

# Gut – besser – optimal

**Bei den heutigen Lackieranlagen der Automobilhersteller oder Zulieferer handelt es sich um hochkomplexe Gebilde. Nicht nur die Planung solcher Anlagen, sondern auch die Qualitätsoptimierung erfordert ein ganzheitliches Konzept.**



Bild: DaimlerChrysler

Für ein Auto wie den Maybach von DaimlerChrysler gelten höchste Qualitätsanforderungen. Ohne ein ganzheitliches Konzept für die Lackierung ließen sich diese Ansprüche nicht erfüllen.

In den vergangenen Jahren gab es in den Lackier-Centern fast aller Automobilhersteller und Zulieferer weltweit einen enormen Erneuerungs- und Rationalisierungsschub. 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- beziehungsweise Pulver-slurry-Klarlacken.

Ziel dieser Entwicklungen waren einerseits Kosteneinsparungen durch zum Beispiel 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 Automobilkarosse mit Robotern beschichtet; mit Robotern, die außer über eine sehr genaue 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 der beschriebenen High-Tech-Bauart kann eine außerordentlich hohe First-Run-o.k.-Rate bei hervorragender Qualität erreicht werden, und dies absolut gleichbleibend über 24 Stunden pro Tag und mindestens sechs 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 vorher nicht eingeplanten 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 die Applikationstechnik, eingegangen. Daneben werden aber auch andeutungsweise Lösungsansätze für politische und menschliche Schwierigkeiten erwähnt. Damit sind beispielsweise Vermutungen von Seiten der Kunden über mangelnde Kompetenz der Lieferanten oder seitens des Lieferanten Klagen über mangelndes Vertrauen der Kunden gemeint; dies erschwert einen erfolgreichen Projektverlauf.

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

## 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 erkennen. Drei der wichtigsten Voraussetzungen sind:

- ◆ Profunde Kenntnis der neuesten Entwicklungen auf den Gebieten der Lack-, Anlagen- und Applikationstechnik; der Planer muss realistisch einschätzen können, wann neue Entwicklungen serienreif sein werden
- ◆ unvoreingenommene Berücksichtigung der realen Bedürfnisse und der Anforderungen an eine Lackie-

rung, unabhängig von Modeströmungen oder zu ehrgeizigen Sparprogrammen

- ◆ Unabhängigkeit von Lack- und Anlagenherstellern, die berechnete Verkaufsziele vor Augen haben.

Für die richtige Auswahl geeigneter Lackierkomponenten und Bauteile für Standardprozesse stehen bei den einzelnen Automobilherstellern Hilfswerkzeuge wie zum Beispiel 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 zum Beispiel 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 vornherein 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 beziehungsweise Versuche können extreme Folgen haben. Zu wenige Roboter führen unweigerlich zu Taktzeit- und Qualitätsproblemen, zu viele Roboter zu hohen Invest-, Wartungs- und Farbverbrauchskosten.

## Die Konturprogramme

Die zweite Basis einer optimalen Lackierung ist die Erstellung der Konturprogramme für die Beschichtungs-

automaten beziehungsweise Lackierroboter. Diese Programme stellen das lackiertechnische Fundament dar, auf dem sowohl während der Inbetriebnahme als auch später die Optimierung der Lackiereigenschaften stattfindet. Dabei muss unter anderem bei mehreren Grundkonzepten eine Entscheidung getroffen werden:

- ◆ Roboter-/Maschinenaufstellung (gegenseitige Beeinflussung)
- ◆ Aufteilung der Lackierflächen in Teilflächen
- ◆ Längs- oder Queranordnung von Bahnbewegungen
- ◆ Berücksichtigung der Zerstäuber-eigenschaften
- ◆ Festlegung der Bahnabstände
- ◆ Gestaltung der Überlappbereiche von Teilflächen
- ◆ Reparaturkonzept.

In dieser Liste wird auch der Einfluss der Planung (zum Beispiel Anzahl Roboter) und der Zerstäuber-eigenschaften (zum Beispiel Strahlbreiten) auf die Konturprogramme deutlich. Programme zur Simulation des Beschichtungsergebnisses, wie beispielsweise der Virtual Applicator von ABB /3/, können helfen, das Grundkonzept für die Konturprogramme zu erstellen (siehe Bild 1).

