



# Guten Flug!

## Beschichtungen an Flugzeugbauteilen

**Korrosion ist, neben Materialermüdung, der Hauptgrund für die Begrenzung der Lebensdauer von Flugzeugen. Schützende Beschichtungssysteme sind aus diesem Grund ein wichtiger Aspekt bei der Erhaltung von Flugzeugen und müssen exakt an die verwendeten Materialien und die Beanspruchung der Bauteile angepasst werden.**

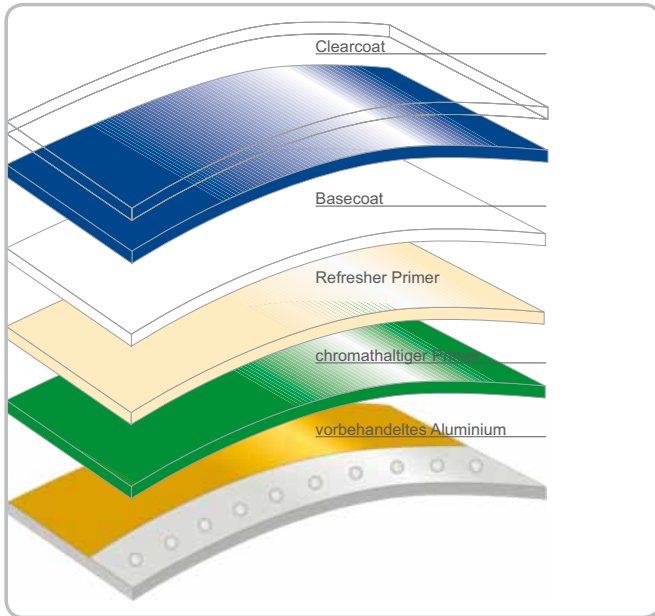
**W**ill man die Beschichtung optimal abstimmen, muss man sich zuerst mit den Werkstoffen beschäftigen, aus denen die Flugzeugbauteile gefertigt werden.

Dies sind zum einen metallische Materialien, vor allem Aluminium, das aufgrund seines geringen Gewichtes besonders gut geeignet ist. Verwendet wird bevorzugt die kupferhaltige Aluminium-Legierung 2024 in plattierter und nicht-plattierter Form. Sie weist ein sehr gutes Gewichts- und Festigkeitsverhältnis auf, ist aber, aufgrund des hohen Kupfergehaltes, wenig korrosionsbeständig. Daneben werden noch zinkhaltige EN AW-7075-Legierungen (DIN EN 573-3) sowie schweißbare 6er-Legierungen verwendet.

Die Aluminium-Legierungen müssen vor der Beschichtung vorbehandelt werden. Dies kann durch verschiedene Verfahren geschehen:

- Anodisierung: Es kommen je nach Anwendungsfall Chromsäureanodisierung (CAA), Phosphorsäureanodisierung (PAA) oder Schwefelsäureanodisierung (SAA) in Frage. Diese Anodisierungen können bei Bedarf nachträglich verdichtet werden.
- In speziellen Fällen (z. B.: sehr große Bauteile, bestimmte Schutzkonzepte, Reparaturen von Vorbehandlungen) kommen auch chemische Konversionsschichten (chemical conversion coatings = CCC) zur Anwendung. Die Gelbchromatisierung ist hier als Beispiel anzuführen.
- Eine dritte Möglichkeit bietet der ebenfalls chromathaltige Wash Primer, der als Haftvermittler eingesetzt wird.

Zu einem geringen Anteil werden noch andere Metalle im Flugzeugbau verwendet. Hierzu gehören die korrosionsresistenten Stähle und Titan. Sie werden zum Beispiel im Fahrwerksbereich eingesetzt, wo ihre Hochfestigkeit sinnvoll genutzt werden kann.



Ähnlich wie beim Aluminium werden auch hier verschiedene Legierungen der Werkstoffe und Vorbehandlungsverfahren angewandt.

Zum anderen werden nichtmetallische Materialien verwendet, in erster Linie Faserverbundwerkstoffe mit Geweben auf Glas- oder Kohlefaserbasis. Die Werkstoffe werden entweder während der Fertigung mit Harzen getränkt und in Autoklaven ausgehärtet oder es werden bereits vorgetränkte Fasern (Prepack oder Prepreg) zur Herstellung verwendet. Teilweise wird die Einlamination von Wabenstrukturen genutzt, um die Steifigkeit des Materials zu verstärken und gleichzeitig Gewicht einzusparen.

