

Ganzheitliches Konzept zur Qualitätsoptimierung mit modernen Methoden

Dr. Oskar Leisin, syspilot Industrie Consulting GmbH

Ansprüche und Komplexität moderner Lackieranlagen

In den vergangenen Jahren wurden die Lackiercenter fast aller Automobilhersteller und Zulieferer weltweit durch einen enormen Erneuerungs- und Rationalisierungsschub geprägt. In diesem Beitrag soll der Blick auf den Prozessschritt gerichtet werden, dessen Ergebnis dem Kunden direkt ins Auge sticht: den Decklackbereich. Hier spielt die Entwicklung neuer Lackmaterialien eine große Rolle, angefangen von Wasserbasislacken über integrierte Lackier- oder Naß-in-Naß-Konzepte, bis hin zur Einführung von hochwertigen Pulver- bzw. Pulverslurry-Klarlacken.

Ziel dieser Entwicklungen waren einerseits Kosteneinsparungen durch z. B. geringere Lackverluste oder den Einsatz kurzer Zwischentrockner anstelle von Haupttrocknern, andererseits aber auch stetig höhere Anforderungen an die Lackierqualität. Hierzu zählen besonders brillante Farbtöne, höherer Glanz, geringere Oberflächenstruktur und höhere Kratzfestigkeit bei gleichzeitig besserer Chemikalienbeständigkeit. Die neuen Materialkonzepte erfordern eine deutlich stärkere Prozesssicherheit, die nur mit maschinellen, automatisierten Applikationsverfahren zu erreichen ist. Somit beschleunigten und intensivierten die neuen Materialien den parallel verlaufenden Trend zur Vollautomatisierung in der Lackierung.

In einer modernen Lackieranlage werden heute Detailflächen und Außenhaut einer Automobilkarosserie mit Robotern beschichtet; mit Robotern, die außer einer sehr genauen Bahnführung auch über exakte Prozessregler und kostensparende Farbwechselsysteme verfügen. Bei heutigen Lackieranlagen handelt es sich daher um hochkomplexe Gebilde, die ganzheitliches Denken und Vorgehen - von der Planung bis zur Optimierung - erfordern.

Mit Anlagen oben beschriebener High-Tech-Bauart kann eine außerordentlich hohe First-Run-Rate bei hervorragender Qualität erreicht werden und dies absolut gleichbleibend über 24 Stunden pro Tag und mindestens 6 Tage pro Woche. Allerdings liegt die Betonung auf dem Wort „kann“. Man wird schwerlich eine Neuanlage finden, bei der dieses Ziel ohne Schwierigkeiten und ohne einen unplanmäßig großen Aufwand an Optimierungen erreicht wurde.

Die folgenden Kapitel beschäftigen sich sowohl mit den Gründen für diese Probleme, mit ihrer Behebung, als auch mit der grundsätzlichen Thematik „Optimierung der Lackierqualität“. Dabei wird in der ganzheitlichen Betrachtungsweise hauptsächlich auf die technischen Vorgehensweisen, vorrangig der Applikationstechnik eingegangen. Daneben werden aber auch andeutungsweise Lösungsansätze für politische und menschliche Schwierigkeiten erwähnt. Diese drücken sich oft in Vermutungen über mangelnde Kompetenz und mangelndes Vertrauen zwischen Kunden und Lieferanten aus und erschweren einen erfolgreichen Projektverlauf.

Das ganzheitliche Konzept bedeutet für die Qualitätsoptimierung: Eine optimale Lackierqualität lässt sich nur durch das konsequente Zusammenführen folgender 4 Schritte erreichen.

Erste Basis für Qualität: Die Planung

Die erste und gleichzeitig beste Optimierung einer Lackierung ist die systematische und kompetente Planung. Eine gute Planung lässt sich an Hand einer ganzen Reihe von Kriterien messen. Drei der wichtigsten Voraussetzungen sind:

1. Profunde Kenntnis der neuesten Entwicklungen auf den Gebieten der Lack-, Anlagen- und Applikationstechnik sowie die Beurteilung derer Serienreife
2. Unvoreingenommene Berücksichtigung der realen Bedürfnisse und der Anforderungen an eine Lackierung, unabhängig von Modeströmungen oder zu ehrgeizigen Sparprogrammen
3. Unabhängigkeit von Lack- und Anlagenherstellern, die berechnete Verkaufsziele vor Augen haben