Die Roboterprogrammierung im High-Quality-Bereich findet heute fast

ausschließlich mit Hilfe von Offline-Programmiersystemen statt. Neben firmeneigenen Tools der großen Anlagenhersteller kommen die mächtigen Tools emPower/Robcad von Tecnomatix und Igrid 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:

- ◆ Geometrische Toleranzen von Fördertechnik, Karosse/Skid, Zerstäuberpositionen
- ◆ Luftströmungen entlang der Karossoberfläche
- ◆ Arbeitsbereiche und kinematische Funktionen der Roboter/Maschinen
- ◆ Geometrische Problemzonen der Karossonkonstruktion
- ◆ Geometrische und kinematische Spritzstrahldaten der Lackzerstäuber.

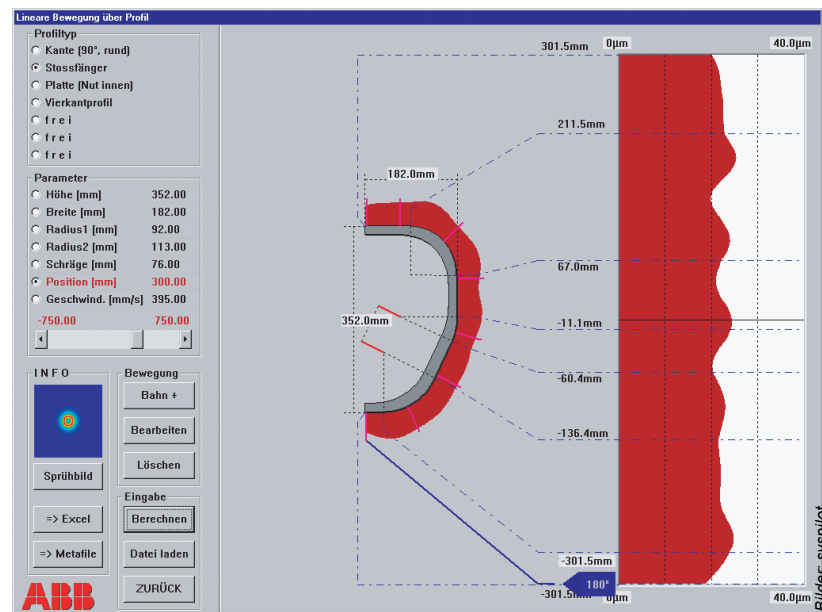


Bild 1: Simulierte Stoßfängerlackierung mit Virtual Applicator von ABB

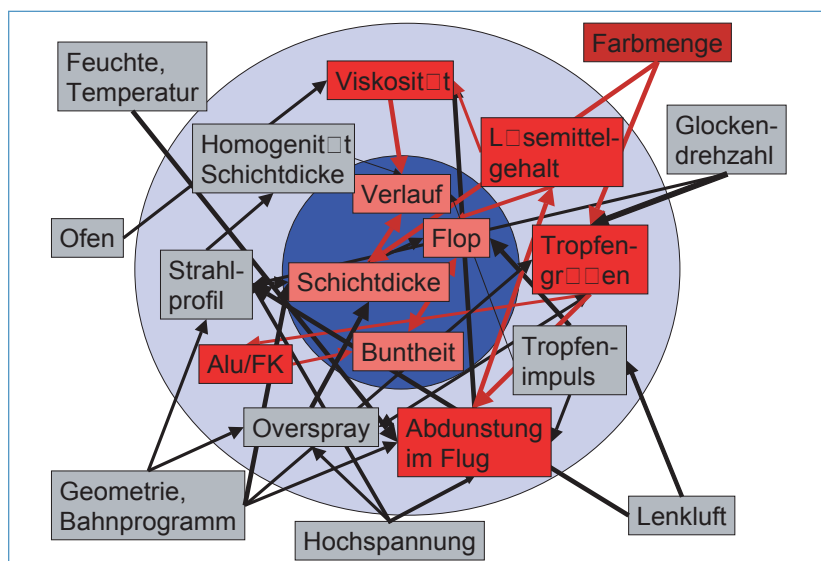


Bild 2: Komplexität und Vernetzung der Lackier- und Qualitätsparameter („Chaosfolie“)

