



# IMC-PUR-Sprühtechnologie

## Ein innovatives Werkstoff- und Verfahrenskonzept

Das Fahrzeug ist nicht mehr nur ein Gebrauchsgegenstand, sondern Teil des heutigen Lebensraumes. Die Ansprüche an den eigenen Wohnraum werden auf den Fahrzeuginnenraum übertragen. Dabei sind die Ansprüche hinsichtlich Interieur-Anmutung in den vergangenen Jahren immens gestiegen. Stand ursprünglich der funktionelle Charakter von Kunststoffen im Vordergrund, werden jetzt Atmosphäre und Wertigkeit priorisiert. Das Lebensgefühl wird durch hohe Standards in Bezug auf diese Kriterien unterstrichen. Diese Gründe veranlassen BMW zu Neuentwicklungen in diesem Bereich, wie sie die IMC-PUR-Sprühtechnologie darstellt.

## 1 Einleitung

Eine hohe Wertigkeit für Cockpitoberflächen aus Kunststoff kann insbesondere mit Technologien erzielt werden, bei denen der Oberflächenwerkstoff als Formhaut durch urformende Verfahren hergestellt wird. Urformend heißt, dass sich ein fließfähiger Kunststoff im Formwerkzeug nach Abkühlung verfestigt oder reaktiv vernetzt. Diese Technologien ermöglichen eine detailgetreue Darstellung von Narbungen und Glanzgraden, insbesondere in geometrisch kritischen Bereichen wie Formteilkanten und -ecken sowie geometrisch komplexen Flächenwechsellern.

Der Anteil der Kunststoffoberflächen im Interieur ist über die letzten Jahre zudem kontinuierlich gestiegen, **Bild 1**. Dabei liegt der größte Teil im direkten Sicht- und Ergonomiebereich der Insassen. Dies bedingt speziell im Premiumbereich höchste Anforderungen an die Oberflächenqualität. Um die Wertigkeit zu steigern, spielen vor allem folgende Aspekte eine große Rolle. Optik: Geometrie, Oberflächenstruktur und Materialmix. Haptik: Druckhaptik und Berührhaptik.

## 2 Formhäute und Verfahren bei BMW

### 2.1 PUR-Sprühhaut

Bei der Sprühhautherstellung wird durchpigmentiertes, aliphatisches PUR in das offene, temperierte Galvanowerkzeug gesprüht, **Bild 2**. Dieser Eintrag erfolgt über die so genannte Sprühdüse, die an einem Mischkopf montiert ist und durch ihre konstruktive Auslegung entscheidenden Einfluss auf die Gestaltung des Sprühkegels hat. Die gesamte Einheit – bestehend aus Mischkopf, Lanze und Sprühdüse – wird an einen Roboter adaptiert, der einer abgestimmten Eintragsbahn über dem Galvanowerkzeug folgt. Es entsteht eine Sprühhautoberfläche ohne notwendiges Gegenwerkzeug. Die Vorteile der Sprühtechnologie sind:

- einteiliges Galvanowerkzeug ohne notwendiges Gegenwerkzeug
- Einsichtssystem ohne Kombination mit anderen Verfahren
- großer Erfahrungsschatz
- Integrationsmöglichkeit von zusätzlichen Bauteilen im Sprühprozess

- lange Werkzeugstandzeit durch geringe Temperaturbelastung.

Die Grenzen der Sprühtechnologie sind nach heutigem Stand der Technik:

- relativ hohe Materialkosten aufgrund durchpigmentierter teurer Aliphaten
- Mehrfarbigkeit nur aufwändig darstellbar
- Materialmodifikationen aufwändig (Optik, Haptik, Technik), da komplettes System betroffen
- Darstellung der gewünschten trockenen Berührhaptik.

### 2.2 Powder-Slush-Haut

Das Powder-Slush-Verfahren, **Bild 3**, ist ein druckloses, thermisches Sinterverfahren. Sintern bedeutet, die Herstellung einer Formhaut, ohne die Flüssigphase zu durchlaufen; es handelt sich somit um eine reine Festkörperreaktion.

## Die Autoren



Dipl.-Ing. Hans Rau ist Leiter Verfahrensentwicklung in der Abteilung Technologie Interieur bei BMW in Landshut.



Dipl.-Ing. Karl-Heinz Stump ist Leiter Oberflächenwerkstoffe in der Abteilung Kunststoffentwicklung und Verfahrenstechnik bei BMW in München.



