

1 Aufgabenstellung und Zielsetzung

In der Fahrzeugserienlackierung ist es Stand der Technik, dass alle benötigten Lacke verarbeitungsfähig vom Lackhersteller in Großgebinden angeliefert, in einem oder mehreren zentralen Farbmischräumen in Kesseln bevorratet werden und über Ringleitungen an die Abnahmestellen gelangen. Damit verbunden ist für jeden Farbton ein eigener Logistikaufwand, eine hohe Anzahl von Farbversorgungssystemen und eine begrenzte Flexibilität. Die Kundenanforderungen zielen jedoch hinsichtlich der Farbgebung auf höhere Individualisierung und damit hinsichtlich der Farbversorgung auf höhere Flexibilität und größeren Variantenreichtum ab.

Hinzu kommt, dass Lacke, welche in Ringleitungen zirkulieren, nur eine begrenzte Zeit verarbeitbar bleiben. Für eine starke Ausdifferenzierung der Farbpalette in zahlreiche individuelle, aber dafür nur in geringen Stückzahlen laufende Nuancen ist das gegenwärtige Farbversorgungssystem somit kontraproduktiv.

Ausgehend von der beschriebenen Situation ist es daher naheliegend, das Farbversorgungssystem radikal umzustellen und nicht mehr jeden einzelnen Farbton vorgemischt zu beziehen, sondern die Elemente der gesamte Farbpalette aus einigen standardisierten Komponenten nach dem Prinzip der subtraktiven Farbmischung erst unmittelbar vor der Applikation zusammenzusetzen.

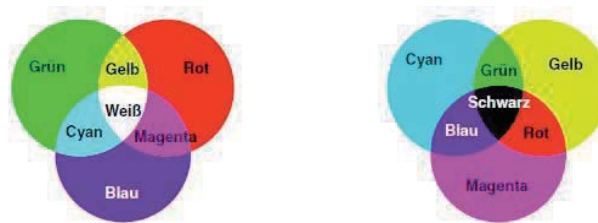


Abbildung 1-1 Additive (links) und subtraktive Farbmischung (rechts) [1]

Die Reproduktion von Farbeindrücken ist relativ einfach möglich. Bereits mit drei unabhängigen Basisfarben lassen sich alle möglichen Farbtöne nachbilden. Für die überwiegende Anzahl von Anwendungen ist dies ausreichend [2] [3]. Subtraktiven Farbmischung tritt u. a. auf, wenn der Farbeindruck durch Absorption bestimmt wird. Pigmente oder Farbstoffe verändern dabei die spektrale Zusammensetzung eines eintreffenden Lichtes, indem sie unabhängig voneinander Teile des Lichtes absorbieren. Dies wird durch ein Absorptionsspektrum beschrieben. Die sich ergebende Farbe wird im Fall von Körperfarben als spektraler Reflexionsgrad bezeichnet [4]. Beispiele sind das Vermischen von Pigmenten für die Automobilreparatlackierung, die Malerei oder der Farbdruk [3].

Die vorhandenen Farbversorgungssysteme könnten für die Komponenten weiterverwendet werden. Der applikationsfertige Lack würde aber erst im Bereich der Lackierkabine aus diesen Komponenten erzeugt und auf kurzem Weg mit geringen Verlustvolumina direkt zu den Applikationseinrichtungen weitergeleitet.

Im Bereich der Reparaturlackierung kennt man derartige Systeme bereits; diese sind jedoch für einen diskontinuierlichen Betrieb ausgelegt, d.h. es werden aus Einzelkomponenten Kleingebinde des fertigen Lackes erzeugt, ggf. zwischengelagert und dann der Applikation zugeführt. Im Bereich der Serienlackierung ist demgegenüber ein kontinuierlicher Betrieb vorzusehen. Damit muss die Dosierung der Einzelkomponenten nicht nur volumengenau sondern auch zeitgenau stattfinden, das heißt, die Zuführungsgeschwindigkeit der Einzelkomponenten muss exakt und reproduzierbar über ein sehr weit gespreiztes Mischungsverhältnis gesteuert werden, die Mischung der Komponenten muss auf kleinem Raum kontinuierlich erfolgen und zu einer vollständigen Homogenisierung bis zum Austritt aus der Mischkammer führen.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, ein neuartiges Farbversorgungskonzept mittels einer Online-Lackmischtechnologie zu erarbeiten, die ersten konstruktiven Lösungen zu überprüfen, weiterzuentwickeln und die Anlage für den praktischen Einsatz in der Automobilserienlackierung vorzubereiten. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der experimentellen Untersuchung und computergestützten Bestimmung der Mischkammergeometrie des Vielfarbenmischkopfes sowie der experimentellen Ermittlung der Mischungsgüte anhand Farbmessung. Abschließend wird beschrieben, wie die neuartige Vielfarbenmischtechnologie in die Automobilserienlackierung integriert und die Serientauglichkeit erbracht wurde. Die Arbeit schließt mit einer Zusammenfassung und einem Ausblick.

2 Einleitung und Stand der Technik

2.1 Aufbau und Aufgaben einer Automobilserienlackierung nach 5a Prozess

Zwei aus ökonomischer Sicht bedeutende Eigenschaften erhält das Automobil erst mit seiner Lackierung. Zum einen ist der Schutz der Karosserie vor Korrosion und anderen Einflüssen, wie z.B. Steinschlag, ausschlaggebend für die Gebrauchsdauer des Fahrzeugs. Zum anderen prägen Farbe und Glanz das Erscheinungsbild der Lackierung und damit auch entscheidend die Akzeptanz beim Konsumenten. Die Anforderungen an die Qualität von Automobillackierungen sind heutzutage hoch und vielschichtig und dadurch auch mit modernsten Technologien nicht von einer einzigen Lackschicht erfüllbar. Daher setzt sich die Lackierung eines Fahrzeugs aus mehreren Schichten zusammen (siehe Abbildung 2-1) [5] [6] [7]. Neben der bei der Vorbehandlung entstehenden Schicht, die häufig nicht als eigenständige Schicht bewertet wird, besteht eine Automobillackierung aus Grundierung, Füller, Basislack- und Klarlackschicht.