Für die richtige Auswahl geeigneter Lackierkomponenten und Bauteile für Standardprozesse stehen Hilfswerkzeuge wie z.B. Kenndatenbanken [1] und Ergebnisse von Freigabeteils [2] zur Verfügung. Ist jedoch mit der Planung einer neuen Lackierung auch die Einführung eines neuen Prozesses verbunden, so sollten bereits in einem sehr frühen Stadium Simulationen und Studien zur Realisierbarkeit durchgeführt werden. Sobald die einzusetzenden Lackmaterialien und Applikationstechniken zur Verfügung stehen, sind objektive Technikversuche unerlässlich. Diese können an neutralen Instituten, wie z. B. am IPA-Institut der Fraunhofer Gesellschaft in Stuttgart durchgeführt werden. Werden sie in Technika von Lack- oder Anlagenherstellern durchgeführt, so hat es sich in der Vergangenheit sowohl für diese, als auch für den planenden Kunden bestens bewährt, Versuche durch neutrale Beobachter begleiten, kommentieren und auswerten zu lassen. Dadurch können von vorne herein spätere Zweifel an der Art der Durchführung und damit der Aussagekraft dieser konzeptentscheidenden Tests ausgeschlossen werden. Ein typisches Beispiel für solche Konzeptentscheidungen ist die Anzahl der Roboter pro Fertigungszelle. Fehlerhafte oder ungenügende Simulationen bzw. Versuche können extreme Folgen haben. Zu wenige Roboter führen unweigerlich zu Taktzeit- und Qualitätsproblemen, zu viele Roboter zu hohen Invest-, Wartungs- und Farbverbrauchskosten.

Zweite Basis für Qualität: Die Konturprogramme

Die zweite Basis einer optimalen Lackierung ist die Erstellung der Konturprogramme für die Beschichtungsautomaten, bzw. Lackierroboter. Diese Programme stellen das lackiertechnische Fundament dar, auf dem sowohl während der Inbetriebnahmephase als auch später die Optimierung der Lackiereigenschaften stattfindet. Dabei sind u. a. mehrere Grundkonzepte zu klären:

1. Roboter-/Maschinenaufstellung (gegenseitige Beeinflussung)
2. Aufteilung der Lackierflächen in Teilflächen
3. Längs- oder Queranordnung von Bahnbewegungen
4. Berücksichtigung der Zerstäubeigenschaften
5. Festlegung der Bahnabstände
6. Gestaltung der Überlappbereiche von Teilflächen
7. Reparaturkonzept

In dieser Liste wird auch der Einfluss der Planung (z. B. Anzahl Roboter) und der Zerstäubeigenschaften (z. B. Strahlbreiten) auf die Konturprogramme deutlich. Programme zur Simulation des Beschichtungsergebnisses, wie z. B. der Virtual Applicator von ABB [Bild 1] [3] können helfen, das Grundkonzept für die Konturprogramme zu erstellen.

Die Roboterprogrammierung im High-Quality-Bereich findet heute fast ausschließlich mit Hilfe von Offlineprogrammiersystemen statt. Neben firmeneigenen Tools der großen Anlagenhersteller kommen die mächtigen Tools emPower/Robcad von Tecnomatix und Igrip von Dassault/Delmia häufig zum Einsatz. Die Programmierung von Beschichtungsautomaten ist in der Regel weniger komplex und aufwändig und lässt sich daher auch mit kleineren Tools durchführen. Diese Tools haben den Vorteil niedrigerer Lizenzgebühren und geringeren Schulungsaufwands für Programmierer.

Die Programmierung selbst erfordert detaillierte Kenntnisse der Lackiertechnik. So muss der Programmierer sowohl die karossen-, anlagen-, als auch die applikationsspezifischen Gegebenheiten berücksichtigen. Zu den wichtigsten Parametern zählen:

1. Geometrische Toleranzen von Fördertechnik, Karosse/Skid, Zerstäuberpositionen
2. Luftströmungen entlang der Karossoberfläche
3. Arbeitsbereiche und kinematische Funktionen der Roboter/Maschinen
4. Geometrische Problemzonen der Karosskonstruktion
5. Geometrische und kinematische Spritzstrahlparameter der Lackzerstäuber

Trotz des hohen Entwicklungsgrades moderner Offline-Programmierungstools muss allerdings eine Einschränkung gemacht werden. Die Hoffnung, dass ein offline erstelltes Programm allen Anforderungen an die Kriterien einer High-Quality-Lackierung ohne Nachoptimierung genügt, erscheint zur Zeit unrealistisch. Andererseits ist unstrittig, dass die Offlineprogrammierung eine bestmögliche Programmbasis schafft und Anlagennutzungszeit einspart. Kleinflächige Programmoptimierungen z. B. für spezielle Karosserie-Problemzonen können dagegen oftmals kostengünstiger und schneller online durchgeführt werden.

