

FEHLERFREIE LACKIERUNG – ZUSAMMENHÄNGE ZWISCHEN LACKAPPLIKATION UND LACKIERERGEBNIS

Oliver Tiedje, Qiaoyan Ye, Nico Güttler, Fabian Seeler

Die Erzeugung einer hohen Qualität bei Beschichtungen ist in vielen Bereichen sowohl aus optischen als auch aus funktionellen Gründen sehr wichtig. Da aber die Zusammenhänge zwischen den Lackprozessen und dem Ergebnis sehr komplex sind, wird in vielen Fällen empirisch vorgegangen. In diesem Beitrag soll aufgezeigt werden, was an Grundlagen bekannt ist und wo noch Forschungsbedarf besteht.

Es sollen hier exemplarisch neue Forschungsergebnisse zu den Themen

- Schichtdickenhomogenität,
- Lackfilmverlauf,
- Kantenflucht und
- Lufteinschlüsse

gezeigt werden. In allen Fällen hat sich eine Kombination aus numerischen Fluidynamiksimulationen und neuen Versuchsmethoden als hilfreich erwiesen. Dabei erlauben vor allem die Simulationen tiefe Einblicke in die Lackierprozesse, die vorher nicht denkbar waren. In allen Fällen sind die angegebenen Ursachen nicht vollständig, sondern es soll sich auf wenig beachtete Themen konzentriert werden.

Schichtdickenhomogenität:

Ungleichmäßigkeit in der Schichtdicke führt oftmals zu lokalen Über- und Unterbeschichtungen, die dann Läufer, Orange Peel, Wolkigkeit oder funktionelle Störungen wie verminderte Korrosions- und Chemikalienbeständigkeit erzeugen können. Daneben führt die Inhomogenität dazu, dass in der Regel ein Sicherheitsaufschlag auf die Schichtdicke addiert wird und somit der Lackverbrauch unnötig erhöht wird.

Die Ursache kann unter anderem an dem Lackierprogramm (im Falle einer Roboterlackierung) oder an Schwankungen im Zerstäuber liegen. Die Ursachenanalyse bezüglich des Lackierprogramms kann man mit modernen Methoden sehr gut am Computer analysieren. Im ersten Schritt werden einfache Roboterprogramme von einer Software so erstellt, dass sie das ganze Lackierobjekt

überstreichen. Anschließend wird dieses Programm über gradienten-basierte Optimierer so optimiert, dass die Schichtdicke möglichst gleichmäßig wird.

Diesem Optimierer kann man unterschiedliche Gewichtungen auf die – meist widersprüchlichen – Kennzahlen, wie zum Beispiel Prozesszeit und Homogenität, legen und damit ableiten, wie groß der Mehraufwand für eine homogenere Schichtdicke ist (s. Abbildung 1).

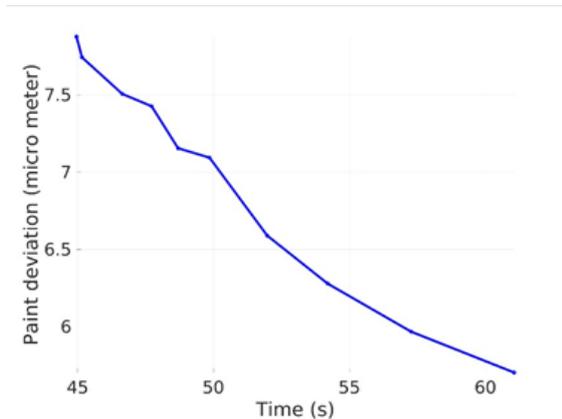
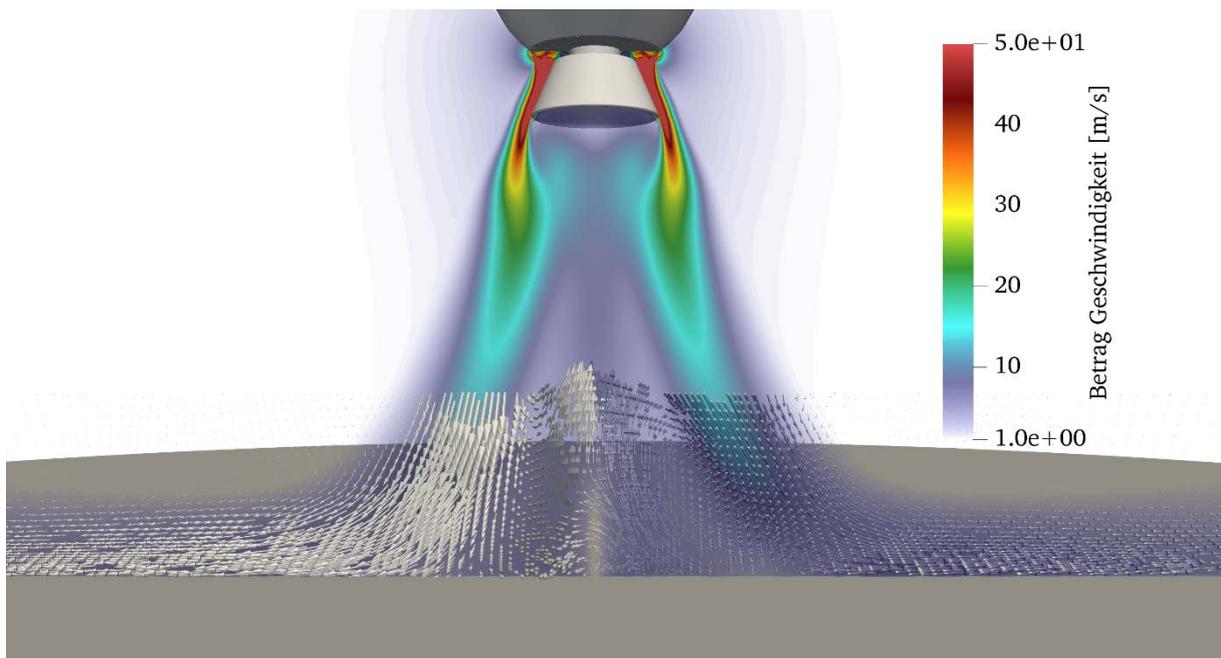