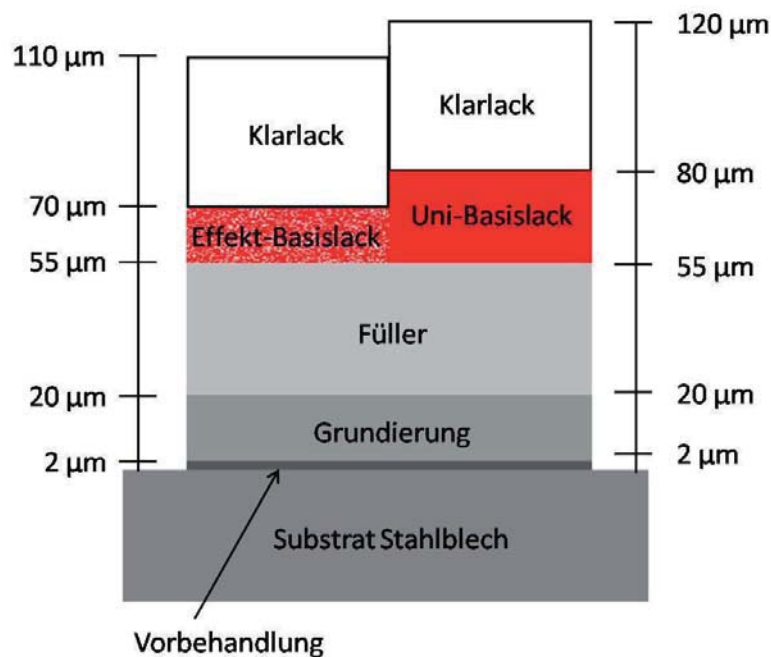


Abbildung 2-1 Aufbau einer Automobillackierung

Wie in der Abbildung dargestellt, erfährt die Karosserie zunächst eine Vorbehandlung. Diese unterstützt durch sorgfältige Anpassung an das Substrat und die nachfolgende Grundierung optimal den Korrosionsschutz und die mechanisch-technologischen Eigenschaften und gewährleistet die Haftung der Grundierung [5] [7]. Die Aufgabe der anschließenden Grundierung besteht vor allem im Korrosionsschutz. Daneben sind gute Haftung und Flexibilität sowie für die Applikation des flüssigen Lacks gutes Benetzungsverhalten, gute Verlaufseigenschaften und Kantenabdeckung erwünscht [5]. Die Gesamtschichtdicke von Vorbehandlung und Grundierung beträgt etwa 20 µm.

Die folgende Füllerschicht mit einer Schichtdicke von circa 35 µm dient dazu, eine gleichmäßige Oberflächenstruktur zu erzeugen und somit dem Lack ein „fülliges“ Erscheinungsbild zu verleihen. Auf der anderen Seite wird eine hohe Steinschlagbeständigkeit und gute Schleifbarkeit für die weitere Bearbeitung gefordert. Um die Schichtdicken für die über dem Füller liegenden Lackschichten zu minimieren und somit die Materialkosten zu senken, finden zunehmend farbige Füller Verwendung und das Deckvermögen rückt in den Fokus der Aufmerksamkeit [5] [7] [8] [9].

An die Füllerschicht schließt sich der Decklack mit einer Dicke von etwa 55 µm bis 65 µm an. Dieser besteht gegenwärtig vorwiegend aus zwei getrennt aufgetragenen Schichten, dem Basislack und dem Klarlack. Der aus zwei Schichten bestehende Decklack lässt, im Gegensatz zur ursprünglich nur einfach vorhandenen Schicht, Metalleffekte brillanter erscheinen und das neu erreichte Qualitätsniveau führte schließlich dazu, dass heutzutage auch Uni-Farbtöne zweischichtig lackiert werden. Der Basislack ist dabei die auf Farbgebung optimierte Schicht, während der Klarlack die Funktion übernimmt, Beständigkeit gegen UV-Einstrahlung, Wittereinflüsse, Kratzbeständigkeit und Chemikalien zu garantieren, um damit für eine lange Lebensdauer und brillante nicht verblassende Farbe zu sorgen [8].

2.2 Prozessschritte in der Automobilserienlackierung nach 5a Prozess

Der Auftrag der mehrschichtigen Lackierung mit ihren zahlreichen geforderten Funktionen erfolgt in einem komplexen, kostenintensiven Prozess aus zahlreichen Einzelschritten. Insgesamt verbraucht die Lackiererei fast drei Viertel der Energie, die bei der Herstellung einer Automobilkarosse nötig ist, wie Abbildung 2-2 zeigt. Davon entfallen knapp ein Viertel auf die Trocknung und knapp 60 % auf die Lackierkabinentechnik [10].

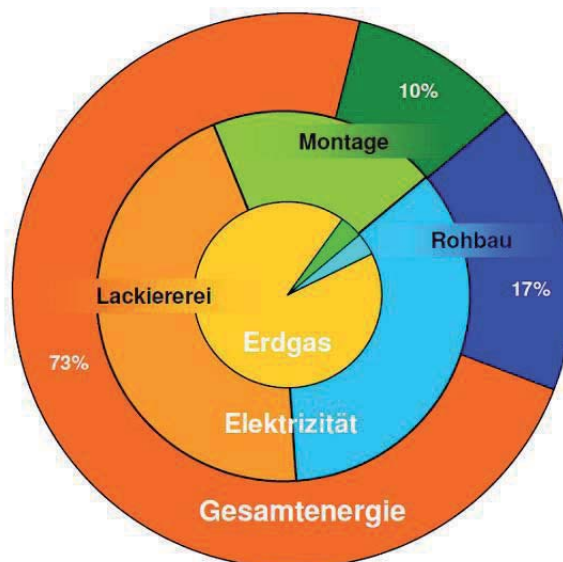


Abbildung 2-2 Verteilung des Energieeinsatzes zur Karosserienproduktion in der Automobilindustrie nach [10]

Dies macht deutlich, dass der Lackierprozess gerade im Hinblick auf Energiesenkung und Reduzierung von CO₂-Emissionen ein großes Optimierungspotential

besitzt, das auch zum Umweltschutz beitragen kann. Zudem bewirkt ein niedriger Energieverbrauch auch eine Kostensenkung. Außerdem gilt es den gesamten aus vielen Schritten bestehenden Prozess der Lackierung auch hinsichtlich der Qualität der Eigenschaften und Produktivität zu optimieren. Die Applikation des Lacks gestaltet sich in fünf Hauptschritten. Dabei erfolgen nach der Vorbehandlung der Auftrag der Grundierung und deren Einbrand. Anschließend werden in einem dritten Schritt der Unterbodenschutz und die Nahtabdichtung aufgebracht und zusammen mit dem Füller nach dessen Applikation eingebrannt. Eine dritte, energieintensive Trocknung findet schließlich nach dem Auftrag der Decklacksschicht statt, die, wie ausgeführt, aus farbigem Basis- und farblosem Klarlack besteht. Abbildung 2-3 zeigt den detaillierten Prozessablauf einer typischen Karossenbeschichtung.