Dritte Basis für Qualität: Die Lackierparameter

Die Einstellung bzw. Optimierung von Lackierparametern ist die Operation direkt am Herzen der Lackierung. Eine Vielzahl von Parametern bestimmt die Qualitätskriterien, wie z. B. Schichtdicke, Farbton, Verlauf, Glanz und Haze.

Nur ein Teil der Applikations- und Verfahrenstechnik-Parameter ist direkt beeinflussbar, viele sind nur durch Messtechnik erfassbar. Das Zusammenspiel der Parameter ist komplex und hochgradig vernetzt. [Bild 2]. So gilt für die Erhöhung der Schichtdicke zwar der prinzipiell richtige Sachverhalt, dass höhere Schichtdicken durch höhere Farbausflussmengen erreicht werden. Eine entsprechende einseitige Parameteränderung der Farbausflussmenge kann aber eine Reihe von Nebenwirkungen zur Folge haben, die meistens nicht berücksichtigt und oft auch nicht erwünscht sind. Hier sind genaue Kenntnisse der physikalisch/chemischen Zusammenhänge erforderlich, wie sie aus zahlreichen wissenschaftlichen Untersuchungen bekannt sind, so dass die Applikationsmodelle nicht nur qualitativ sondern im Ansatz auch quantitativ verstanden werden können. Beispielhaft für Beiträge zum Verständnis des Einflusses verschiedener Parameter auf Farbton und Auftragswirkungsgrad seien die Arbeiten von Schlüsener [4], Lindenthal [5] und Domnick [6] erwähnt.

Um fehlerhafte Parametrierungen zu verhindern, muss der mit der Parametrierung oder Optimierung Beauftragte über eine ganze Reihe von Voraussetzungen verfügen. Zu den wichtigsten gehört sicherlich:

1. Fachwissen (Kenntnis der o. g. theoretischen Zusammenhänge)
2. Praxiserfahrung und Intuition
3. Systematik, Analysefähigkeit und Logik
4. Geschultes vernetztes Denken und ganzheitliche Sichtweise
5. Beherrschung geeigneter Messtechniken und technischer Hilfsmittel

Gerade dem letzten Punkt kommt eine zunehmend wachsende Bedeutung zu. Die immer schneller fortschreitende Entwicklung von Lack und Anlagentechnik lässt Erfahrungen relativ schnell veralten, so dass nicht nur die Optimierungsschritte selbst, sondern auch bisherige Erkenntnisse immer häufiger durch Versuche und Messungen verifiziert werden müssen. Dabei muss das notwendige Handwerkszeug beherrscht werden:

1. Qualitätsmesstechnik:

- Messtechniken für Spritzbilder, Schichtdicken, Verlauf, Farbton, Glanz etc.
- Kenntnis der Anwendungen, Messbereiche, Toleranzen und Einschränkungen
- Kenntnis der Interpretationsmöglichkeiten, des Einflusses von Randbedingungen (Bilder 3, 4)

2. Prozessmesstechnik:

- Einfache Messmethoden wie Strömungs- und Geometriemessungen, Videotechniken
- Überprüfung der Prozesssensorik, Prozessregler, Ventil- und Steuerungstechnik
- Kenntnis der Analyse- und Auswertungsmöglichkeiten von Messsignalen

Für diese Zwecke stehen mittlerweile eine große Auswahl an Tools zur Verfügung. Da die Messgeräte für Oberflächeneigenschaften alle hinreichend bekannt sind und ihre jeweiligen Vorteile und Einschränkungen auf Tagungen und Kongressen ausreichend diskutiert wurden, wird in diesem Artikel nicht näher auf sie eingegangen. Interessant scheint der exemplarische Verweis auf Tools zur fundierten Planung, Durchführung und Auswertung von Versuchsreihen, wie z. B. Prosim von BASF [7] und das Fingerprintverfahren von DuPont/Herberts [8]. Ihr Einsatz kann ein wesentlicher Bestandteil systematischer und ingenieurmässiger Vorgehensweise bei der Parametrierung und Optimierung von Lackieranlagen darstellen.