Vor der Beschichtung dieser Bauteile ist es ausgesprochen wichtig, die in der Fertigung verwendeten Trennmittel restlos zu entfernen, da die aufgetragene Beschichtung sonst nicht richtig haftet. Um die Bauteile zu reinigen, kann mechanisch geschliffen oder, je nach Bauteilgeometrie, mit einem Laser gearbeitet werden.

In der Regel bestehen Beschichtungen bei Flugzeugen nicht aus einer einzigen Schicht, sondern aus mehrschichtigen Systemen. Grundbestandteile sind dabei: Vorbehandlung (pretreatments), Grundbeschichtung (Primer) und Deckbeschichtung (Topcoat oder Basecoat/Clearcoat).

### Anforderungen

Die Lebensdauer eines Verkehrsflugzeugs liegt heute bei ungefähr 25 – 30 Jahren. Über diese gesamte Lebensdauer hinweg muss der Korrosionsschutz gewährleistet sein, um die Sicherheitsanprüche, die im Bereich der Luftfahrt sehr hoch sind, zu erfüllen. Eine Regulierung und Abnahme der Beschichtungsmaßnahmen ist durch die Luftfahrtbehörde gegeben. Anforderungsaspekte sind die vorgenannte Sicherheit, zusätzlich spielen Umgebungsbedingungen, Belastungen und auch ästhetische Gesichtspunkte eine Rolle.

Um die Sicherheit des Korrosionsschutzes auch unter Extrembelastungen zu gewährleisten, werden bereits bei der Konstruktionsplanung bestimmte Vorgaben berücksichtigt: Taschen und scharfe Kanten sind zu vermeiden, da an Kanten die Beschichtungsdicke deutlich geringer ist als an anderen Stellen und sich in Taschen Flüssigkeiten sammeln können, die zur Bildung

Anzeige





**Für alle Fälle!**

*Mehr Sicherheit mit Netzen von Huck!*

**Manfred Huck GmbH · Netz- & Seilfabrik**  
 Telefon: +49 (0) 6443 63-0 · email: sales.de@huck.net

[www.huck.net](http://www.huck.net)



einer Elektrolytlösung und dadurch zu Korrosion führen können. Drainagen können hier Abhilfe schaffen. Um Spaltkorrosion zu vermeiden, werden Spalten mit Dichtmitteln verschlossen und Schweißverbindungen eingesetzt.

Die besonderen Belastungen durch Witterungseinflüsse müssen bei der Wahl der Beschichtung berücksichtigt werden, damit die Beständigkeit des Korrosionsschutzes gewährleistet ist:

- Extreme Temperaturunterschiede: Unterschiede von mehr als 100 °C auf der Außenhaut, Temperaturen von +70 °C am Boden und -55 °C im Flugbetrieb sind möglich
- Hohe UV-Belastungen während des Fluges
- Heftige Erosionsbelastungen an angeströmten Flächen und Kanten
- Eine Vielzahl von Betriebsstoffen, gegen die Beschichtungen Schutz bieten müssen: Kerosin, Hydraulikflüssigkeiten und Öle, Enteisungsflüssigkeiten und Batteriesäure

Optic follows function: Ein hoher Wiedererkennungswert ist im Sinne des Corporate Design wünschenswert für jede Airline. Daher werden Außenbeschichtungssysteme mit hohem Glanz und einer möglichst breiten Farbvielfalt und starker Widerstandskraft gegen Bewitterung gewünscht. Der Einsatz von Flugzeugen im militärischen Bereich schafft Anforderungen in gänzlich anderer Richtung. Matt und wenig infrarot-reflektierend sind hier die Vorgaben für die Beschichtung.

Diese Fülle von hohen Anforderungen führt zu einer Vielzahl von spezifischen Beschichtungssystemen.

## Beschichtungen

Die zuvor aufgeführten Ansprüche machen klar: Die Beschichtung muss sich nicht nur als – auch unter Extrembedingungen – ausgesprochen widerstandsfähig, sondern zusätzlich als sehr elastisch, gut haftend und farblich variabel erweisen. Um diese Eigenschaften zu erreichen, nutzt die Industrie das gesamte Angebot an offerierten Harztypen, Pigmenten und weiteren Lackrohstoffen.

