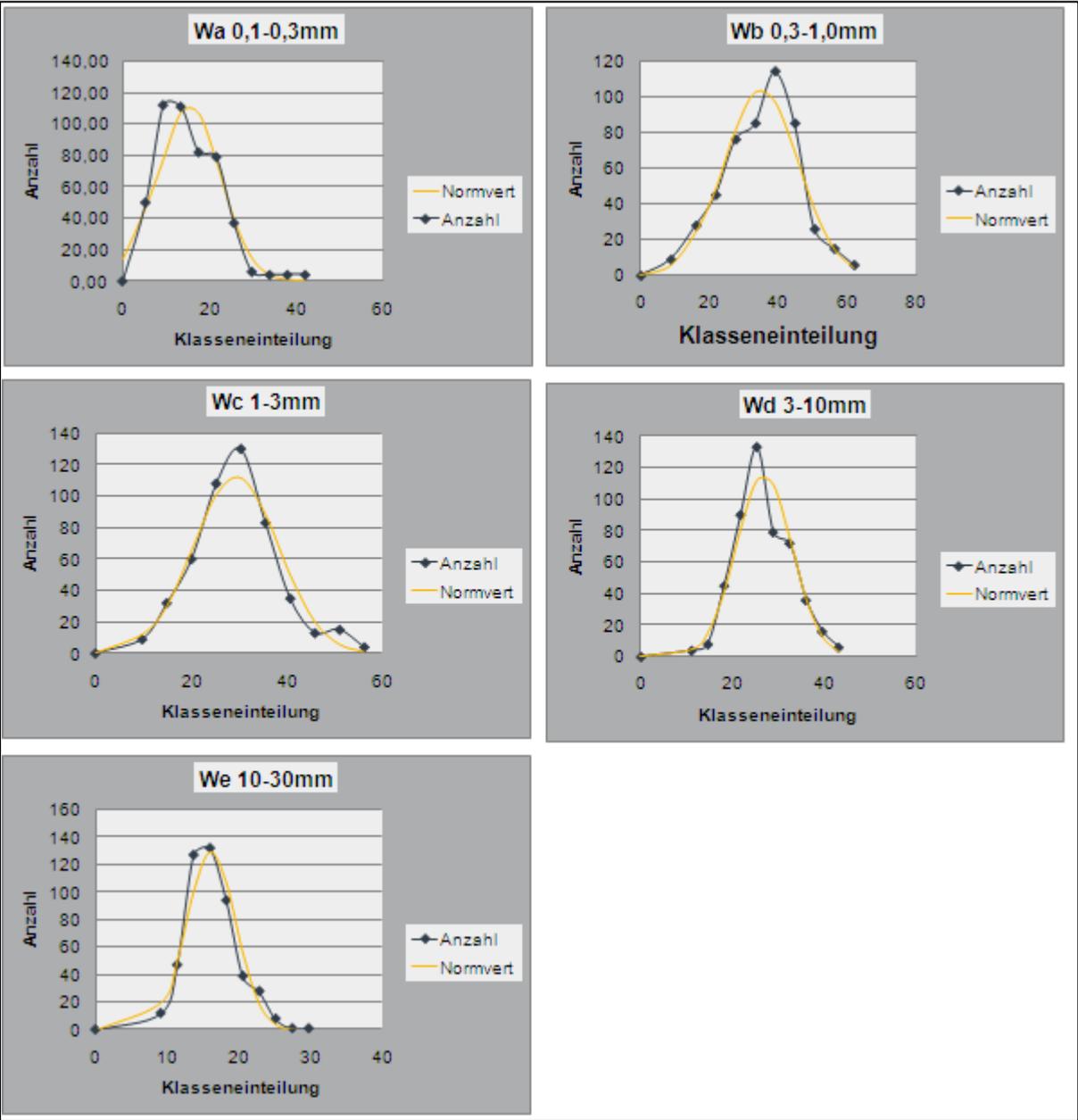
Anlage 22 Glanzgraddatenbank unprogrammiert