Vierte Basis für Qualität: Kontinuierliche Optimierung, Reaktion auf Qualitätseinbrüche

Im Lebenszyklus einer Lackieranlage gibt es viele Gründe und Anlässe zur Optimierung oder Wiederherstellung der gewünschten Lackierqualität. So bleibt in der Regel auch nach der erfolgreichen Inbetriebnahme und erfolgter Abnahme der Wunsch des Betreibers, die Ausbringqualität über die Werte hinaus zu erhöhen, die der Lieferant erzielt hat. Des Weiteren ist eine Optimierung immer dann notwendig, wenn neues Lackmaterial (z. B. neue Farbtöne) oder neue Fahrzeugtypen eingeführt werden. Auch beim Auftreten von technischen Defekten und Parameterschwankungen der Applikations- oder Verfahrenstechnik ergibt sich Handlungsbedarf. Ebenfalls muss kurzfristig auf mögliche Schwankungen der Lackeigenschaften reagiert werden. Ein zusätzlicher Grund, der in der Betrachtung nicht vernachlässigt werden darf, kann beim Betreiberpersonal selbst liegen. Mehrfach hintereinander durchgeführte unsachgemäße Änderungen verschiedener Parameter lassen eine gut funktionierende Lackieranlage in einen desaströsen Zustand wegdriften.

In der Praxis lassen sich viele kleine Qualitätsschwankungen durch das Betreiberpersonal schnell, d.h. einfach lösen. Ist dies jedoch nicht möglich, so liegt das in der Regel daran, dass die Ursache für das Problem nicht sofort und eindeutig einem der o. g. Gründe zugeordnet werden kann. Dann empfiehlt es sich, ein Expertenteam mit der Lösung der Probleme zu beauftragen, das über die entsprechende Kompetenz verfügt:

1. Projektführungskompetenz mit Erfahrung in crossfunktionalen Teams
2. Problemlösungskompetenz für technische und zwischenmenschliche Fragestellungen
3. Methodenkompetenz durch hohen Ausbildungsgrad und Spezialwissen

Zur Problemlösung stehen einige technische Möglichkeiten im Bereich der Diagnose- und Prozessmesstechnik zur Verfügung. Die Palette reicht von kleinen, handlichen Messsystemen über integrierte Tools von Anlagen-, Steuerungstechnik- und Feldbuslieferanten bis hin zu separaten mächtigen Hard- und Softwaresystemen. Letztere bieten eine nahezu gigantische Funktionalität, deren Anschaffungs-, Wartungs- und Personalkosten sich für den Betreiber bei intensiver und spezialisierter Nutzung lohnen. Als Beispiele für Prozessüberwachungen seien die Strategien und Konzepte der Prozesskontrolle von BMW [9] und das Total-Quality-Management (TQM) System bei DaimlerChrysler [10] erwähnt.

Aufgrund der möglichen finanziellen Folgen bei der Aufdeckung von Fehlerursachen lohnt es sich, bei der Auswahl des Teams im Vorfeld folgende Fragen zu beantworten:

1. welche Eigeninteressen könnten einzelne Teammitglieder oder Firmen haben?
2. Fühlen sich die beteiligten Personen oder Firmen als Beteiligte oder als Betroffene (im Sinne von verantwortlich)?
3. Wie hoch ist die zeitliche Verfügbarkeit der Personen (Freistellung oder nur „Nebenjob“)?

Von der Beantwortung dieser Fragen hängt wesentlich der schnelle und dauerhafte Erfolg der Maßnahmen ab. Die Durchführung der Problemdiagnose, Fehlerbehebung und Qualitätswiederherstellung bzw. -optimierung erfolgt innerhalb eines neutral geführten Teams reibungsloser. Bild 5 zeigt schematisch die Positionierung eines neutralen Qualitätsteams (beispielhaft unter der Leitung der syspilot Industrie Consulting GmbH) mit den Schnittstellen zur Produktion und zu den Anlagen-, Applikationstechnik- und Lackherstellern.