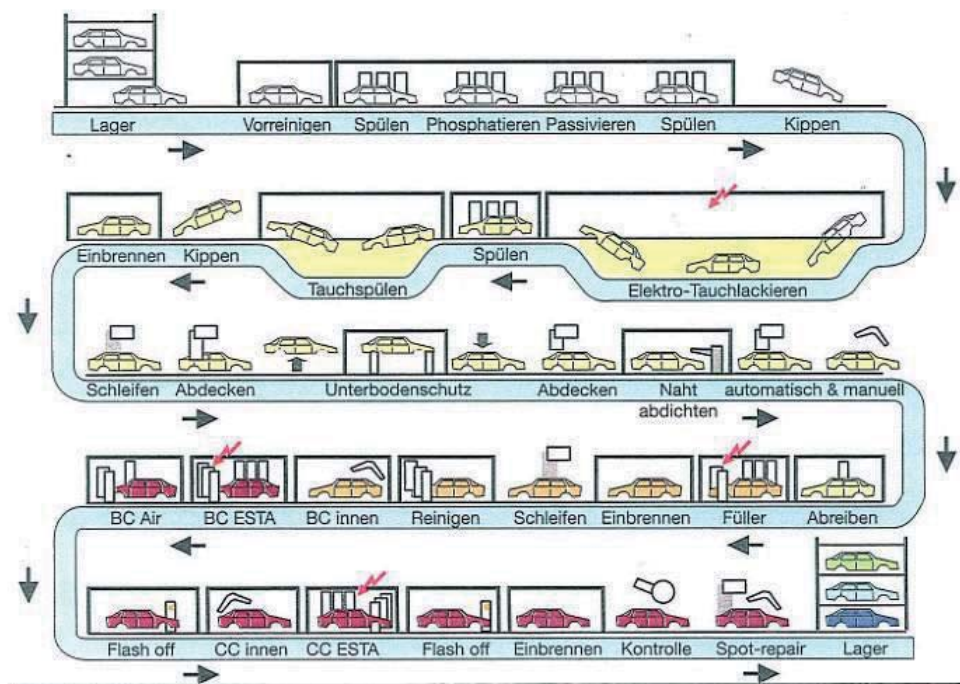


Abbildung 2-3 Typische Prozessschritte einer Lackieranlage in der Automobilindustrie [8]

Die Karossen, die den Rohbau verlassen, durchlaufen wie abgebildet zunächst eine Reinigung, bevor die eigentliche Metallvorbehandlung, die Bildung einer Konversionsschicht, stattfindet [11]. In der Automobilproduktion ist dazu seit langem die Zinkphosphatierung Stand der Technik, die vorzugsweise in kombiniertem Spritz- und Tauchverfahren aufgebracht wird [8] [12]. Das Phosphatierbad setzt sich dabei aus einer wässrigen Lösung von Phosphorsäure, sauren Zinkphosphaten und speziellen Zusatzmitteln zusammen. Die Protonen der Säure beizen das Metall zunächst blank, rauhen es an und aktivieren es so. Damit ermöglichen sie den Niederschlag einer Schutzschicht aus tertiärem Zinkphosphat. Vor dem erneuten Spülen der Karosse kann zusätzlich eine Passivierung, z.B. mit Titanaten, oder eine Trocknung erfolgen [8] [13].

Die gute Haftung der organischen Folgeschichten auf der Phosphatierung beruht dabei auf deren porösen Oberflächenstruktur, sowie deren Aufbau aus Ionengittern, die nebenvalente Bindungen mit dem Lack eingehen können [14]. Zusätzlich

bietet die edlere Phosphatschicht Korrosionsschutz, da sie als Barriere für das Metall fungiert.

Neben der klassischen Vorbehandlung gibt es auch neue, umweltschonendere Alternativen wie das Nanokeramikmaterial TechTalis (Firma Henkel KGaA, Düsseldorf) oder auch die Oxsilan-Produkte (Chemetall GmbH, Frankfurt/Main). Deren Vorteile liegen in weniger Prozessschritten und dadurch geringerem Wasser- und Energieverbrauch sowie niedrigeren Taktzeiten. Letztere erhöhen den Durchsatz und damit die Prozesseffizienz. Zusätzlich fallen auch geringere Wartungs- und Betriebskosten an und optimieren somit den komplexen und kostenintensiven Lackierungsprozess [15] [16] [17].

Nach der Vorbehandlung erfolgt als zweiter Schritt der Auftrag der Grundierung. Seit Mitte der 70er Jahre des 20. Jahrhunderts ist die kathodische Tauchlackierung (KTL) mit zwei Komponenten aus vordispersierter Harzdispersion und separater Pigmentdispersion weltweit Stand der Technik und wurde dabei so kontinuierlich weiterentwickelt, dass kein anderes Verfahren zur Ablösung bisher besteht, auch wenn es sehr hohe Kosten durch den Energieverbrauch mit sich bringt [8] [13] [18] [19]. Die Karossen sind bei diesem Verfahren als Kathode in einem Gleichstromkreis geschaltet [8] [13]. Die Spannung an der Kathode führt durch Elektronenaufnahme zur Reduktion von Wasser zu Wasserstoff und Hydroxylionen. Letztere neutralisieren die an der Kathode ankommenden Ammoniumsalze, die als Bindemittel der Lackdispersion dienen, zu Aminen und Säure. Dadurch entfällt die ionische Stabilisierung und die Dispersionspartikel koagulieren an der Karosse und bilden einen Film. Mit steigender Schichtdicke vergrößert sich der elektrische Widerstand bis die Abscheidung schließlich zum Erliegen kommt. Die entstehenden Schichtdicken betragen zwischen 18 μm und 22 μm [5]. Nach dem Spülen wird die KTL-Beschichtung je nach Zusammensetzung bei Temperaturen von mehr als 175 °C über einen Zeitraum von mehr als 20 min in einem Durchlauftrockner eingebrannt und durch Abschleifen von Unebenheiten befreit [8] [13].

Die Unterbodenschutzbeschichtung stellt den dritten großen Verfahrensschritt im Lackierprozess dar. Die Materialien müssen dafür vor allem gut haften und guten Schutz vor Steinschlag, Chemikalien und Korrosion bieten, aber keine besonderen Anforderungen an Farbton oder Oberflächenglätte erfüllen. Deshalb kommen hier überwiegend PVC-Plastisole, die im Airless-Spritzverfahren appliziert werden, sowie die teureren aber gewichtsparenderen Zweikomponenten-Polyurethane zum Einsatz. Alternativ finden auch Kunststoffabdeckungen Anwendung im Unterbodenschutz. Das anschließende Aufbringen der Nahtabdichtung, bestehend aus hitzehärtbaren Kleb- und Dichtstoffen, geschieht mit Airless-Spritzpistolen und im Flat-Stream-Verfahren, wobei die Applikation mit Hilfe von Robotern üblich ist. Die Verfestigung von Unterbodenschutz und Nahtabdichtung erfolgt dann nach Auftragung der nächsten Lackschicht, des Füllers, im Füllertrockner, um zusätzlichen Energieaufwand zu vermeiden [8] [13]. Als Schutz vor mechanischen Beschädigungen der Unterbodenschutzbeschichtung und der Nahtabdichtung finden auch zusätzlich Geliertrockner Anwendung, die die Karossen vor der Auftragung des Füllers antrocknen.