Trotz des hohen Entwicklungsgrades moderner Offline-Programmertools 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 zurzeit unrealistisch. Andererseits ist unstrittig, dass die Offline-Programmierung eine bestmögliche Programmbasis schafft und Anlagennutzungszeit einspart. Kleinflächige Programmoptimierungen zum Beispiel für spezielle Karosserie-Problemzonen können dagegen oftmals kostengünstiger und schneller online durchgeführt werden.

### Die Lackierparameter

Die Einstellung beziehungsweise Optimierung von Lackierparametern ist die „Operation direkt am Herzen“ der Lackierung. Eine Vielzahl von Parametern bestimmt die Qualitätskriterien, wie zum Beispiel 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 (siehe Bild 2). So ist es zwar prinzipiell richtig, dass höhere Schichtdi-

cken 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:

- ◆ Fachwissen (Kenntnis der genannten theoretischen Zusammenhänge)
- ◆ Praxiserfahrung und Intuition
- ◆ Systematik, Analysefähigkeit und Logik
- ◆ Ganzheitliche Sichtweise

- ◆ Beherrschung geeigneter Messtechniken und technischer Hilfsmittel.

Gerade dem letzten Punkt kommt eine 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 Handwerkzeug beherrscht werden:

### Qualitätsmesstechnik:

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

### Prozessmesstechnik:

- ◆ Einfache Messmethoden wie Strömungs- und Geometriemessungen, Videotechniken
- ◆ Überprüfung der Prozesssensoren, 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 zum Beispiel Prosim von BASF /7/ und das Fingerprint-Verfahren von DuPont/Herberts /8/. Ihr Einsatz kann ein wesentlicher Bestandteil systematischer

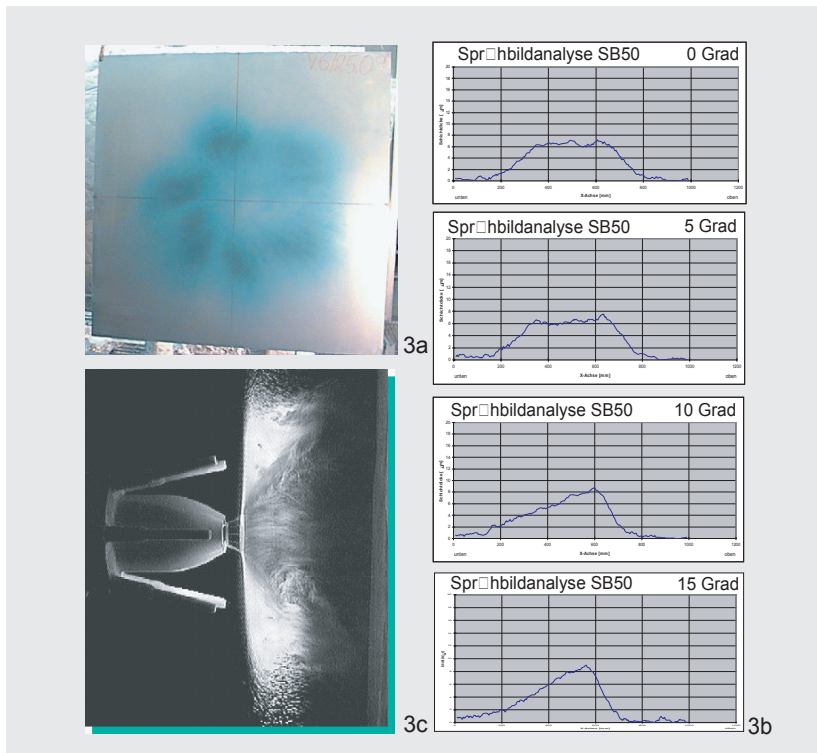


Bild 3: Methodenkompetenz am Beispiel der Interpretation von Spritzbildern /2/

- a) Statisches Spritzbild
- b) Schichtdickenverteilung unter 0, 5, 10, 15 Grad
- c) Laserlichtschnitt

und eindeutig einem der genannten Gründe zugeordnet werden kann. Dann empfiehlt es sich, ein Expertenteam mit der Lösung der Probleme zu beauftragen, das über die entsprechende Kompetenz verfügt:

- ◆ Projektführungskompetenz mit Erfahrung in cross-funktionalen Teams
- ◆ Problemlösungskompetenz für technische und zwischenmenschliche Fragestellungen
- ◆ Methodenkompetenz durch hohen Ausbildungsgrad und Spezialwissen.

Vorgehensweise bei der Parametrierung und Optimierung von Lackieranlagen sein.

### 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 nach erfolgter Abnahme der Wunsch des Betreibers, die Ausbringqualität über die Werte, die der Lieferant erzielt hat, hinaus zu erhöhen. Des Weiteren ist eine Optimierung immer dann notwendig, wenn neues Lackmaterial (zum Beispiel neue Farbtöne) oder neue Fahrzeugtypen eingeführt werden.

Auch beim Auftreten von technischen Defekten und Parameterschwankungen der Applikations- oder Verfahrenstechnik entsteht Handlungsbedarf. Ebenfalls muss kurzfristig auf mögliche Schwankungen der Lackeigenschaften reagiert werden. Ein zusätzlicher Grund, der in der Betrachtung nicht vernachlässigt wer-

den darf, kann beim Betriebspersonal selbst liegen. Mehrfach hintereinander durchgeführte unsachgemäße Änderungen verschiedener Parameter bringen eine gut funktionierende Lackieranlage in einen desaströsen Zustand.

In der Praxis lassen sich viele kleine Qualitätsschwankungen durch das Betriebspersonal schnell und einfach lösen. Ist dies jedoch nicht möglich, so liegt das in der Regel daran, dass die Ursache für das Problem nicht sofort

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 Feldbus-Lieferanten bis hin zu separaten mächtigen Hard- und Softwaresystemen. Letztere bieten eine nahezu gigantische Funktionalität, deren Anschaffungs-, War-

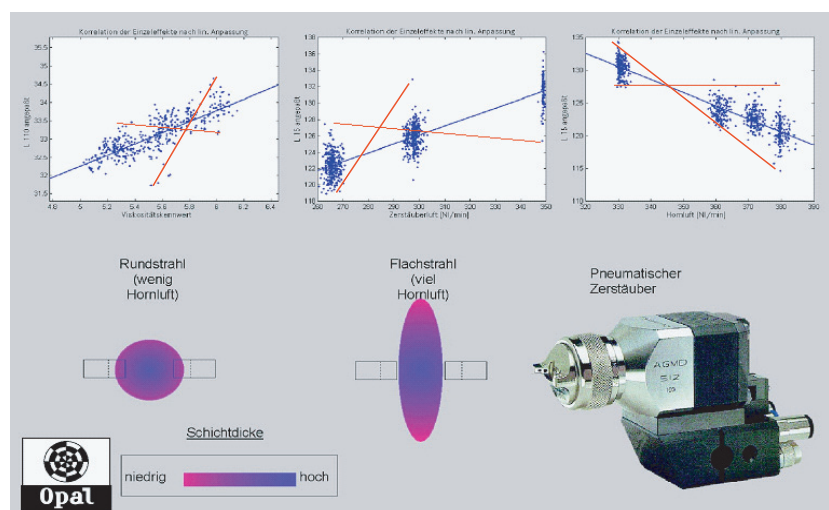


Bild 4: Methodenkompetenz am Beispiel der Berücksichtigung von Statistik und Sekundäreinflüssen (Quelle: Jahrbuch für Lackiertechnik 2000, Vincentz Verlag, Hannover)

tungs- 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 in der Lackierung bei DaimlerChrysler /10/ erwähnt.

Aufgrund der möglichen finanziellen Folgen bei der Aufdeckung von Fehlerursachen lohnt es sich, bei der

syspilot Industrie Consulting GmbH mit den Schnittstellen zur Produktion und zu den Anlagen-, Applikationstechnik- und Lackherstellern.