In den bisherigen Projekten, in denen der Autor selbst aktiv war, haben sich jene Projekte als die erfolgreichsten gezeigt, in denen auch eine klar strukturierte, systematische Vorgehensweise eingehalten wurde. So selbstverständlich die folgenden Punkte auch erscheinen mögen, so wird doch oft eine unsystematische Vorgehensweise mit der Begründung der Komplexität des Lackierens entschuldigt. Wichtige Punkte sind:

1. Definition von Ausgangs- und Sollzustand

- Beschreibung des Qualitätsmangels und des -solls
- messtechnische Erfassung des Ist- und des Sollzustandes

2. Ursachenfindung und Erarbeitung von Lösungsvorschlägen

- Problemanalyse, Ursachenforschung mit Analytik und Messtechnik
- Erarbeitung direkter Lösungen und komplexer Lösungsansätze zur Vermeidung von Folgeproblemen und Nebenwirkungen

3. Festlegung des Lösungsweges und Umsetzung der Maßnahmen

- Grobverbesserung mit Fortschrittsüberwachung (Meilensteine)
- evtl. Korrektur der Maßnahmen bei Nebenwirkungen
- Feinoptimierung mit kontinuierlicher Messung der Veränderungen

4. Projektreview

- Erfolgskontrolle und Bewertung der durchgeführten Maßnahmen
- Rücknahme von unnötigen Veränderungen
- Sicherstellung des erreichten Zustandes und Dokumentation des Lösungsweges
- Festlegung von Frühwarn-Kriterien bei erneutem Qualitätsabfall

Auch hier kommt dem letzten Punkt große Bedeutung zu. Oft wird das Projektreview vernachlässigt, wenn eine Wiederherstellung guter Lackierqualität erreicht ist. Aber erst die

Erfahrungssicherung und die abschließende Zustands-Dokumentation runden ein ganzheitliches Konzept ab und gewährleisten eine dauerhafte Lackierqualität für die Zukunft.

Zusammenfassung:

Zum erfolgreichen Betrieb moderner Lackieranlagen gehört eine neue, ganzheitliche Einbeziehung aller Aktivitäten, von der Planung bis zur Optimierung. Ihr Zusammenwirken lässt sich am besten am Beispiel der Qualitätserzielung im Decklackbereich darstellen, gilt aber entsprechend auch für die Bereiche Vorbehandlung, Tauchlackierung und Nahtabdichtung. Jeder Teilschritt stellt eine Basis der Zielerreichung dar und alle gemeinsam müssen im Zusammenspiel koordiniert und mit entsprechender Systematik und Kompetenz abgearbeitet werden.

Aus diesem Grund setzen viele Automobilhersteller wie z. B. die Fa. Nedcar in ihrem Werk Born (Niederlande) zur Lackierung des neuen Z-Car von Mitsubishi auf dieses ganzheitliche Konzept. Ein extremes Beispiel für das Ergebnis höchster Qualitätsansprüche stellt der Maybach [\[Bild 6\]](#) von DaimlerChrysler dar, Ansprüche, die sich ohne diesen Ansatz nicht erfüllen ließen.

Literatur:

1

U. Reinhard

Standardisierung von Lackieranlagen: Technik und Ausschreibungsmethodik
Automotive Circle International 3. Internationale Strategiekonferenz, Berlin, 2002

2

O. Leisin, S. Philippi

Freigabetests für Lackierkomponenten bei DaimlerChrysler
Jubiläumstagung 50 Jahre DFO, Düsseldorf 1999

3

G. Börner

Die virtuelle Lackierung hinsichtlich weiterentwickelter Roboter- und Lackierautomaten
Automotive Circle International, 3. Internationale Strategiekonferenz, Berlin 2002

4

T. Schlüsener

Untersuchungen zum Einfluss der thermo- und hydrodynamischen Vorgänge bei der Lackapplikation und -trocknung auf die Farbtonausbildung wasserbasierter Metallic-Lacke
Diss. TU Darmstadt, 2000

5

A. Lindenthal

Verbesserung der Effizienz der pneumatischen Lackapplikation mit Hilfe von Phasen-Doppler-Anemometrie-Untersuchungen
Berichte aus der Verfahrenstechnik, Shaker-Verlag Aachen 1997

6

J. Domnick

Bewertung von Applikationstechniken unter dem Gesichtspunkt neuer
Automatisierungskonzepte
DFO Automobiltagung Dresden 2001

7

W. Duschek

Methoden zur Einführung neuer Lacksysteme
DFO Automobiltagung Bamberg, 1997

8

Ch. Voyé

Fingerprint Analyse System
Farbe&Lack 106, Jahrgang 10/2000

9

O. Jahn

Strategien und Konzepte zur Prozesskontrolle
DFO Automobiltagung, Strasbourg 2000

10

C. Wolff, U. Glostein,

Automatisches Überwachungssystem zur frühzeitigen Mängelerkennung an Lackieranlagen
Rohbau-Expertenkreis Fellbach 2002