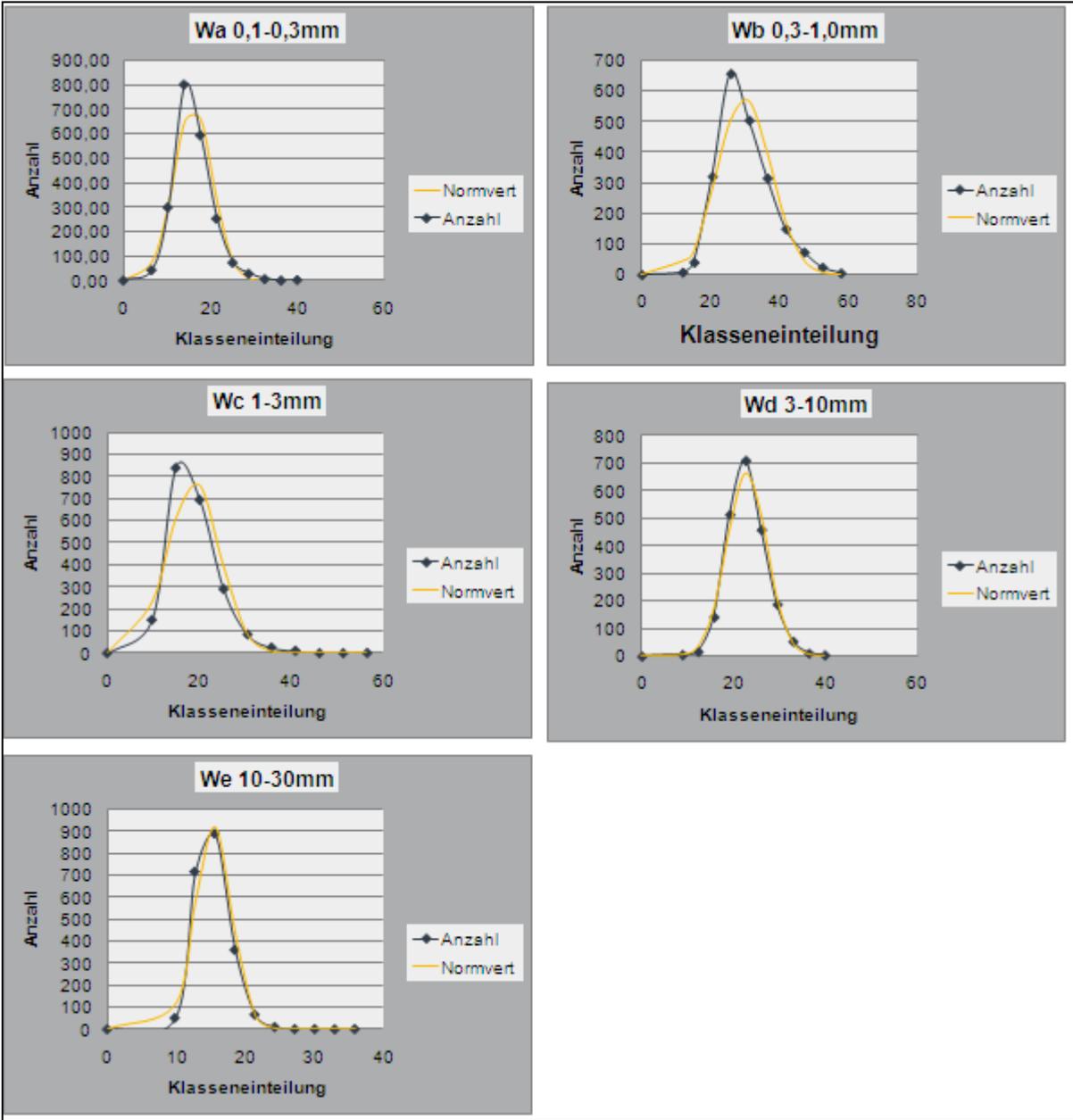
Anlage 23 Histogramme für alle Lackserien