**Bild 1:** Historie der Materialschwerpunkte im Automobilinterieur



**Bild 2:** PUR-Sprühhautprozess [1]

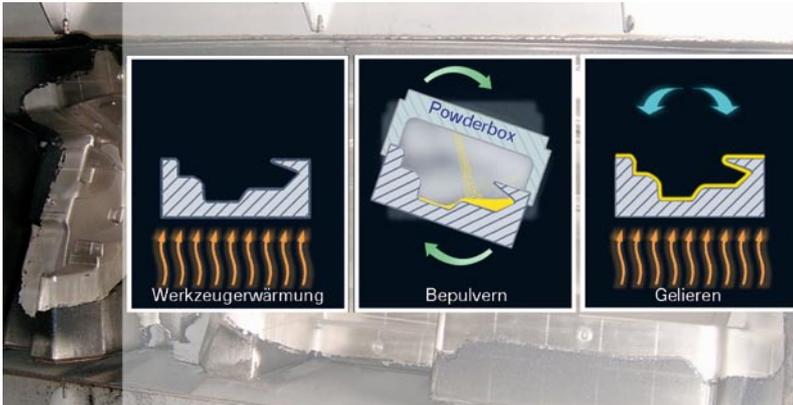


Bild 3: Prinzipablauf des Slush-Prozesses

Der Eintrag des Pulvers (zum Beispiel PVC oder TPU) erfolgt durch die Ankopplung der so genannten Pulverkiste an ein beheiztes Galvanowerkzeug. Während der anschließenden Rotationsbewegung wird das Pulver in einen Rieselvorgang über die abzubildende Kontur versetzt. Hierbei verteilt es sich gleichmäßig und sintert an der Kontaktstelle zur heißen Galvanowerkzeug-Innenseite. Durch das gleichmäßige Wärmepotenzial im Galvano wird eine Slushhaut mit homogener Hautdicke über der gesamten Bauteilgeometrie ausgebildet. Ein nachgeschalteter Gelierprozess bildet dann noch die glatte Rückseite der Formhaut aus. Die Vorteile der Powder-Slush-Technologie sind:

- einteiliges Galvanowerkzeug ohne notwendiges Gegenwerkzeug
- sehr homogene Hautdickenverteilung im gesamten Geometriebereich aufgrund des Sintervorganges
- große Geometriefreiheit.

Die Grenzen der Powder-Slush-Technologie bestehen nach heutigem Stand der Technik zu folgenden Punkten:

- Mehrfarbigkeit nur aufwändig darstellbar
- hoher Energieaufwand notwendig
- Werkzeugverschleiß (Aufheizen, Abkühlen)
- Materialmodifikationen aufwändig (Optik, Haptik, Technik), da komplettes System betroffen.

### 2.3 IMC-PVC-Slushhaut

Die IMC-Slush-Technologie baut auf der Grundlage des Powder-Slush-Verfahrens auf. Diese Technologie ermöglicht die Herstellung hochwertiger Oberflächen mit großer Designfreiheit. Dem eigent-

lichen Slushen wird ein Lackierprozess vorangestellt, welcher eine farbgebende und Haptikeigenschaften bestimmende Deckschicht bildet. In den darauf folgenden Prozessschritten entsteht die eigentliche Formhaut. Die geforderten Freiheitsgrade der Oberflächen- und Substrateigenschaften können mit der Materialkombination eines High-Solid-Lackes auf PUR-Basis und eines thermoplastischen Polyvinylchlorids als Substrat am besten dargestellt werden.

Das IMC-Slush-Verfahren ist ein druckloses, thermisches Pulversinterverfahren mit vorangestellter Werkzeuglackierung, Bild 4. In einem ersten Schritt wird mit einer Sprüheinrichtung der IMC-Lack in das galvanisch hergestellte Nickelwerk-

zeug eingebracht. Der hohe geometrische Freiheitsgrad der Powder-Slush-Technologie soll durch die Lackapplikation möglichst nicht eingeschränkt werden. Deshalb ist eine der wesentlichen Anforderungen an die Sprüheinrichtung, dass alle Bereiche der Werkzeuginnenseite, das heißt auch enge und tiefe Querschnitte und Hinterschnitte, deckend lackiert werden müssen. Neben einer optimierten Bauform der Lackiervorrichtung erfordert dies besondere Maßnahmen für die Lackzerstäubung. So können verschiedene Lackierapplikationen verwendet werden, zum Beispiel die klassische Luftzerstäubung, Airless- und Airmix-Technologien oder Lackierungen mit elektrostatischer Aufladung. Für die direkt zugänglichen Flächenbereiche setzt man große Austragsmengen und nebelarmes Zerstäuben ein. Für enge, tiefe Querschnitte sowie Hinterschnitte kleine Austragsmengen. Hier kommt eine speziell entwickelte Sprühpistole zum Einsatz, die mit Steuer-, Horn- und Zerstäuberluft arbeitet. Somit können auch enge und tiefe Hinterschnitte prozesssicher lackiert werden.