Aufgrund der Grundanforderung einer sehr hohen chemischen Beständigkeit sind die dafür formulierten Systeme zum überwiegenden Teil chemisch vernetzende Systeme. Hierzu gehören die 2-Komponenten-Epoxidharzbeschichtungen, die beispielsweise durch die Reaktion von Amin-Addukten oder Amidoaminen mit Epoxidharzen sowie Epoxidharzestern entstehen. Sie werden vor allem als Primer bei der Basisbeschichtung genutzt.

Für Deckbeschichtungen werden hauptsächlich Polyurethansysteme verwandt. Polyurethane sind Kunstharze, die Urethangruppen enthalten. Sie werden meist durch Umsetzung von Isocyanathen und/oder Isocyanatharzen mit Hydroxylgruppen enthaltenden Verbindungen produziert. Als Basiskomponenten

kommen zum Beispiel gesättigte Polyester und Acrylatharze in Frage.

Die daraus hergestellten Grundierungs- und Deckbeschichtungssysteme werden anhand ihres Lösemittelgehaltes (VOC = volatile organic compounds) und der Art ihres Basislösemittels, nämlich organische Lösemittel oder Wasser, unterteilt (siehe Tabelle).

| Beschichtungstyp              | Variante         | VOC [g/l] | Bezeichnung |
|-------------------------------|------------------|-----------|-------------|
| Konventionell                 |                  | > 500     | High VOC    |
| Festkörperreich (High Solids) | Primer           | < 350     | Low VOC     |
|                               | Deckbeschichtung | < 420     | Low VOC     |
| Wasserverdünnbar              |                  | < 250     | Low VOC     |

*VOC-Werte entsprechen den EU-Richtlinien*

Zu erwähnen sei noch, dass, trotz ihrer bekannten krebserregenden und erbgutverändernden Eigenschaften, Chromate derzeit noch in vielen Primer-Formulierungen als Korrosionsschutzpigment eingesetzt werden. Alternativ stehen zur Zeit schon chromatfreie Korrosionsschutzsysteme zur Verfügung. Diese sind teils wasserbasiert und verfügen über ein Inhibitorpaket, um die verschiedenen Korrosionsschutzeigenschaften des Chromates abzubilden. Durch die REACH-Gesetzgebung und Regulierung von Chromaten wird sich der Bedarf an chromatfreien Korrosionsschutzsystemen in naher Zukunft stark erhöhen.

Die chromatfreien Lacksysteme des Herstellers Mankiewicz Gebr. & Co., mit Firmensitz in Hamburg, werden beispielsweise seit mehreren Jahren eingesetzt und vertrieben und stellen dort ihre korrosionsschützenden Eigenschaften unter Beweis.

## Was kommt wohin?

Bei der Beschichtung von Flugzeugen werden drei verschiedene Bereiche unterschieden, in denen typengerechte Beschichtungssysteme zum Einsatz kommen:

- Strukturgebende Bauteile
- Flugzeugaußenhaut
- Flugzeugkabine

Beschichtungen im Innenraum werden an dieser Stelle nicht weiter erläutert, da es sich dabei weniger um Korrosionsschutzbeschichtungen handelt, sondern um Ästhetik oder Feuerschutz betreffende Anstriche.

Der Begriff „strukturgebende Bauteile“ meint alle Teile, aus denen ein Flugzeug zusammengebaut wird. Dies hört sich simpel an, allerdings besteht ein Flugzeug aus zahlreichen Teilen, den sogenannten „Schalen“, die wiederum Sektionen bilden, welche

nach dem Zusammensetzen das Flugzeug bilden. Die Schalen werden durch das Zusammenfügen von der Rumpfaußenhaut mit den in Längsrichtung angebrachten Stabilisierungsstreben (Stringer) und den quer zur Rumpflängsachse verlaufenden Spanten hergestellt.

Jedes einzelne dieser metallischen Bauteile wird vor dem Zusammenfügen vorbehandelt und beschichtet. Der zu wählende Beschichtungsaufbau richtet sich deshalb nach dem späteren Einbauort des Bauteils und den dort auftretenden Belastungen, die je nach Zone durchaus sehr unterschiedlich sein können. In seltenen Fällen wird auf eine Beschichtung oder Teile der Beschichtung in weniger belasteten Bereichen sogar gänzlich verzichtet, um das Gewicht des Flugzeuges möglichst gering zu halten. Als Beispiel: In einem hoch belasteten Bereich werden auf das vorbehandelte Metall ein chromathaltiger Primer (20 +/- 5 µm) und eine Deckbeschichtung (25 +/- 5 µm) aufgetragen. Faserverbundstoffe werden mit einem chromatfreien Primer beschichtet.