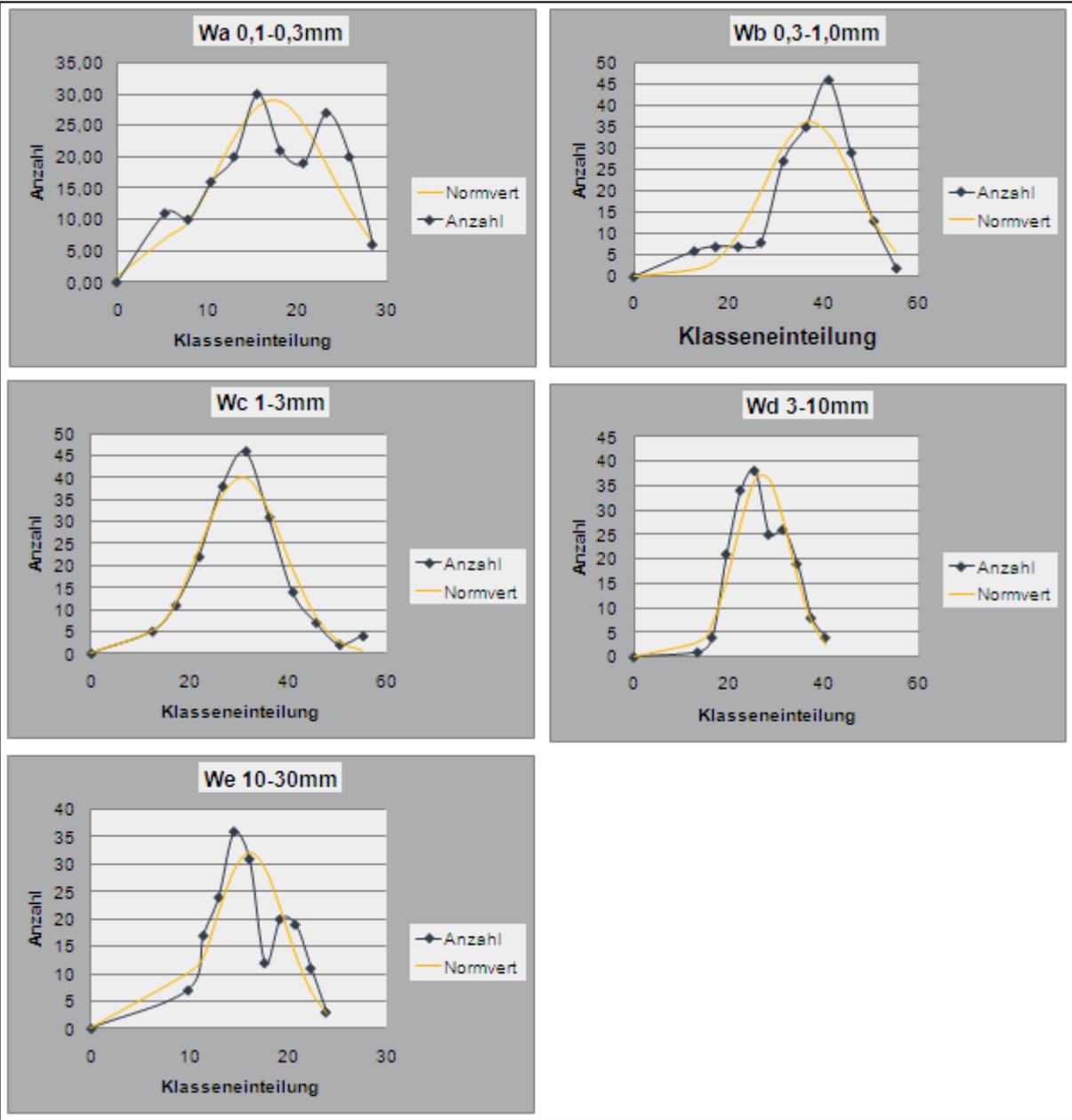
Anlage 24 Histogramme für die Lackserie Glasurit Wasserbasis