Die Vorteile des IMC-PVC-Slush-Verfahrens lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- einteiliges Galvanowerkzeug ohne notwendiges Gegenwerkzeug
- sehr homogene Hautdickenverteilung im gesamten Geometriebereich aufgrund des Sintervorganges



Bild 4: Verfahrensablauf der IMC-Slush-Technologie



Bild 5: Oberflächenrelevante Anforderungen an das Automobilinterieur

Kriterien	IMC-PVC-Slush	PUR-Sprühen	IMC-PUR-Sprühen
Mehrfarbigkeit	++	+	++
Optik, Narbe	+	0	+
Airbagfunktion	0	+	+
Berührhaptik	++	+	++
Druckhaptik	+	0	++
Kosten	+	0	+

Bild 6: Oberflächenformhüte im Vergleich

- optimale Berührhaptik
  - große Änderungsflexibilität.
- Die Grenzen des IMC-PVC-Slush-Verfahrens zeigen sich in folgenden Punkten:
- komplexer Prozess
  - weniger Geometriefreiheit gegenüber dem Slush-Prozess.

### 3 Neuentwicklung von Formhautoberflächen

#### 3.1 Entwicklungsaspekte

Im Vorfeld der Entwicklung wurden folgende Ziele für die Einführung einer neuen Oberfläche definiert:

- Entwicklung eines In-Mold-Coating(IMC)-Verfahrens unter Einsatz eines aliphatischen Lacks zur Erreichung höchster Oberflächenqualität
- Auf beziehungsweise Ausbau der In-

house-Kompetenz hinsichtlich Oberflächen und Formhüten

- Differenzierung zum Wettbewerb (die Oberfläche des Cockpits prägt entscheidend den Wertigkeitseindruck dieses Bauteils)
- Einsatz des PUR-Sprühverfahrens wegen langer Werkzeuglebenszeit und einfacher Werkzeugtechnik
- Entwicklung eines optimalen PUR-Sprühkopfes.

#### 3.2 Kundenrelevante Aspekte

Damit die BMW Group bei der Entwicklung hochwertiger Innenraumoberflächen den Kundenansprüchen auch weiterhin Rechnung tragen kann, war es im ersten Schritt notwendig, die Kundenwahrnehmung näher zu definieren:

- Gebrauchstauglichkeit über die Fahrzeuglebenszeit, zum Beispiel höchste

Beständigkeit gegen Verfärbung, Verkratzen und Verschmutzen.

- Einhaltung beziehungsweise Übertreffen technischer und gesetzlicher Vorschriften. Die Erfüllung dieser Faktoren wird vom Kunden im Premiumbereich als selbstverständlich vorausgesetzt.
- Optik und Haptik. Differenzierungsmöglichkeiten sind über diese Parameter möglich, also die Eigenschaften, die für die empfundene Wertigkeit und Wirkung verantwortlich sind.

#### 3.2.1 Optik

Die Optik und somit die Darstellung hochwertiger Oberflächen über aufwändige Narbentechniken hat nach unserer Einschätzung Grenzen erreicht. Narbungen sind bezogen auf die Qualität der technischen Umsetzbarkeit nicht mehr deutlich zu optimieren. Bezüglich der Gleichmäßigkeit des Zwei-Glanz-Effekts bestand jedoch noch Optimierungspotenzial.

#### 3.2.2 Haptik

Unter Druckhaptik versteht man die empfundene Weichheit beim Drücken auf das Bauteil. Messbar ist die Druckhaptik über einen Druckversuch mit Aufzeichnung des Kraft-Weg-Verlaufs. Unter Berührhaptik verstehen wir das beim Überstreichen der Oberfläche in den Fingerkuppen wahrgenommene Gefühl. Beides zusammen ergibt die haptische Anmutung, die ein Mensch beim Fühlen empfindet, Bild 5. Weitere Einflüsse wie zum Beispiel Wärmeleitfähigkeit seien hier nur erwähnt.

### 4 Lösungsidee

Um eine stimmige Gesamtlösung zu erzielen, ist es notwendig, ein System zu entwickeln, das die Freiheitsgrade aller vorher genannter Aspekte so weit wie möglich offen hält. So ist es möglich, die durch die Optik geweckten Erwartungen auch haptisch zu erfüllen und die entsprechende Wertigkeit und Wirkung bei gleichzeitiger Erfüllung der mechanisch-physikalischen Anforderungen zu erzielen. Das Ziel der Neuentwicklung ist, für die Summe aller Anforderungen eine optimale Lösung zu finden. Die in Bild 6 dargestellten Kriterien lassen sich in

Oberflächen- und Substrateigenschaften aufteilen, **Tabelle**.

Eine Entkopplung dieser Eigenschaften bieten nur die IMC-Verfahren. Diesen Vorteil galt es zu nutzen, um gezielt und unabhängig einzelne Parameter modifizieren zu können. Diese Aufstellung zeigt, dass es sinnvoll ist, einerseits eine Schicht zu entwickeln, die alle kundenspezifischen Eigenschaften wie Berührhaptik, Oberflächeneffekte und Farbgestaltung transportiert. Andererseits soll eine Trägerschicht gestaltet werden, die sowohl die anwendungsspezifischen als auch die mechanisch-physikalischen Eigenschaften übernimmt. Beide Schichten müssen eine untrennbare und harmonische Einheit bilden. Bei der Deckschicht handelt es sich um eine aliphatische Lackschicht auf PUR-Basis, welche alle oberflächenrelevanten Themen abdeckt.