Wie oben beschrieben, werden die Sektionen des Rumpfes zusammengesetzt, anschließend werden die Flügel sowie das Leitwerk, notwendige Geräte und Aggregate eingebaut. Erst nachdem das Flugzeug dann Testflüge überstanden hat, erhält es seine endgültige Außenbeschichtung. Zuvor wird es gereinigt und die bestehende Beschichtung angeschliffen. Die folgende Beschichtung besteht für gewöhnlich aus einem chromatfreien Primer (20







- Geringes Gewicht durch dünne Schichten und geringe Trockenfilmdichte
- Höchste mechanische und chemische Beständigkeit
- Kompatibilität zu anderen Beschichtungssystemen
- Haftung auf Dichtmassen/Haftung der Dichtmasse auf der Beschichtung
- Universelle Verarbeitungseigenschaften

Primer weisen vor allem sehr gute Hafteigenschaften auf, kombiniert mit einer hohen Elastizität. Gemeinsam mit eventuell hinzugefügten Inhibitoren schützen sie als Grundbeschichtung vor Korrosion. Ob der Primer Chromate für den Korrosionsschutz enthalten muss, ist von Vorbehandlung und Werkstoff abhängig.

+/- 5 µm) und einer farbigen Deckbeschichtung (60-120 µm). Je nach Farbton werden ein bis drei Farbschichten aufgetragen.

Bei Überarbeitungen (Refurbishment), bei denen die gesamte Beschichtung oder Teile davon mit Hilfe von Beizmitteln (beispielsweise auf Basis von Ameisensäure oder Benzylalkohol) oder mechanischen Methoden (Schleifen, Laserbehandlung, Trockenmittelstrahlen) entfernt wurden, ist die Zusammensetzung der Beschichtung etwas anders: Nach der Entfernung der Beschichtung und der anschließenden Reinigung werden Wash Primer oder Chemical conversion coating, chromatfreie Grundierung (25 +/- 5 µm) und Deckbeschichtung (60-100 µm) aufgetragen.

Abgesehen von diesen beiden Hauptbeschichtungsarten existieren zahlreiche Sonderbeschichtungen, die in bestimmten Bereichen des Flugzeugs anzuwenden sind. Dazu zählen:

- Beschichtungen gegen Regen-Erosion (rain erosion)
- Beschichtungen gegen thermisches Aufheizen (solar heat absorption)
- Beschichtungen für die Tankinnenbereiche
- Antistatik-Beschichtungen
- Kennzeichnungsbeschichtungen
- Beschichtungen von Rotorblättern.

Für diese Sonderanwendungen werden vorhandene Beschichtungssysteme modifiziert, um die speziellen Anforderungen zusätzlich erfüllen zu können.

Die Einzelschichten des Beschichtungssystems weisen verschiedene Eigenschaften auf und übernehmen unterschiedliche Funktionen im gesamten System, sind aber derart aufeinander abgestimmt, dass sie eine gute Zwischenhaftung aufweisen und sich im Maß ihrer Elastizität und Härte ähnlich sind.

Die folgenden Filmeigenschaften sind im Luftfahrtbereich besonders wichtig:

Bei Deckbeschichtungen für die Behandlung der Außenhaut wird eine hohe Glanz- und Farbtonstabilität erwartet. Um Flugzeuge auf Hochglanz zu bringen, hat der Hersteller Mankiewicz ein neuartiges Lacksystem entwickelt, das Basecoat/Clearcoat-System, welches mit deutlich weniger Lackschichten auskommt, da der Basecoat oft bereits ab der ersten Schicht deckt und außerdem schneller trocknet. Der eingesetzte Klarlack verspricht darüber hinaus einen deutlich erhöhten Glanz sowie einen Schutz des darunter applizierten Basecoats. Die glatte Oberfläche verschmutzt weniger leicht und ist einfacher zu reinigen. Da hohe Dehnungen durch mechanische Kräfte und extreme Temperaturschwankungen zu erwarten sind, müssen sie gleichzeitig über eine herausragende Flexibilität verfügen.

Deckbeschichtungen für die Anwendung im Strukturteilbereich müssen resistent gegenüber Chemikalien sein, da die Gefahr besteht, dass sich derartige Flüssigkeiten im Inneren des Flugzeuges ansammeln. Diese Flüssigkeiten können Betriebsstoffe sein, aber auch aus der Luftfracht bei Transport von Chemikalien oder Lebensmitteln stammen.