Anlage 25 Histogramme für Lackserie 295 + 293



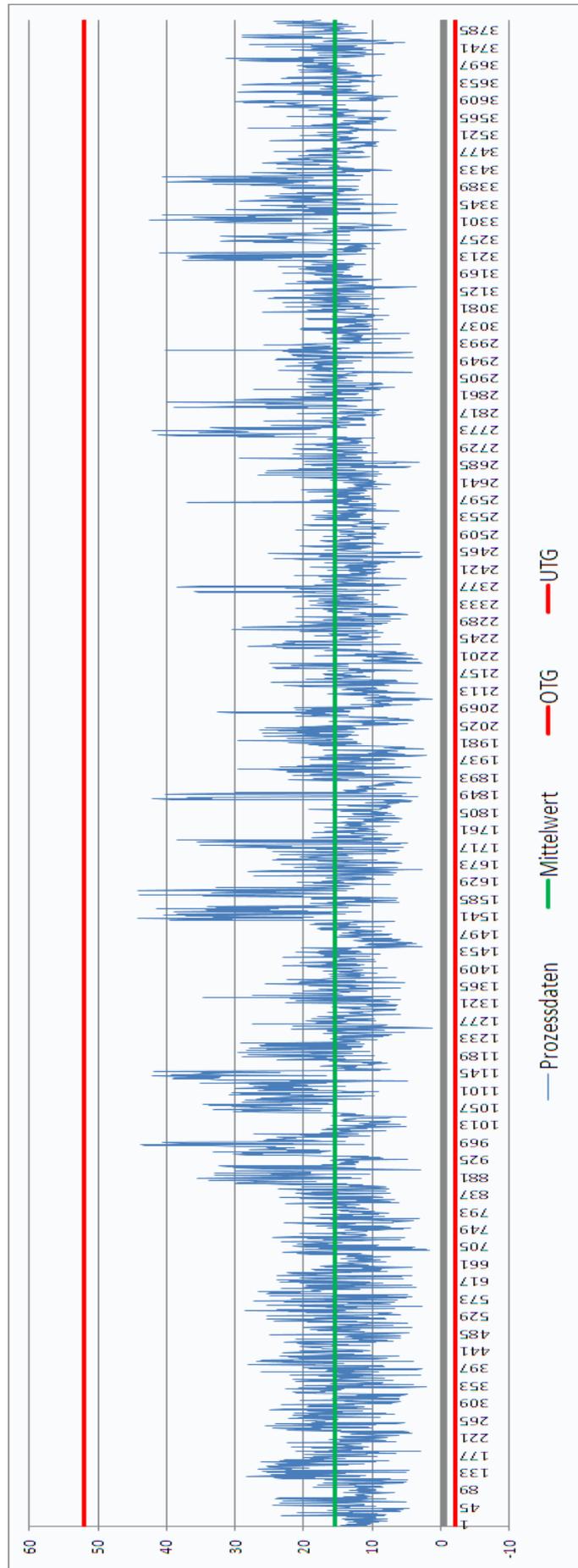
Anlage 26 Histogramme für die Serie 670 + 9700



Anlage 27 Histogramme für sonstige Lackserien

	1-α					
f	0,900	0,950	0,975	0,990	0,995	0,999
1	2,71	3,84	5,02	6,63	7,88	10,83
2	4,61	5,99	7,38	9,21	10,60	13,82
3	6,25	7,81	9,35	11,34	12,84	16,27
4	7,78	9,49	11,14	13,28	14,86	18,47
5	9,24	11,07	12,83	15,09	16,75	20,52
6	10,64	12,59	14,45	16,81	18,55	22,46
7	12,02	14,07	16,01	18,48	20,28	24,32
8	13,36	15,51	17,53	20,09	21,95	26,12
9	14,68	16,92	19,02	21,67	23,59	27,88
10	15,99	18,31	20,48	23,21	25,19	29,59

Anlage 28 Tabelle Chi²



Anlage 29 Prozessdaten aller Wa-Werte mit Toleranzgrenzen



Anlage 30 Prozessdaten Glanzgrad

Wave-Scan	Blech 1				Blech 2				Blech 3				Blech 4								
	1	2	3	4	Durchschnitt	1	2	3	4	Durchschnitt	1	2	3	4	Durchschnitt	1	2	3	4	Durchschnitt	
Messung 1 unpoliert	Wa	30,2	28,8	30,8	28	29,45	30,6	28,7	29,3	32,5	30,275	29,2	30	25,6	29,7	28,625	30	32	30,6	31,5	31,025
	Wb	56,2	56,3	55,3	53,9	55,425	53	53,6	55,9	54,5	54,25	54,6	56,7	52,5	52,5	54,075	54,8	57	56	54,7	55,625
	Wc	46,1	43,6	42,4	43,7	43,95	42,6	44,8	44,7	43,7	43,95	43,7	44,8	42,3	43,7	43,625	43,2	46,8	47,1	47,8	46,225
	Wd	40,9	37,1	39,9	40,2	39,525	40,1	38,2	38,5	39,6	39,1	37,4	37,6	36,4	41,7	38,275	38	39,4	40	43,3	40,475
	We	25,1	19,6	22,7	21,2	22,15	22,7	27,6	25,3	27,4	25,75	24,6	25,6	23,1	24,2	24,375	26,3	25,7	25,1	24,3	25,35
	SW	56,9	56,4	54	53,9	55,3	54,2	54,9	53,8	54,2	54,275	55,6	56,8	56,2	53,7	55,575	54,7	57,7	54,1	50,9	54,35
LW	35,8	31,1	32,7	34,1	33,425	32,4	35,6	32,9	32,5	33,35	31,8	34	31,8	36	33,4	31,8	36,4	35,2	39,3	35,675	
Art	poliert				poliert				3000er + poliert				1500+3000er + poliert								
Messung 2 poliert	Wa	12,2	9,6	10,7	9,4	10,475	13,5	16,2	12,8	12	13,625	10,3	12,3	10,6	14,8	12	13,2	10,7	11,7	11,7	11,825
	Wb	24,9	16,9	18,2	16,6	19,15	22,3	27,2	23	21	23,375	15,8	19,2	17,4	18,4	17,7	17,2	17,9	18,1	17,2	17,6
	Wc	25,8	16,2	12,9	18,8	18,425	19	17,3	16,2	23,4	18,975	9,7	11,4	7,6	9,9	9,65	4,4	5,4	4,9	5,3	5
	Wd	30,5	24,7	22,3	26,1	25,9	25,4	22	23,6	29,6	25,15	20,6	18,1	17,1	20,3	19,025	8,3	10,6	7,1	5,8	7,95
	We	16,3	19,5	12,7	19,1	16,9	18,4	13	12	18,8	15,55	10,5	18,7	9,9	17	14,025	7,8	11,3	10,3	7,9	9,325
	SW	23,5	15,2	14,7	13,1	16,625	18,5	21,1	18,3	17,2	18,775	11,1	15,3	14	16,6	14,25	13,3	12,9	14,1	14,7	13,75
LW	18,4	11,7	9,5	13,3	13,225	13,2	9,9	10,3	17,8	12,8	7,4	7,3	5	7,5	6,8	1,9	2,5	1,8	1,9	2,025	