Beim Verarbeitungsverfahren der Substratschicht haben wir uns auf den PUR-Sprühprozess festgelegt. Grund dafür sind die höheren Freiheitsgrade bei der Realisierung komplexer Geometrien (zum Beispiel im Vergleich zu der IMC-PUR-Gießhaut) sowie die lange Werkzeuglebenszeit durch die gleichmäßige Temperierung. Die PUR-Chemie bietet zudem ein breites Spektrum an Modifikationsmöglichkeiten. Die im IMC-PUR-Sprühprozess hergestellten Bauteile erfüllen alle oben genannten Anforderungen. Besonders hervorzuheben sind hierbei folgende Eigenschaften:

- das breite Verwendungstemperaturspektrum auch im Tieftemperaturbereich (bis -50 °C)
- die günstigen Materialkosten durch den Einsatz eines aromatischen PUR-Systems
- die Weichheit für eine gute Druckhaptik-Darstellung
- die gute Oberflächenqualität.

**5 IMC-PUR-Sprühhaut**

Im Folgenden werden die eingesetzten Werkstoffe sowie die Verfahrensbeschreibung zur Herstellung der IMC-PUR-Sprühhaut genauer erklärt.

**5.1 Eingesetzte Werkstoffe**

**5.1.1 IMC-Lack**

Aufgrund des komplexen Anforderungsprofils von IMC-Lacken spielen physika-

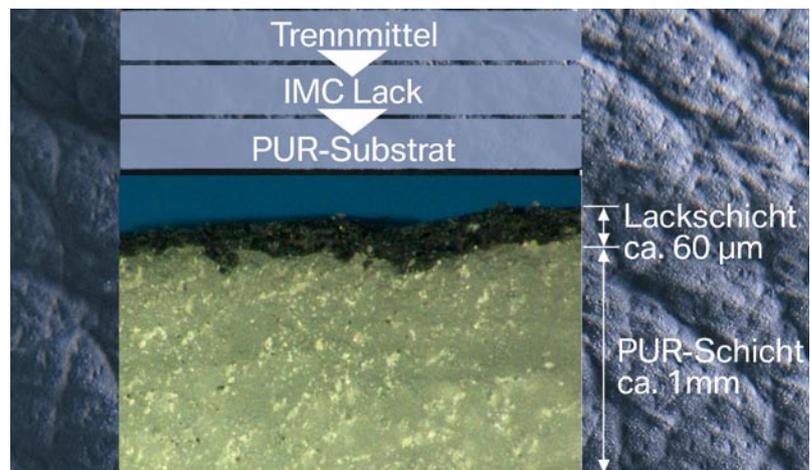
**Tabelle:** Kriterien des Automobilinterieurs

Oberflächeneigenschaften	Substrateigenschaften
Berührhaptik	Druckhaptik
Narbwiedergabe (Optik)	Designfreiheit
Oberflächenbeständigkeit	mechanisch-physikalische Eigenschaften
Mehrfarbigkeit	Anwendungsflexibilität
Farbflexibilität	
Alterungsbeständigkeit	

lisch trocknende Systeme nur eine untergeordnete Rolle. Erst durch die gezielte chemische Vernetzung gelingt es, die hohen Anforderungen bezüglich chemischer Beständigkeit (gegen Reinigungsmittel sowie Betriebs- und Hilfsstoffe), Alterung, Abrieb und Kratzempfindlichkeit zu erfüllen. Wegen ihrer in allen diesen Anforderungen unerreichten Variabilität sind für dieses Einsatzgebiet PUR-Lacksysteme unabdingbar. Die breiteste Vielfalt und eine unkomplizierte Verarbeitung bieten die klassischen lösemittelbasierenden Systeme. Sie besitzen bei günstigsten Materialkosten ein ausgewogenes Leistungsprofil über das gesamte Spektrum an Substraten. Die hohen Anforderungen bezüglich Emissionen erlauben deren Einsatz im Fahrzeuginnenraum jedoch nicht mehr. Im Bereich des Interieurs werden deshalb lösemittelarme (High-Solids beziehungsweise wasserverdünnbare) Lacke eingesetzt. Beim IMC-Prozess stellen wässrige Systeme eine besondere Herausforderung dar.

Wässrige Dispersionen benötigen wegen der hohen Verdampfungswärme von Wasser mehr Energie zum physikalischen Trocknen als lösungsmittelbasierte Systeme. Eine weitere Schwierigkeit stellt die Hautbildung von Dispersionen dar, die ein Verdunsten des Wassers aus dem Inneren erschwert.