Vor dem Aufbringen des Füllers auf der Außenseite der Karosse, sowie im Motor- und Kofferraum erfolgt eine sorgfältige Reinigung mit einer mit Emu-Federn ausgestatteten Walze [13]. Zur Minimierung von Qualitätseinbußen und Optimierung des Prozessablaufs durchlaufen die Karossen zur Auftragung des Füllers und der Decklacklackierung Lackierkabinen, die allerdings aufgrund der Belüftung energieintensiv sind. In Europa überwiegen heute emissionsarme wasserbasierte Füller.

Weltweit beträgt ihr Anteil etwa 20 %, so dass sie noch immer weit hinter den Lösungsmittelbasierten Füllern liegen, die etwa zu 70 % Verwendung finden. Die übrigen 10 % werden von Pulverfüllern eingenommen [5] [9]. Die Applikation erfolgt bei Wasserfüllern überwiegend mit elektrostatischer Außenladung, aber auch zunehmend mit Robotern, die mit Hochrotationsglocken, so genannten Microbells, bestückt sind [13] [20] [21]. Nur die Lackierung der Einstiegsbereiche, Motor- und Kofferräume geschieht ebenso noch pneumatisch per Hand.

Derzeit erfolgt nach der Applikation und einer kurzen Ablüftzone direkt das Einbrennen bei etwa 20 min mit 130 °C – 160 °C. Vor dem abschließenden Aufbringen des Decklacks, durchlaufen die Karossen die Schleif- und unter Umständen eine Korrekturzone, sowie eine erneute Reinigung.

Die finale Decklacksschicht besteht heutzutage aus zwei Schichten, dem farbgebenden Basislack und dem farblosen Klarlack. Die steigende Kundennachfrage nach Metalliclackierungen verhalf in den 80er Jahren der Zweischichtlackierung zum Durchbruch, da mit diesem Verfahren die Effektlackierung am besten und beständigsten umzusetzen ist [22] [23]. Das Streben nach einheitlicher Produktionsfahrweise und damit Effizienz der Produktion sorgte dafür, dass die zweischichtige Applikation mit nur einem Einbrennofen, auch bei unifarbenen Karossen, im Einsatz ist.

In Europa dominieren, wie beim Füller, die wässrig formulierten und damit emissionsärmeren Basislacke, während sich vor allem in den USA lösungsmittelbasierte High-Solid-Basislacke durchsetzten, die allerdings einen höheren Anteil an flüchtigen organischen Bestandteilen aufweisen [5] [8] [13]. Beim angewendeten Verfahren erfolgt zunächst der Auftrag des Basislacks, der üblicherweise so zusammengesetzt ist, dass er schnell antrocknet, ehe der Klarlack appliziert wird [24]. Das Auftragen des Basislacks erfolgt zunächst an den Innenbereichen der Karosse. Anders als bei Uni-Basislacken, bei denen in der Regel eine Applikation genügt, sind bei Lacken mit Metallic- oder Farbfloppereffekten, die einen geringen Festkörpergehalt aufweisen, zwei Auftragungen des Basislacks nötig. Diese geschieht häufig zunächst elektrostatisch mit Hochrotationsglocken, die auch an Robotern montiert sein können, und anschließend pneumatisch. Die, auch automatisch mögliche, pneumatische Lackierung eignet sich vor allem bei der zweiten Auftragung, um eine optimale Ausrichtung der, für den Effekt verantwortlichen, Pigmente zu ermöglichen.

Anders als beim Basislack dominieren beim Klarlack auch in Europa konventionelle, lösungsmittelhaltige Lacke. Nur vereinzelt sind wässrige Lacke oder Pulverklarlacke bereits im Serieneinsatz [8] [13]. Ihre Entwicklung sowie die Forschung im Bereich der Vernetzung von Lack mittels UV-Strahlung sind vielseitig und viel versprechend im Hinblick auf die Reduzierung von Emissionen und einen niedrigeren Energieeinsatz [5] [25] [26] [27] [28] [29] [30]. Entsprechend dem Auftragsverfahren beim Basislack wird auch der flüssige Klarlack zunächst innen aufgetragen, wobei es auch Produktionsstraßen gibt, bei denen auf den Innenauftrag verzichtet wird. Anschließend erfolgt die Außenapplikation des Klarlacks mit Hochrotationsglocken. Diese sind heute zumeist an Maschinen montiert, jedoch finden auch hier Roboter zunehmend Anwendung, die flexibler den Konturen des Fahrzeugs folgen können. Bei der elektrostatischen Basislacklackierung ist neben der Aufladung mit Außenelektroden auch das Kartuschensystem, mit Direktaufladung, verbreitet [7] [21] [31] [32]. Um den Basislack vor Auftrag des Klarlacks anzutrocknen, läuft die Karosse in die Ablüftzone ein und wird bei 50 °C – 80 °C einige Minuten getrocknet. Dies sorgt dafür, den Einfluss des Klarlacks auf Farbgebung und Effekte möglichst gering zu halten [5] [7] [33].

Die heute eingesetzten lösungsmittelbasierten Klarlacke bestehen entweder aus einer oder aus zwei Komponenten, 1K bzw. 2K. Bei 2K-Klarlacken zerstäuben die Hochrotationsglocken mit Direktaufladung den erst kurz vor Applikation zusammengebrachten Lack. Der Klarlack kann aufgrund seines Lösemittelanteils direkt aufgeladen werden. Trotz höherer Kosten setzen ihn Automobilhersteller vor allem in Europa wegen erhöhter Chemikalienbeständigkeit und hervorragendem Erscheinungsbild ein [5] [7] [33].

Nach erneutem Ablüften gelangt die lackierte Karosse abschließend zum dritten Mal in den Einbrennofen, um beide Decklacksschichten bei 130 °C – 150 °C in etwa 15 - 30 min zu vernetzen. Bevor die fertig lackierten Karossen die Lackiererei verlassen, passieren sie eine Inspektionszone, in der kleinere Lackdefekte sofort ausgebessert werden, und gelangen bei stärkeren Defekten in den so genannten Spot-Repair-Bereich.