Anlage 31 Messwerte Fertigungsveruch

Prüfprotokoll zur Bewertung von orange-peel im Außenbereich

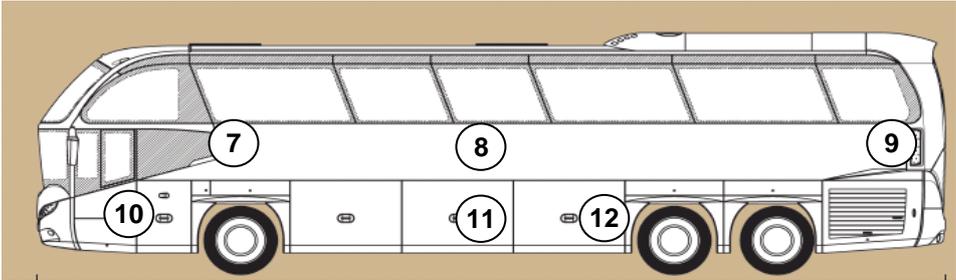
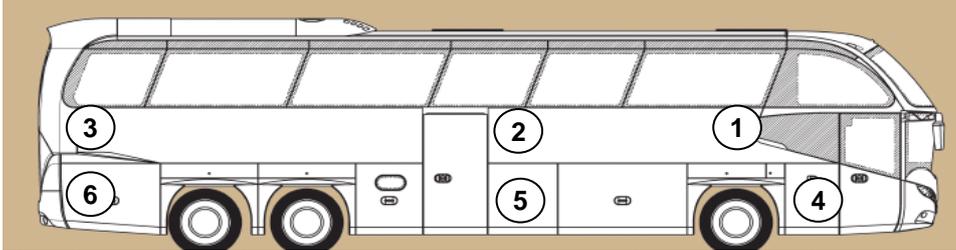
Fahrzeugnummer:

Lackserie:

Toleranzgrenzen:

	LW	SW	Wa	Wb	Wc	Wd	We
OTG							
UTG							

Prüfzonen:



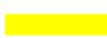
		Welligkeitswert														
Messbereich		LW		SW		Wa		Wb		Wc		Wd		Nacharbeit		
		i.O.	n.i.O.	i.O.	n.i.O.	i.O.	n.i.O.	i.O.	n.i.O.	i.O.	n.i.O.	i.O.	n.i.O.	ja	nein	
	1															
	2															
	3															
	4															
	5															
	6															
	7															
	8															
	9															
	10															
	11															
12																