## Messen und Prüfen

Neben diversen anderen Prüfungen (beispielsweise auf Haftfestigkeit, Filmhärte, Flexibilität/Dehnung u. ä.) werden verschiedene Prüfungen zum Korrosionsschutz vorgenommen.

Bei den Korrosionsprüfungen handelt es sich um folgende spezielle Untersuchungen mit den für die Luftfahrt typisch zu erreichenden Ergebnissen:

- Salzsprühtest (ISO 7253)  
3.000 Stunden mit einer Unterwanderung von max. 1,25 Millimeter am Schnitt
- Wechsellauftest (ISO 15710/EN 3212)  
1.500 Stunden mit einer Unterwanderung von max. 1,5 Millimeter am Schnitt

- Filiformtest (ISO 4623-2/EN 3665)  
1.000 Stunden mit einer Unterwanderung von max. 2 Millimeter am Schnitt

Die genannten Prüfmethoden werden durch die Hersteller zu sogenannten Spezifikationen kombiniert und für die Qualifikation von Beschichtungssystemen verwendet. Aber auch durch nationale und internationale Gremien werden Spezifikationen festgelegt.

Neben diesen Spezifikationen bestehen weitere technische Anforderungen. Diese beschreiben die Eigenschaften des noch flüssigen Beschichtungsstoffes und treffen Aussagen über die Verarbeitungseigenschaften der einzelnen Systeme.

Zusätzliche Bewertungskriterien für Beschichtungssysteme im Luftfahrtbereich beziehen sich auf das Erscheinungsbild. Dabei geht es in erster Linie um Farbtonabgleiche, aber auch um die generelle optische Erscheinung des Filmes. Bewertet wird durch Farbton-, Glanzgrad- und Orangen-Haut-Messungen (orange peel).

## Beschichtungsverfahren

Geometrie und Größe des Bauteils bestimmen das anzuwendende Beschichtungsverfahren. Im Luftfahrtbereich sind sowohl Einzelteilbeschichtungen sowie Behandlungen von Sektionen und auch ganzen Flugzeugen üblich – daher werden sämtliche übliche Beschichtungsverfahren eingesetzt.

Für die Beschichtung von strukturgebenden Bauteilen werden bei einer großen Anzahl dieser Bauteile Flächenspritzautomaten verwendet, die über zwei- oder dreikomponentige Misch- und Dosieranlagen mit Farbe beliefert werden. Bei kleineren Stückzahlen kann der Auftrag auch mit der Becherpistole durchgeführt wer-

den. Bei größeren Bauteilen wird Airmix- oder auch Airless-Applikation mit oder ohne Elektrostatik angewendet. Für die Montage und die anschließende Komplettierung des Korrosionsschutzes sind sogar Pinselapplikationen denkbar.

Der zeitliche Faktor: Für die gewöhnlich manuelle Beschichtung beispielsweise des Rumpfes eines mittelgroßen Flugzeuges werden vier bis acht Tage benötigt, abhängig von der Komplexität des Designs. Zu diesem Zweck werden Schablonen angefertigt und eine Fülle von Abdeckplanen benötigt.

Weiterhin ist zu beachten, dass Beschichtungen in diesem weltweiten Markt in unterschiedlichen Klimazonen durchgeführt werden. Deshalb ist je nach Anwendungsbereich ein geeignetes Beschichtungsverfahren zu wählen.

Weitere Informationen: Mankiewicz Gebr. & Co. (GmbH & Co. KG), Kathleen Matz, Georg-Wilhelm-Straße 189, 21107 Hamburg, Tel. 040-751 03-371, [aviation@mankiewicz.com](mailto:aviation@mankiewicz.com), [www.mankiewicz.com](http://www.mankiewicz.com),



Fotos (4) / Grafik (1): Mankiewicz Gebr. & Co. (GmbH & Co. KG)

Anzeige



MODULGERÜSTE · FASSADENGERÜSTE  
WETTERSCHUTZ · ZUBEHÖR · IDEEN

[www.scafom-rux.de](http://www.scafom-rux.de)

 **scafom-rux**  
deutschland

**RUX GmbH**

Neue Straße 7 · 58135 Hagen (Germany)

Tel. +49 (0) 2331-47 09-180 · [info@scafom-rux.de](mailto:info@scafom-rux.de)