2.3 Prozessschritte in der Automobilserienlackierung nach integriertem- oder füllerlosen Prozess

Neben dem heute in den meisten Automobilserienlackieranlagen standardisierten 5a Prozess, werden in neuen Lackierereien Wege gesucht um den Energieverbrauch zu reduzieren. Im füllerlosen, oder integrierten Prozess wird versucht die bisher vom Füllerlack erfüllten Funktionen in den Basislack zu integrieren, sodass der Schritt des Füllerauftrages redundant wird [34] [35] [36] [37]. Hierbei wird der Füller zu einer Funktionsschicht die die Eigenschaften des Füller- und Basislackmaterials miteinander verbindet. Sie ist farblich auf das nachfolgende Basislackmaterial abgestimmt, welches nur noch einschichtig auf die nasse Funktionsschicht (auch beim Metallic-Effekt-Material) aufgetragen wird [38]. Abbildung 2-4 zeigt den prinzipiellen Lackaufbau des integrierten Prozesses. Wie zu sehen, ist die Gesamtschichtdicke 10 bis 20 µm geringer (vgl. Abbildung 2-1).

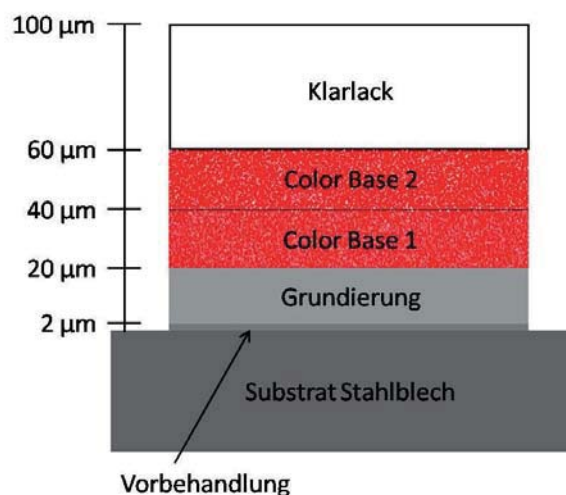


Abbildung 2-4 Lackaufbau nach Integriertem Prozess

Je nach Betrachtungsweise handelt es sich so um eine „füllerlose“ oder „Nass-in-nass-in-nass“-Lackierung. Damit entfällt bei der Füller-/Decklackapplikation eine von drei Spritzkabinen und der komplette Ofenbereich für die Füllertrocknung [35].

Die Abbildung 2-5 zeigt den Standard-Lackierprozess nach 5a, im Vergleich dazu ist in Abbildung 2-6 das Applikationsprinzip des Integrierten - oder füllerlosen Prozesses dargestellt.

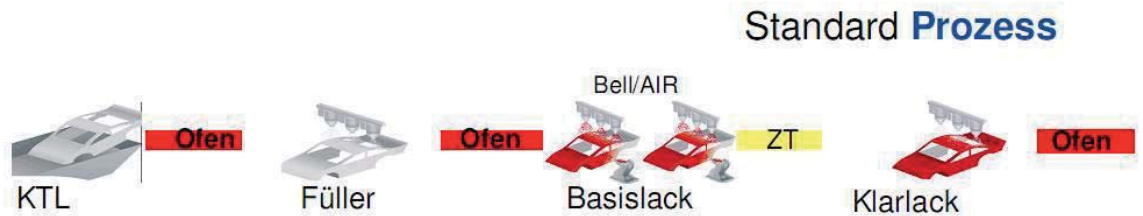


Abbildung 2-5 Standard Prozess nach [36]

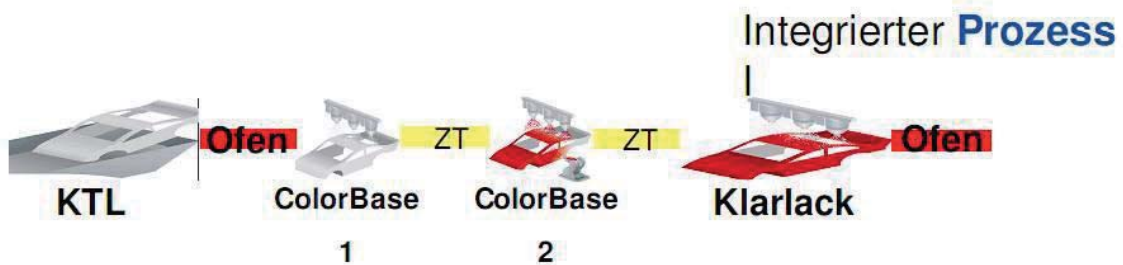


Abbildung 2-6 Integrierter Prozess nach [36]

Neben der Emissionsreduzierung hat dieser Prozess den Vorteil geringerer Anlageneinvestitions- und Betriebskosten durch den Entfall einer Lackierzone. Ein Nachteil ist die Tatsache, dass Fehler aus dem Rohbau und aus dem KTL-Prozess, die nach der KTL-Beschichtung nicht behoben werden, erst nach der Decklackierung bearbeitet werden können [38].

2.4 Prozessschritte in der Automobilserienlackierung nach dem Online-Mischfüllerprozess

In den letzten Jahren hat der Füller unter dem Blickwinkel des Deckvermögens der farbgebenden Decklacke eine besondere Aufmerksamkeit erlangt. So ist der Farbton des Füllers für eine gegebene Farbtonpalette der Decklacke von erheblicher Bedeutung für eine Minimierung der Schichtdicken der nachfolgenden Basislacke. Viele Automobilfirmen haben sich für das Konzept der „color keyed primer surfacer“ entschieden. Hierbei werden zwischen 3 und 7 Uni-Füllerfarben in die Spritzkabinen über Ringleitungen geliefert, die dann je nach Basislackfarbton appliziert werden, um höchstmögliche Farbtongleichheit bei möglichst geringer Schichtdicke der Basislacke zu erreichen [7]. Dieses Konzept hat aber den Nachteil, dass für jeden Füllerfarbton eine eigene Ringleitung zur Verfügung gestellt werden muss. Je mehr Füllerfarbtöne appliziert werden, desto genauer kann der Füller auf den nachfolgenden Basislackfarbton angepasst werden. Dadurch kann

die Schichtdicke des Basislackes reduziert, oder in den Öffnungsbereichen der Türen und Klappen vollkommen durch den Füllerfarbton ersetzt werden. Das Vorhalten möglichst vieler Füllerfarbtöne in Ringleitungen erweist sich im Bezug auf Investitionskosten und Wirtschaftlichkeit als nicht zielführend. In dieser Arbeit wird versucht, die Anzahl der Ringleitungen bei gleichzeitig bestmöglicher Farbtonanpassung des Füllers an den Basislack zu gewährleisten. Hierbei werden im Online-Mischfüllersystem beliebige Farbtöne in einer Mischvorrichtung aus Grundfarbtönen erzeugt. Der wesentliche Vorteil des Verfahrens liegt darin, dass man eine Vielzahl unterschiedlicher Farbmischttöne aufbringen kann, dabei aber mit einer wesentlich reduzierten Anzahl an Leitungen und Vorratsbehältern auskommt. Die Ringleitungen enthalten dabei nur Farbmittel in der Grundfarbe und müssen bei einem Farbwechsel nicht aufwendig gereinigt werden [39] [40]. Wie in Abbildung 2-7 zu sehen kann die Basislackschichtdicke um ca. 10 μm auf den Außenflächen reduziert werden. [41] [42] [43]