Datum, Unterschrift

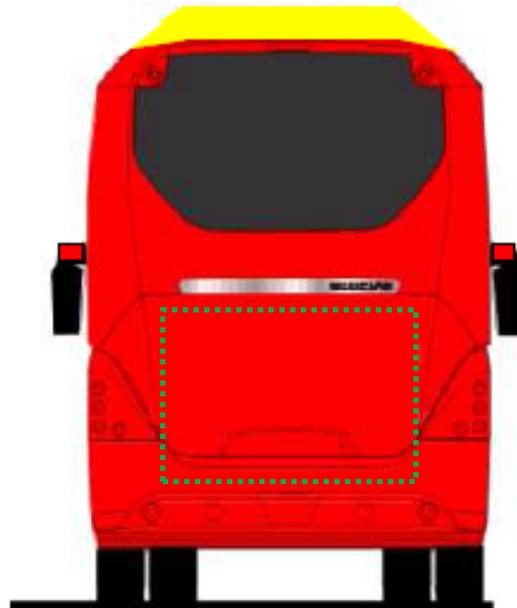
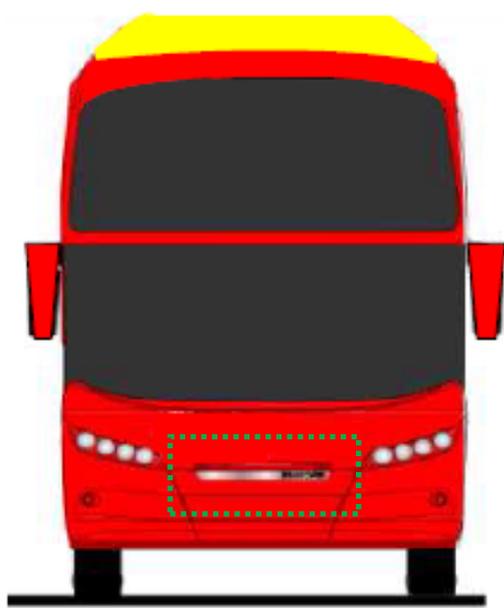
Interner Qualitätsstandard zur Bewertung der visuellen Qualität von Lackierungen an Fahrzeugen der in der PU – Premium gefertigten Reisebusse

4.2. Bewertungszonen

Die Bewertung der visuellen Qualität der Lackierung erfolgt nach folgenden definierten Bereichen und Fehlerarten und deren zulässigen Toleranzen. Grundsätzlich werden 3 Bereiche am Fahrzeug, wie beispielhaft am Fahrzeugtyp Cityliner (Starliner analog), definiert.

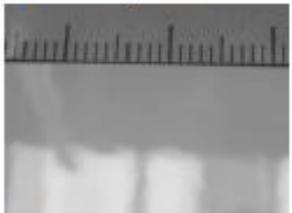
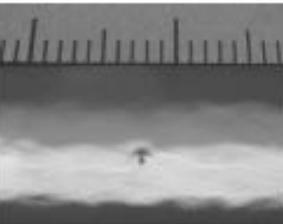
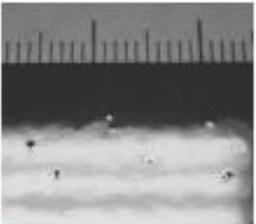
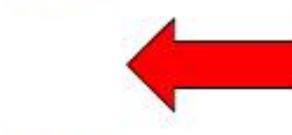
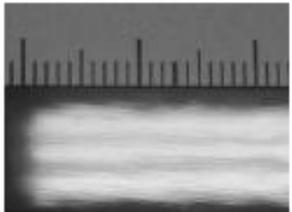
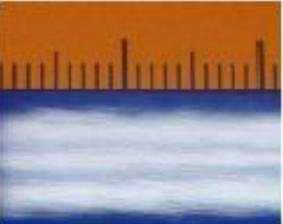
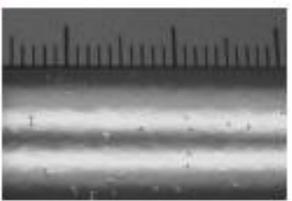
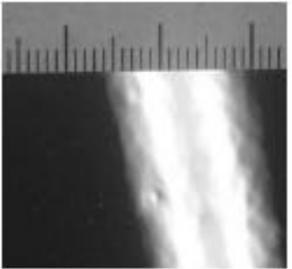
- | | | |
|-----------|---|--------------------------------------|
| Bereich A |  | Außenbereich (direktes Sichtfeld) |
| Bereich B |  | Außenbereich (indirektes Sichtfeld) |
| Bereich C |  | Innenbereich (Kofferraum/Staufächer) |