Für die IMC-PUR-Sprühhaut haben wir gemeinsam mit der Firma Stahl zwei Systeme entwickelt, die beide den Anforderungen genügen: ein Drei-Komponenten-System mit Stammlack, Härter auf Carbodiimid-Basis und Wasser. Dieses System vernetzt trifunktional, erfüllt alle heutigen Anforderungen und überzeugt durch hervorragende Oberflächeneigenschaften. Ein Zwei-Komponenten-System mit Stammlack und Härter auf Carbodiimid-Basis. Dieses System vernetzt bifunktional, erfüllt ebenfalls die Anforderungen, hat jedoch zusätzlich noch geringere Emissionswerte und ist somit auch für zukünftig steigende Emissionsanforderungen geeignet. Deshalb



**Bild 7:** Schematische Darstellung des IMC-PUR-Sprühverfahrens, Schichtaufbau der IMC-PUR-Sprühhaut

und aufgrund der einfacheren Anlagen- und Verfahrenstechnik des Zwei-Komponenten-Systems werden wir dieses in Serie einsetzen [2].

### 5.1.2 PUR-Substrat

Zum Einsatz kommen ein Polyetherpolyol und ein aromatisches Diisocyanat der Firma Elastogran. Eine der Herausforderungen in der Entwicklungsphase war die Balance bei der Verarbeitung zwischen Reaktivität und Fließverhalten des Polyurethans. Ohne geeignete Katalysatoren würde eine akzeptable Entformzeit nicht zu erreichen sein. Durch die Beschleunigung der Urethanreaktion wird aber häufig ein schneller Viskositätsanstieg des reagierenden Materials erreicht. Bei zu schnellem Viskositätsanstieg ist die Darstellung komplizierter Geometrien nicht mehr möglich, da wegen des schlechteren Fließverhaltens des Reaktionsgemisches bestimmte Bereiche der Form nicht mehr vollständig benetzt werden können. Durch die Auswahl geeigneter Katalysatoren konnte ein Reaktionsprofil erreicht werden, welches für die vorliegende Geometrie geeignet ist.

Weiterhin gefährden zu schnelle Systeme die Produktionssicherheit, insbesondere bei langen Schüssen. Eine automatische Reinigung des Mischkopfs ist bei zu schnell aushärtenden Polyurethanen nicht gewährleistet. Zusätzlich zur Festlegung der richtigen Katalysatoreinstellung für Geometrie und Fließverhalten ist deshalb auch die Berücksichtigung der verfahrenstechnischen Parameter notwendig

Gemäß Designvorgabe sollte eine möglichst weiche Oberfläche der Instrumententafel erreicht werden. Bei weichen Elastomeren ist im Vergleich zu härteren Varianten häufig ein starker Anstieg der Dehnung in Verbindung mit einem Abfall von Zug- und Weiterreißfestigkeit zu erkennen. Dadurch kann es insbesondere bei der Hautentnahme und dem Airbagschuss zu Problemen kommen. Weiche Sprühhautmaterialien neigen zudem zur „Klebrigkeit“, was einerseits die Entformung und andererseits die anschließende Lagerung der Häute erschweren kann. Mit dem über viele Entwicklungs- und Optimierungsschleifen entwickelten Werkstoff konnten alle diese Eigenschaften ausreichend erfüllt werden [3].

### 5.2 Verfahrensbeschreibung

Die IMC-PUR-Sprühtechnologie baut auf der Grundlage des PUR-Sprühens auf. Dieses Verfahren wird seit vielen Jahren für die Herstellung von Instrumententafeloberflächen eingesetzt. Beim IMC-PUR-Verfahren, **Bild 7**, wird dem Sprühen ein Lackierprozess vorangestellt, der eine farbgebende und Haptikeigenschaften bestimmende Deckschicht bildet.

Weil die meisten PUR-basierten Lacke eine sehr gute Haftung zu der Nickeloberfläche der Galvanowerkzeuge erreichen, startet der Prozessablauf mit der Applikation von leistungsfähigen Trennmitteln. Diese sind erforderlich, um die Entformungsprozesse der hergestellten Formhäute prozesssicher gestalten zu können, indem sie die Oberflächenspannung der Werkzeugoberfläche entsprechend absenken. Als dritte und letzte Schicht wird ein

aromatisches Polyurethan gesprüht, das durch gute mechanische Eigenschaften (Elastizität und Weiterreißwiderstand) gekennzeichnet ist und preisgünstiger ist als aliphatische PUR-Systeme.