Bei den bisherigen Projekten, in denen der Autor selbst aktiv war, haben sich jene Projekte als die erfolgreichsten erwiesen, in denen auch eine klar strukturierte, systematische Vorgehensweise eingehalten wurde. So selbstverständlich die folgenden Punkte auch erscheinen mögen, so wird doch oft

überwachung (Meilensteine)

- ◆ eventuelle Korrektur der Maßnahmen bei Nebenwirkungen
- ◆ Feinoptimierung mit kontinuierlicher Messung der Veränderungen.

**Projekt-Review**

- ◆ 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 Projekt-Review 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.

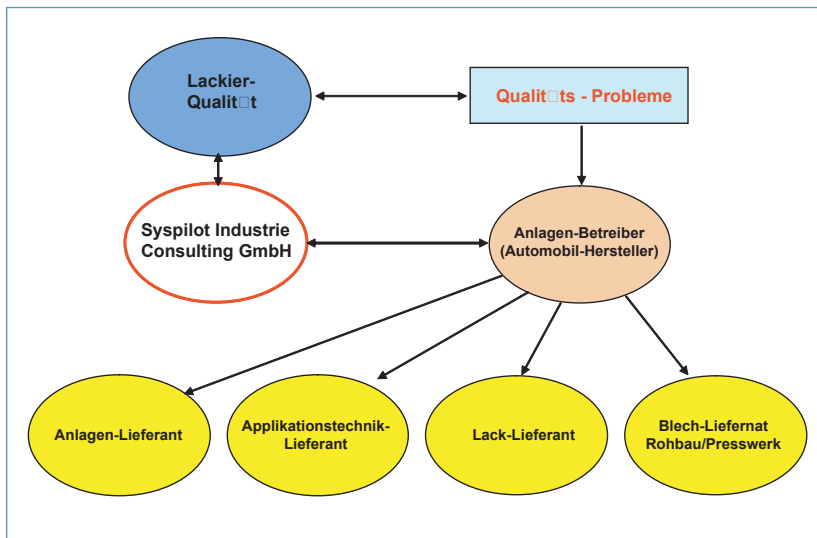


Bild 5: Qualitätsteam unter neutraler Leitung

**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 zum Beispiel die Firma 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 von DaimlerChrysler dar; Ansprüche, die sich ohne diesen Ansatz nicht erfüllen ließen. ■

Auswahl des Expertenteams im Vorfeld folgende Fragen zu beantworten:

- ◆ Welche Eigeninteressen könnten einzelne Teammitglieder oder Firmen haben?
- ◆ Fühlen sich die beteiligten Personen oder Firmen als Beteiligte oder als Betroffene (im Sinne von verantwortlich)?
- ◆ 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 beziehungsweise -optimierung erfolgt innerhalb eines neutral geführten Teams reibungsloser. Bild 5 zeigt schematisch die Positionierung eines neutralen Qualitätsteams (beispielhaft unter der Leitung der

eine unsystematische Vorgehensweise mit der Begründung der Komplexität des Lackierens entschuldigt. Wichtige Punkte sind:

**Definition von Ausgangs- und Sollzustand**

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

**Ursachenfindung und Erarbeitung von Lösungsvorschlägen**

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

**Festlegung des Lösungsweges und Umsetzung der Maßnahmen**

- ◆ Grobverbesserung mit Fortschritts-

## Literatur

- /1/ U. Reinhard: *Standardisierung von Lackieranlagen: Technik und Ausschreibungsmethodik*; Automotive Circle International 3. Internationale Strategiekonferenz, Berlin, 2002
- /2/ O. Leisin, S. Philippi; *Freigabetest 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. Gloistein; *Automatisches Überwachungssystem zur frühzeitigen Mängelerkennung an Lackieranlagen*; Robbau-Expertenkreis Fellbach 2002

---

Der Autor:  
 Dr. Oskar Leisin,  
 syspilot Industrie Consulting GmbH,  
 Böblingen  
 Tel. 07031/714951;  
 e-mail: oskar.leisin@syspilot.de