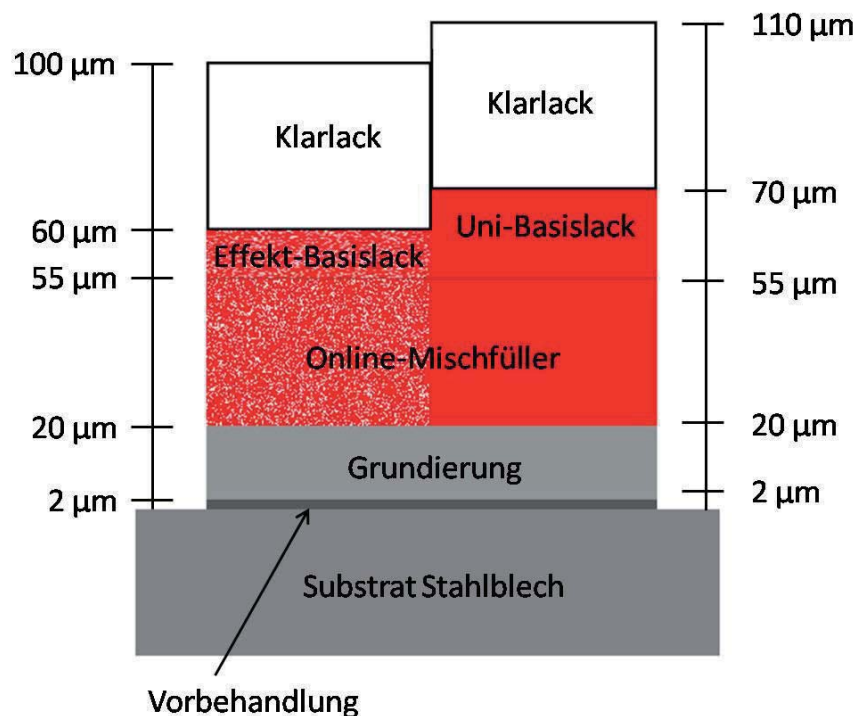


Abbildung 2-7 Lackaufbau nach Online-Mischfüller Prozess

3 Beschreibung der Vielfarbenanlage

Die im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Vielfarbenanlage besteht im wesentlichen aus 3 Komponenten, der Dosiereinheit mit den Membrandosierern und den jeweils dazugehörigen Hydraulikachsen, um die Lackkomponenten hochgenau zu dosieren, und dem sogenannten Sternmischkopf, um die Komponenten zu mischen. Da es sich um eine autarke Versuchsanlage handelt ist die dritte Komponente die Materialversorgung. Im Folgenden werden die wesentlichen Komponenten anhand von Prinzipskizzen und Bildern erläutert.

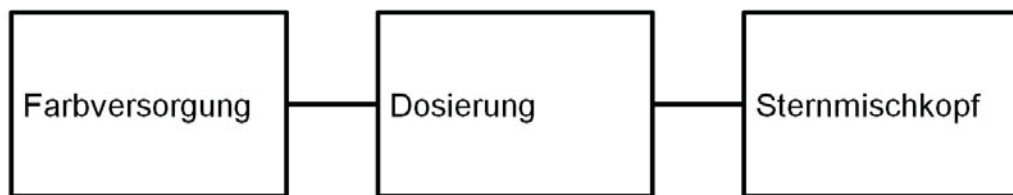


Abbildung 3-1 Prinzipskizze Vielfarbenanlage

3.1 Membrandosiertechnik

In den verschiedensten Gebieten der Technik ist es immer wieder erforderlich, ein fließfähiges Medium bzw. mehrere fließfähige Medien mittels Pumpen auch unter hohem Druck volumetrisch hochgenau zu dosieren. So beschreiben [44] [45] [46] Vorrichtungen und Verfahren zum entsprechenden Dosieren von fließfähigen Komponenten [47].

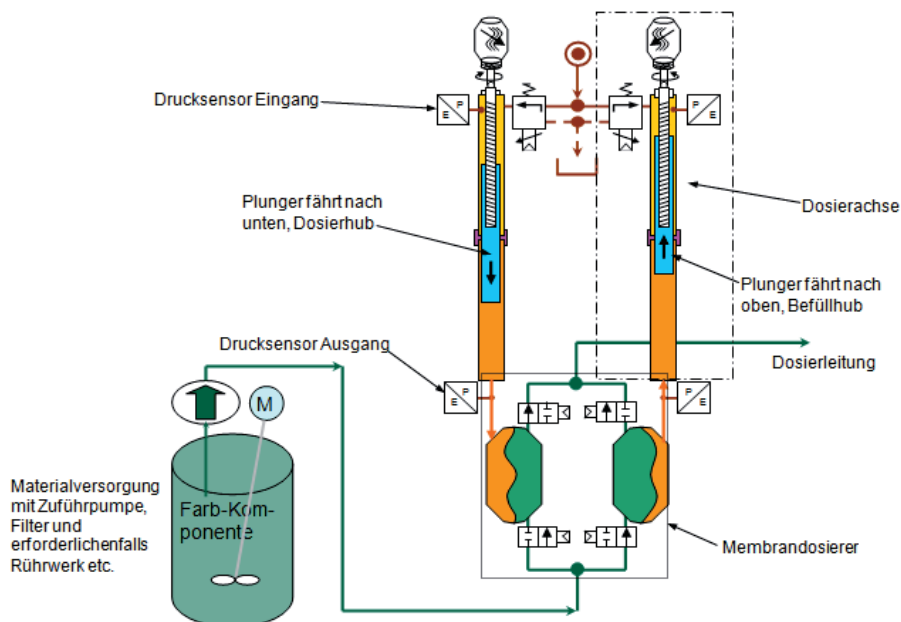


Abbildung 3-2 Detailprinzip Dosiertechnik nach Fa. Promera

Abbildung 3-2 zeigt das Prinzip der Membrandosiertechnik, bestehend aus einer Verdrängerpumpe mit einem Plungerkolben, der über einen Spindelantrieb

translatorisch verstellt wird. Diese Verdrängerpumpe kann durch die translatorische Bewegung des Kolbens exakte Volumina für die Membranpumpe liefern. Wird der Kolben der Verdrängerpumpe nach unten bewegt, so wird das Hydraulikmedium über eine Verbindungsleitung in die Membranpumpe gedrückt. Über eine Membran sind die beiden Flüssigkeitsräume getrennt. Ein auf der Hydraulikseite verdrängtes Volumen, verdrängt somit auf der Komponentenseite ein gleich großes Volumen des zu dosierenden Mediums. Um eine pulsationsfreie Förderung zu gewährleisten, ist jede Achse mit zwei Membrandosierern ausgestattet [47]. Während eine Achse befüllt, dosiert die zweite Achse das Medium in den Mischkopf (rechte Achse Abbildung 3-2). Ist eine Achse entleert, übernimmt die zweite befüllte Achse den Dosiervorgang.