### 5.2.1 Applikation des Trennmittels

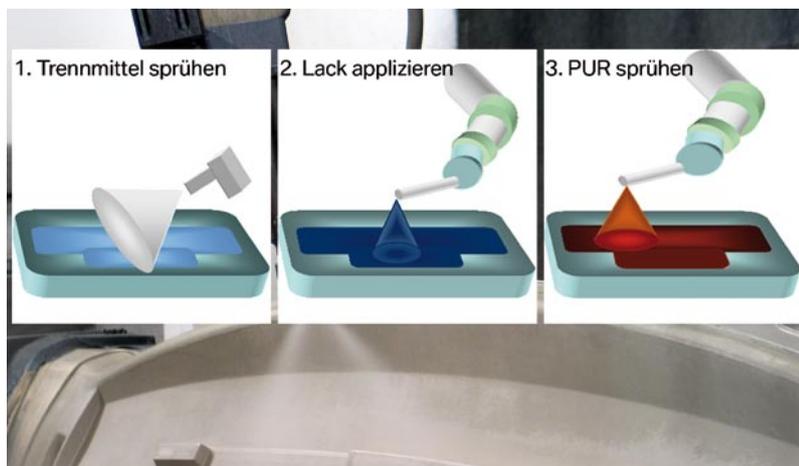
Um die hergestellte Formhaut aus dem Galvanowerkzeug entformen zu können, muss als erster Prozessschritt ein Trennmittel eingetragen werden, **Bild 8**. Hierbei handelt es sich um wässrige, silikonhaltige Trennmittel, die mittels handelsüblicher Sprühpistolen mit elektrostatischer Aufladung appliziert werden. Im Wesentlichen müssen die eingesetzten Trennmittel folgende Aufgaben erfüllen:

- gute Trennwirkung (Entformung einer komplexen Hautgeometrie ohne hohen Kraftaufwand)
- kein Aufglänzen der Oberfläche durch ungewollte Wechselwirkungen mit der Lackschicht
- gute und einfache Dispergierung (durch Aufrühren vor der Befüllung zu gewährleisten)
- keine zu schnelle Verschmutzung der Galvanowerkzeuge (eingesetzte Materialien dürfen nicht aufbauend wirken)
- haptikneutrale Wirkung auf die Hautoberfläche muss gewährleistet sein (keine Flecken oder sonstige Oberflächeninhomogenitäten).

### 5.2.2 Applikation der aliphatischen Lackschicht (In-Mold-Coating)

Nach der Trocknung des Trennmittels wird in die offene, beheizte Galvanoform der aliphatische Lack mittels robotergeführter Sprühpistolen aufgebracht. Der Lackierprozess muss dabei folgende Kriterien erfüllen: homogene, fehlerfreie Lackschicht, minimaler Lackverbrauch, minimale Applikationszeit, schnelle Lacktrocknung und einfarbige sowie mehrfarbige Häute in unregelmäßiger Abfolge.

Aufgrund der geometrischen Komplexität des herzustellenden Produktes kommt eine gemeinsam mit der Firma b&m entwickelte Doppelpistole zum Einsatz: Bei der IMC-Lackierung von komplexen Geometrien können einige Bereiche von herkömmlichen Lackierpistolen nicht erreicht werden. Für diese schwer zugänglichen Stellen mussten miniaturisierte Zerstäuberdüsen entwickelt werden, die über eine stabförmige Lanze ge-



**Bild 8:** Prozessablauf zur Herstellung einer IMC-PUR-Sprühhaut



Bild 9: Sichtbare Trennnut an der Instrumententafel des BMW 5er

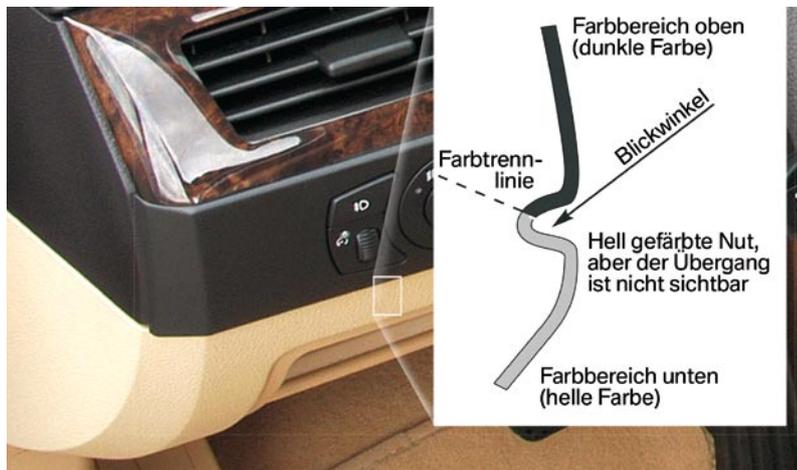


Bild 10: Schematische Ansicht einer Trennnut mit unsichtbarem Farbübergang [4]

ringe Lackmengen aus kurzem Abstand prozesssicher applizieren können.

Kombiniert man diese so genannte „Fingerpistole“ mit einer klassischen Pistole für großflächigen Lackauftrag, dann können alle Bereiche der Galvanoform ohne zusätzlichen Pistolenwechsel beschichtet werden. Neben einer optimierten Bauform der Lackiereinrichtung ist auch die Lackzerstäubung wichtig. Für die direkt zugänglichen Flächenbereiche setzt man große Austragsmengen und nebelarmes Zerstäuben ein, während für enge, tiefe Querschnitte sowie Hinterschnitte kleinere Austragsmengen zum Einsatz kommen.