Beispiel : Cityliner



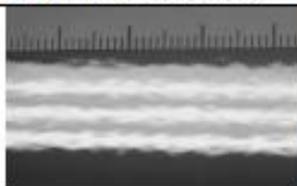
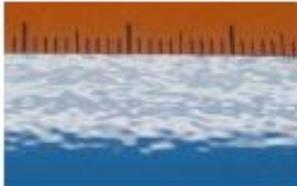
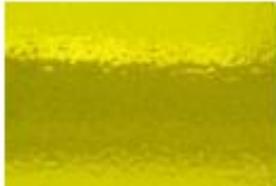
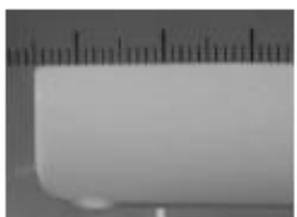
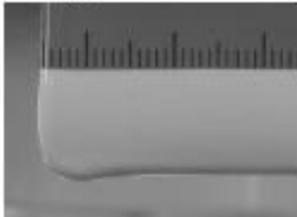
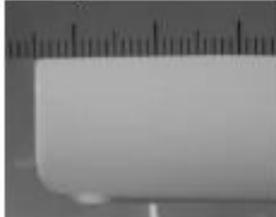
Interner Qualitätsstandard zur Bewertung der visuellen Qualität von Lackierungen an Fahrzeugen der in der PU – Premium gefertigten Reisebusse

5. Fehlerbeschreibung

Nr.	Fehlerart	Bereich A	Bereich B	Bereich C
1	Lackverunreinigungen/ Einschlüsse	Einzelne, unscharfe, optisch nicht störende, nicht polierte Einschlüsse die nicht größer als 0,5mm sind werden pro m ² 1 Stk. zugelassen 	vereinzelt sichtbare, ohne Anhäufungen zulässig 	zulässig 
2	Blasen	unzulässig 	unzulässig 	unzulässig
3	Schleiffehler unter der Lackoberfläche	unzulässig 	Leicht kaum sichtbare Schleifspuren unter der Lackoberfläche zulässig 	Verschliffene Oberfläche durch nicht fachgerechte Anwendung des Tellerschleifers 
4	Ausgasungen, Kocher, Porenbildung	unzulässig 	Einzelne, kaum sichtbare zulässig 	zulässig 
5	Krater	kaum sichtbare, ohne Anhäufungen zulässig 	in einer Ansammlung von 6 Stk. Pro m ² und aus 1m Entfernung nicht erkennbar, zulässig 	zulässig 

Anweisung

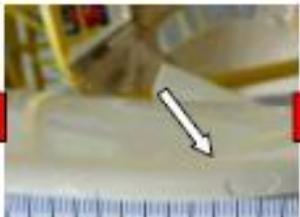
Interner Qualitätsstandard zur Bewertung der visuellen Qualität von Lackierungen an Fahrzeugen der in der PU – Premium gefertigten Reisebusse

Nr.	Fehlerart	Bereich A	Bereich B	Bereich C
6	Orangenhaut	zulässig wenn nicht störend ggf.Messung (WaveScan) 	zulässig 	zulässig 
7	Spachtelstellen	unzulässig	aus 1m Entfernung kaum sichtbare zulässig 	aus 1m Entfernung kaum sichtbare zulässig
8	Lackläufer, Tropfen	sichtbare unzulässig 	einzelne kaum sichtbare zulässig 	einzelne kaum sichtbare zulässig 
9	Druckstellen	unzulässig	unzulässig 	einzelne kaum sichtbare zulässig
10	Kratzer, Abschürfungen	unzulässig	unzulässig 	einzelne kaum sichtbare zulässig
11	Farbnebel auf deckender Beschichtung	unzulässig	unzulässig	unzulässig

Interner Qualitätsstandard zur Bewertung der visuellen Qualität von Lackierungen an Fahrzeugen
der in der PU – Premium gefertigten Reisebusse

Nr.	Fehlerart	Bereich A	Bereich B	Bereich C
12	mech. Lackbeschädigung	unzulässig	unzulässig 	zulässig, soweit keine Auswirkung auf den Korrosionsschutz
13	Farbtonunterschied von aneinandergelagerten Bauteilen	unzulässig	unzulässig 	zulässig, wenn nicht störend
14	Lackhaftung nicht I.O.	unzulässig	unzulässig 	unzulässig (Ausnahme auf elastischen Fugen)
15	verminderter Glanz	Im Rahmen der Normanforderungen der M 3312 zulässig Glanzgradwerte nach Referenzmesswerten 85+/- 10 Einheiten	zulässig 	zulässig 
16	geringe Farbdeckung geringer Farbauftrag	unzulässig	unzulässig 	mindestens deckend