Um die geforderte Farbenvielfalt zu erreichen, ist nicht nur eine Dosiereinheit eingebaut, sondern insgesamt 14 Doppelmembrandosierer in der Vielfarbenanlage. 8 Doppelmembrandosierer fördern die einzelnen Farben und 4 Doppelmembrandosierer die farblose Y-Komponenten. Die Y-Komponente besteht im wesentlichen aus Bindemitteln und Füllstoffen ohne farbgebende Pigmente. Diese Komponente wird den Kleinstmengen der Rezeptur vor dem eigentlichen Mischkopf zudosiert, um diese Menge künstlich zu vergrößern, da sich die künstlich vergrößerte Kleinstmenge besser im Sternmischkopf mit der größeren Farbmenge vermischen lässt. Die farblose Y-Komponente wird jeder Rezeptur mit einem Anteil von 10 % den anteiligen Kleinstmengen zudosiert.



Abbildung 3-3 Pumpentafel

Um die Membrandosierer möglichst nahe an dem Sternmischkopf zu installieren und die Anlage so kompakt wie möglich zu gestalten sind die Membrandosierer in eine Pumpentafel eingebaut. Abbildung 3-3 zeigt diese Pumpentafel mit dem Hydraulikschrank, in welchem sich die hydraulischen Verdrängerpumpen befinden.

3.2 Sternmischkopf

Der Sternmischkopf mischt die von den Membrandosierern im richtigen Verhältnis dosierten Komponenten homogen zusammen. Um aus mehreren Grundtönen von Farben die fertigen Farbtöne zu erstellen, ist es erforderlich, die Grundtöne miteinander im richtigen Verhältnis zu vermengen. Hierbei sind vier generelle Probleme zu lösen. Zum Ersten muss eine sehr gute Dosiergenauigkeit für jede Farbkomponente zu jedem Zeitpunkt gewährleistet sein. Zum Zweiten müssen die benötigten Grundtöne zu genau definierten Zeitpunkten oder auch zeitgleich in die Mischkammer fließen. Zum Dritten müssen auch kleinste Beimengungen von z. B. unter 1 % Volumenanteil homogen in der Gesamtmenge vorvermischt werden. Als Letztes muss gewährleistet werden, dass nicht benötigte Farbkomponenten nicht ungewollt mit in den Mischkopf gelangen [48]. Die Abbildung 3-5 (Mischphase) und Abbildung 3-4 (Rezirkulationsphase) stellen das Farbmischkonzept mit der Komponentendosierung und dem Mischer symbolisch dar.

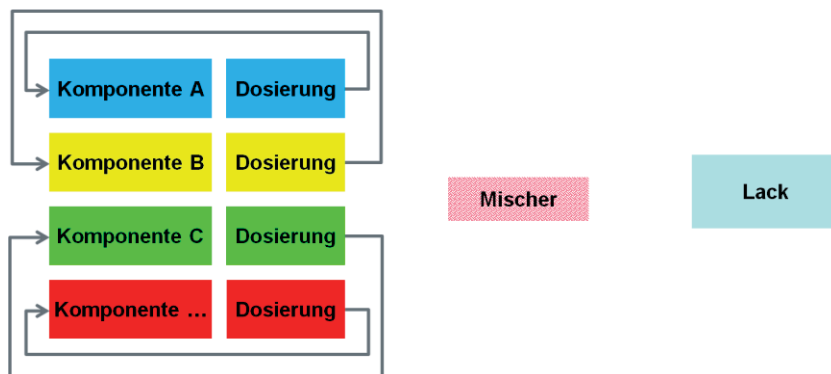


Abbildung 3-4 Farbmischkonzept Rezirkulationsphase

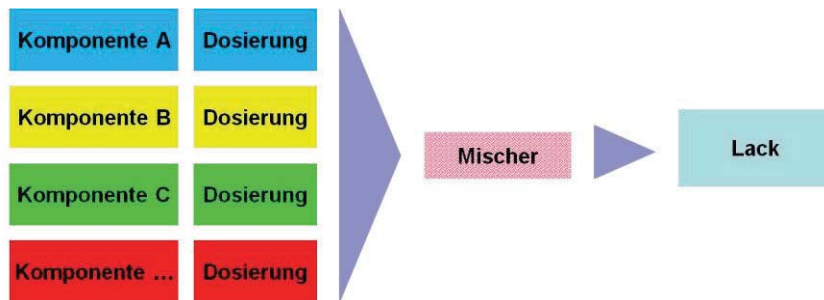


Abbildung 3-5 Farbmischkonzept Mischphase

Die hohe Dosiergenauigkeit wird durch die Membrandosiertechnik sichergestellt. Der Sternmischkopf zeichnet sich dadurch aus, dass in der Rezirkulationsphase ein Einregeln der für die nachfolgende Mischung erforderlichen Komponentendrucke und Volumenströme möglich ist. Hierdurch wird vermieden, dass sich nach dem Öffnen der Nadelventile die erforderlichen Drücke und Volumenströme erst einpegeln bzw. einstellen müssen. Somit wird sofort nach dem Öffnen der Nadelventile das geforderte Mischverhältnis von der Vorrichtung ausgegeben und die benötigten Grundkomponenten können zeitgenau oder auch zeitgleich in die Mischkammer fließen. Da sich die Differenzdrücke durch die Viskosität, Querschnitte, Fließmengen, Rheologie (Fließverhalten), Pigmente, Temperatur, etc. der Einzelkomponenten ändern, ist die Berechnung der benötigten Drücke äußerst