Um die schnelle Trocknung und die geforderte Schichtdickenkonstanz bei minimalem Verbrauch und Zeitbedarf gewährleisten zu können, wird in mehreren dünnen Schichten mit hohen Vorschubge-

schwindigkeiten lackiert. Zusätzlich müssen mehrere Farben und der Maskiervorgang im Programm berücksichtigt werden. Diese Vorgaben stellen hohe Ansprüche an den Roboterprogrammierer. Hier hat sich eine modulare Programmstruktur bewährt, bei der die einzelnen „Bausteine“ des Lackierprogramms schnell und flexibel geändert werden können.

### 5.2.3 Instrumententafeln und Maskierung

Die Mehrfarbigkeit lässt sich im IMC-PUR-Sprühverfahren durch den Einsatz von Masken realisieren. Damit wird während des Sprühprozesses der komplette Bereich der zweiten Farbe abgedeckt. Selbst im Randbereich der Formhaut muss eine Abdichtung erfolgen, um zu vermeiden, dass der während des

Sprühens entstandene fein zerstäubte Sprühnebel durch Ritzen oder offene Stellen dringen kann und sich im Sichtbereich der anderen Farbe abgelagert. Um solche optischen Fehlstellen zu vermeiden, werden Maskierungen eingesetzt, die in einer Trennnut abdichten, Bild 9.

Der Zweck der Trennnut besteht im Wesentlichen darin, den Farbübergang so unsichtbar wie möglich zu gestalten, Bild 10. Aus diesem Grund muss der geometrischen Konzeption der Nut große Aufmerksamkeit gewidmet werden, ebenso der verfahrenstechnischen Auslegung des Maskiervorganges (Reihenfolge der Applikation der beiden Farben) und der Gestaltung des Maskenkonzeptes. Für eine prozesssichere Darstellung zweifarbiger Formhäute müssen die eingesetzten Lacksysteme bezüglich ihrer Thixotropie so eingestellt werden, dass so genannte Läuferbildungen verhindert werden und eine fadenfreie Entnahme der Maske ermöglicht wird.

### 5.2.4 Applikation des aromatischen PUR-Substrats

Nach einer bestimmten Abluft-beziehungsweise Aushärtezeit der Lackschicht kann die Applikation der PUR-Schicht erfolgen. Dieses geschieht mit Hilfe eines speziell für diesen Anwendungsfall gemeinsam mit der Firma Krauss-Maffei entwickelten PUR-Sprühkopfes, Bild 11. Der Funktionsablauf des PUR-Sprühkopfes besteht aus Kreislauf-, Schuss- und Spülphase. Während der Kreislaufphase zirkulieren die auf zirka 65 °C temperierten PUR-Komponenten im Kreislauf in den Ringleitungen der Sprühanlage. Somit wird sichergestellt, dass für den jeweiligen Schuss zur Formhautherstellung „frisches“, optimal temperiertes Material verwendet wird.

Die Schussphase stellt für die Qualität der Formhaut die wichtigste Phase dar. Durch die Geometrie des Sprühkegels sowie durch dessen Formkonstanz während des gesamten Sprühprozesses werden die Schichtdicke und die Homogenität des PUR-Substrates entscheidend beeinflusst. Wie im Falle der Lackapplikation muss auch beim PUR-Sprühen mit so genannten Lanzen gearbeitet werden. Nur damit wird die Zugänglichkeit zu engen, tiefen Querschnitten sowie die Realisierbarkeit von Hinterschnitten ermöglicht. Eine weitere, sehr wichtige Komponente des PUR-Sprühkopfes ist die an der Spitze der Lanze angebrachte Dü-

se. Diese beeinflusst durch ihre geometrische Auslegung die Qualität des Sprühkegels maßgeblich.

Bezüglich der chemischen Formulierung der Polyurethankomponenten muss der bestmögliche Kompromiss zwischen der Erreichung einer langen Mischkopfstandzeit und der notwendigen Reaktivität des Materials (Fließverhalten) angestrebt werden.

Folgende Parameter sind für die Realisierung eines optimalen Sprühbildes und somit für die Erreichung der gewünschten Hautqualität von Bedeutung: Polyol- und Isocyanat-Druck, Austragsleistung, Sprühbild (Zerstäubung), Breite der Bahn und die programmabhängigen Faktoren: Abstand Düse zum Werkzeug, Robotergeschwindigkeit, Breite der Bahn. Nach jedem Schuss erfolgt während der Spülphase die Reinigung der Mischkammer sowie der Lanze und der Düse mit einem speziell für diese Anwendung ausgewählten Reinigungsmittel. Damit wird sichergestellt, dass sich keine Schmutzpartikel (PUR-Reste) in den oben genannten Bereichen des Sprühkopfes befinden und dieser, die für den Serienbetrieb vorgeschriebene Standzeit erreicht.