Interner Qualitätsstandard zur Bewertung der visuellen Qualität von Lackierungen an Fahrzeugen
der in der PU – Premium gefertigten Reisebusse

Nr.	Fehlerart	Bereich A	Bereich B	Bereich C
17	unsaubere Kante bzw. Trennlinie am Übergang bei Mehrfarblackierungen	unzulässig	unzulässig 	nicht zutreffend
18	Poilerfehler	unzulässig	unzulässig 	nicht zutreffend
19	Überreste unter dem Lack	unzulässig	unzulässig 	unzulässig
20	mech.Lackbeschädigung unter dem Lack	unzulässig	unzulässig 	zulässig, soweit keine Auswirkungen auf den Korrosionsschutz
21	Piktogramme Aufschriften Nicht korrekt ausgerichtet, faltig, mit Luft einschließen (Blasen)	unzulässig	unzulässig 	unzulässig
22	Korrosionsschutz nach Norm M3312	Korrosionsschutz muss gewährleistet sein		
23	Lackierung	Definiert gemäß Lackinformationssystemen, Dokumentation und Lackblatt		



Anlage 34 Lichttunnel

Literaturverzeichnis

- http://de.wikipedia.org/wiki/Vogtländische_Maschinenfabrik
- http://www.neoplan.de/de/Faszination_NEOPLAN/Historie/Meilensteine/1935_bis_1953.jsp (01.06.2009)
- http://www.neoplan.de/de/Faszination_NEOPLAN/Historie/Meilensteine/1954_bis_1960.jsp (01.06.2009)
- http://www.neoplan.de/de/Faszination_NEOPLAN/Historie/Meilensteine/1976_bis_1981.jsp (01.06.2009)
- http://www.neoplan.de/de/Faszination_NEOPLAN/Historie/Meilensteine/Meilensteine.jsp (01.06.2009)
- http://www.neoplan.de/de/Faszination_NEOPLAN/Historie/Meilensteine/2000_bis_2002.jsp (01.06.2009)
- http://www.spieshecker.de/portal/de?page=4.1.1_Knowledge_Base_Categories&category=Fehlstellenkatalog
- <http://igz.ch/puebersicht.asp?action=download&fileid=9393>
- <http://www.byk.com/de/instrumente/appearance/orange-peel-doi/wave-scan-ii.html>
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Chi-Quadrat-Test>
- http://de.wikipedia.org/wiki/Statistische_Signifikanz#Irrtumswahrscheinlichkeit_und_Signifikanzniveau
- Monika, Michael; Voss, W: Statistik am PC: Lösungen mit Excel. 3. überarb. und akt. Auflage. München, Wien: Hanser 2002
- Vorlesungsskript Modul QM, Dozent: Prof. Dr.-Ing. H. Enge SGL Industrielle Produktion, BA Sachsen, Staatl. Studienakademie Glauchau
- Dietrich/Schulze: Statistische Verfahren zur Qualifikation von Messmitteln, Maschinen und Prozessen; 3. Auflage Seite 253f; HABSER-Verlag
- DIN ISO 21747 (2007-03), Statistische Verfahren – Prozessleistungs- und Prozessfähigkeitskenngrößen für Kontinuierliche Qualitätsmerkmale
- Handbuch Produktion, Theorie-Management-Logistik-Controlling; Seite 176 Mario Steven; Kohlhammer-Verlag
- <http://de.wikipedia.org/wiki/8D-Report>
- Firmenpräsentation BYK-Gardner

Ehrenwörtliche Erklärung

"Ich erkläre hiermit ehrenwörtlich",

1. dass ich meine Diplomarbeit mit dem Thema

„Definition der messmittelunterstützten Qualitätsprüfung hochglänzender Lackoberflächen im Außenbereich von Reisebussen“

ohne fremde Hilfe angefertigt habe,

2. dass ich die Übernahme wörtlicher Zitate aus der Literatur sowie die Verwendung der Gedanken anderer Autoren an den entsprechenden Stellen innerhalb der Arbeit gekennzeichnet habe und

3. dass ich meine Projektarbeit bei keiner anderen Prüfung vorgelegt habe.

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

Auerbach, den 16. 09. 2011

Nils Honscha