komplex. Werden nun die jeweiligen erforderlichen "Einfließdrücke" in die Mischkammer nicht in der Rezirkulationsphase eingeregelt bzw. eingestellt, sind beim Start des Mischvorganges die Farbwerte mindestens so lange nicht konstant, bis sich Druck und Fluß jeder Einzelkomponente stabilisiert haben. Außerdem sind dann gerade nach einer solchen Startphase die Wandungen der gemeinsamen Gemischstrecke mit nicht korrektem Farbton benetzt, so dass es zur Verschleppung von einem "falschen" Farbton über eine länger Zeit kommt. Durch Messen des Drucks in der Zuführleitung zwischen Fördereinrichtung und Rezirkulationsventil, welches als 3/2-Wegeventil ausgebildet ist, kann der Druck mittels der Druckregleinrichtung in Form eines Dosierventils bzw. proportionalem Druckregelventil bei dem für die Mischung erforderlichen Volumenstrom, welcher von der jeweiligen Fördereinrichtung erbracht wird, eingeregelt werden. Die benötigten Komponenten bzw. Grundtöne können somit in ihrem richtigen Mengenverhältnis zeitsynchron oder zu vorgegebenen Zeiten in die Mischkammer eingebracht und dort sofort mittels eines dynamischem Mischers vermischt werden. Somit haben auch Kleinstmengen keine Möglichkeit, sich irgendwo an der Mischkammerwandung abzusetzen. Damit eine hohe Dosiergenauigkeit erreicht wird, sind im Mischkopf selbst Nadelventile angeordnet, wobei die Ventilsitze der Nadelventile unmittelbar vor der Einlaßöffnung in die Mischkammer angeordnet sind, so dass nach dem Verschließen eines Nadelventils die Komponente nicht durch Verschleppen in die Mischkammer gezogen werden kann. Der Zuführkanal wird somit vorteilhaft direkt an der Auslaßöffnung zur Mischkammer mittels der Nadel des Nadelventils verschlossen. Durch die entsprechende Dichtung an der Nadelspitze ist eine absolute Dichtheit gewährleistet. Damit jede Komponente bei Bedarf ohne Zeitverzögerung mit eingestelltem Volumenstrom in die Mischkammer gefördert werden kann, befindet sich jede Komponente in Rezirkulation, solange das zugehörige Nadelsitzventil verschlossen ist [48].

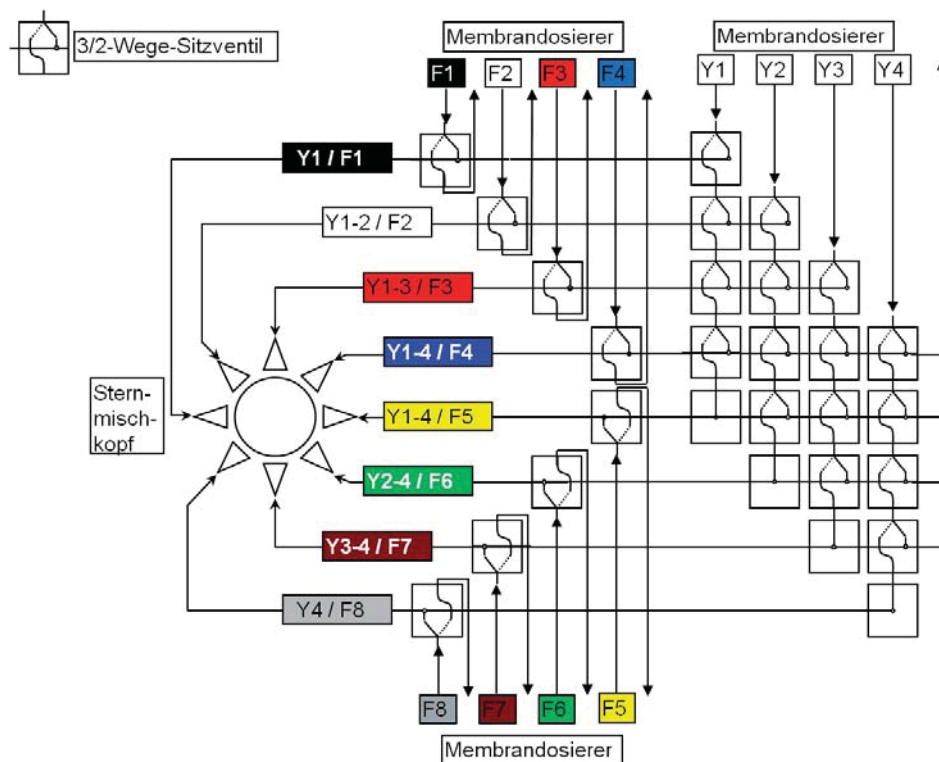


Abbildung 3-6 Technikkonzept Sternmischkopf

Die Einzelkomponenten sind als F1 bis F8 dargestellt. Die Y-Komponente wird über eine Komponentenmatrix mittels 3/2 Wege-Sitzventilen jeder beliebigen Farbe noch vor der Mischkammer beigemengt, um diese Kleinstmenge zu vergrößern.

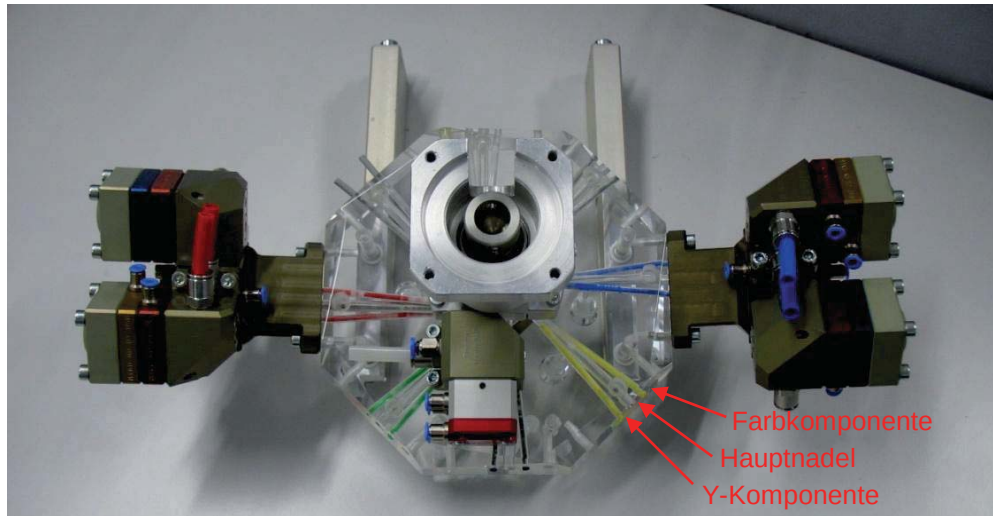


Abbildung 3-7 Sternmischkopf aus Plexiglas

Wie in Abbildung 3-7 zu sehen, besteht jeder der 8 Farbstränge aus drei Kanälen. In der Mittelbohrung ist die Hauptnadel, im Kanal links neben der Bohrung befindet sich die Y-Komponente und rechts die Farbkomponente. In der Rezirkulationsphase ist die Hauptnadel und das Farbventil geschlossen. In der Dosierphase ist das Farbventil und die Hauptnadel geöffnet, die Farbe wird gemischt und ausgetragen. Um die Farbe homogen zu mischen, wird der Mischflügel mit 2500 U/min betrieben. Die Y-Komponente wird vor der Mischkammer den in der Rezeptur definierten Kleinstmenge zugeführt. [42][41]



Abbildung 3-8 Sternmischkopf in der Vielfarbenanlage [49]