## 6 Ausblick

Obwohl aus heutiger Sicht prozesstechnisch absolut notwendig, ist der Einsatz von Trennmitteln (siehe Abschnitt 5) aus Produktions- sowie Umweltschutzaspekten nicht erwünscht. Trennmittel enthalten vielfach Lösungsmittel, die nach dem Auftragen in die temperierten Galvanowerkzeuge verdampfen und somit Kohlenwasserstoffe freisetzen. Darüber hinaus sind diese Formen aufgrund ihrer geometrischen Komplexität regelmäßig mit sehr hohem Aufwand zu reinigen, da ein so genannter Trennmittelaufbau stattfindet, der im ungünstigsten Fall zu einer Verschlechterung der Oberflächengüte der hergestellten Bauteile führen kann.

Abhilfe für die genannten Problemfelder bietet eine Werkzeugbeschichtung, die gemeinsam mit der Firma Acmos entwickelt und erfolgreich getestet worden ist, **Bild 12**. Dabei handelt es sich um eine permanente Trennschicht, die eine sehr hohe Anzahl von Entformungen ohne den Einsatz externer Trennmittel ermöglicht. Während der Prozessentwicklung ist es erfolgreich gelungen, die Beschich-

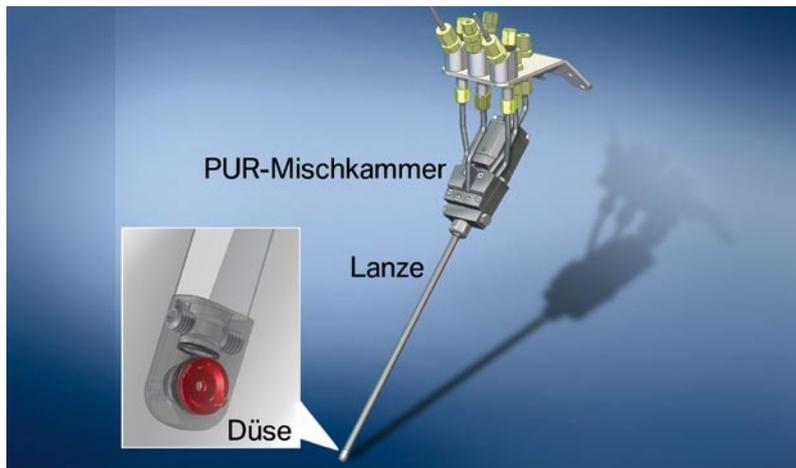
tung auch an großvolumigen Bauteilen mit komplexen, hinterschnittigen Oberflächenstrukturen darzustellen.

Die Trennschicht besteht aus einem plasmapolymerten Dünnschichtsystem mit einer Haftvermittlerschicht, einer Korrosionsschutzschicht und einer Antihaftbeschichtung. Die trennenden Eigenschaften dieser Beschichtung nehmen vom Substrat her nach außen zu. Die Schichtdicke beträgt lediglich zwischen 0,05 und 0,4  $\mu\text{m}$  – in diesem Maßstab wird der Übergang von haftvermittelnden Eigenschaften hin zu abweisenden Eigenschaften realisiert. Strukturen bis zu einem sehr kleinen Maßstab können daher abgebildet werden, zumal die Beschichtung nicht mit Hilfe einer Flüssigkeit aufgetragen wird. Die Trennschicht gleicht somit nicht – wie beispielsweise

ein Lack – Unebenheiten oder Rauigkeiten der Oberfläche aus. Somit spielt die Beschichtung eine ihrer Stärken dort aus, wo die metallischen Formen mit Oberflächenstrukturen (Narbungen) versehen sind. Ein negativer Einfluss auf die Haptik der Kunststoffbauteile konnte nicht festgestellt werden [6].

### Literaturhinweise

- [1] Recticel Automobilsysteme GmbH: Informations-CD-Rom
- [2] Berg, M.; Klein, B.; Siebgen, U.: Oberflächenveredelung im Cockpit. In: Kunststoffe Nr. 11, 2007
- [3] Elastogran: Firmenschrift
- [4] Sawatzki, W.: Auslegung und Dimensionierung von Farbtrennmasken für die In-Mold-Coating-(IMC)-Technologie. Diplomarbeit
- [5] Krauss-Maffei: Firmenschrift
- [6] Ott, M.; Vissing, K.: Trennmittel ade? Neue plasmapolymere Beschichtung verspricht Hilfe. In: Plasterarbeiter



**Bild 11:** Schematische Darstellung eines PUR-Sprühkopfes [5]



**Bild 12:** Beschichtetes Instrumententafel-Galvanowerkzeug für die Produktion des BMW 5er