Abbildung 1 Zusammenhang zwischen Prozesszeit und Schichthomogenität

Komplexere Ursachen für die Schichtdickenabweichungen können im Prozess der Lackapplikation liegen. So erzeugt die Luftströmung des Zerstäubers ein turbulentes Staudruckfeld auf dem Lackierobjekt (s. Abbildung 2), das je nach Objektgeometrie unterschiedlich ausfällt und damit zu unterschiedlichem Auftragswirkungsgrad führt.



Kommt noch Hochspannung ins Spiel, werden die Effekte noch komplexer, da sich die elektrischen Felder an Kanten oder Hohlräumen unterschiedlich ausprägen. Hier kann eine Simulation der Lackierprozesse auf physikalischer Basis unterstützen, da damit die Schichtdicken auch unter Berücksichtigung dieser Effekte berechnet werden können. Darüber hinaus kann dann sogar angegeben werden, ob eine Schichtdickenabweichung durch eine Luftabrissskante oder durch einen elektrostatischen Kanteneffekt hervorgerufen wurde und somit eine Anpassung der Hochspannung oder der Luftmenge Abhilfe schafft.

Appearance:

Die homogene Schichtdicke ist auch die erste Voraussetzung für viele weitere Eigenschaften, z. B. die Appearance der lackierten Schicht. Insbesondere für die heute oft geforderte Gleichmäßigkeit der Oberflächenqualität ist es notwendig, dass der Lackauftrag homogen geschieht. Weiterhin sind es natürlich viele weitere Einflussgrößen, die beispielsweise die Welligkeit des Lackfilms (also das Orange Peel) beeinflussen. Aktuell wird der Oberflächenqualität des Substrats hohe Bedeutung beigemessen, da vor allem auf senkrechten Flächen ein fluiddynamischer Prozess, Barsotti-Effekt genannt, dazu führt, dass die Struktur des Untergrunds in extremen Fällen 1:1 auf der Lackoberfläche abgebildet wird. Ursache für die Untergrundabbildung ist eine schwerkraftbedingte Ablaufströmung. **Daneben tragen** Einflüsse aus dem Prozess wie die Zerstäubungsfeinheit, Abdunstbedingungen und Ofenkurven zum Verlaufsergebnis bei. Hier soll auch noch auf den Einfluss der Luftströmung hingewiesen werden, der ähnlich wie der oben erwähnte Barsotti-Effekt zu einer Untergrundabbildung führen kann. Im Vergleich zum Barsotti-Effekt ist nicht die Schwerkraft, sondern eine von der Luft erzeugte Schubspannung auf der Filmoberfläche für die Untergrundabbildung verantwortlich. Ist die Luftströmung sehr stark, z. B. durch das direkte Anblasen der Lackschicht mit Düsen im Ofen, kann der Unterschied zwischen Flächen mit und ohne Luftströmung den Unterschied zwischen waagrecht und senkrecht ausgerichteten Flächen sogar übertreffen (s. Abbildung 3). Ein Simulationstool des Fraunhofer IPA erlaubt es, all diese Effekte zu berechnen.

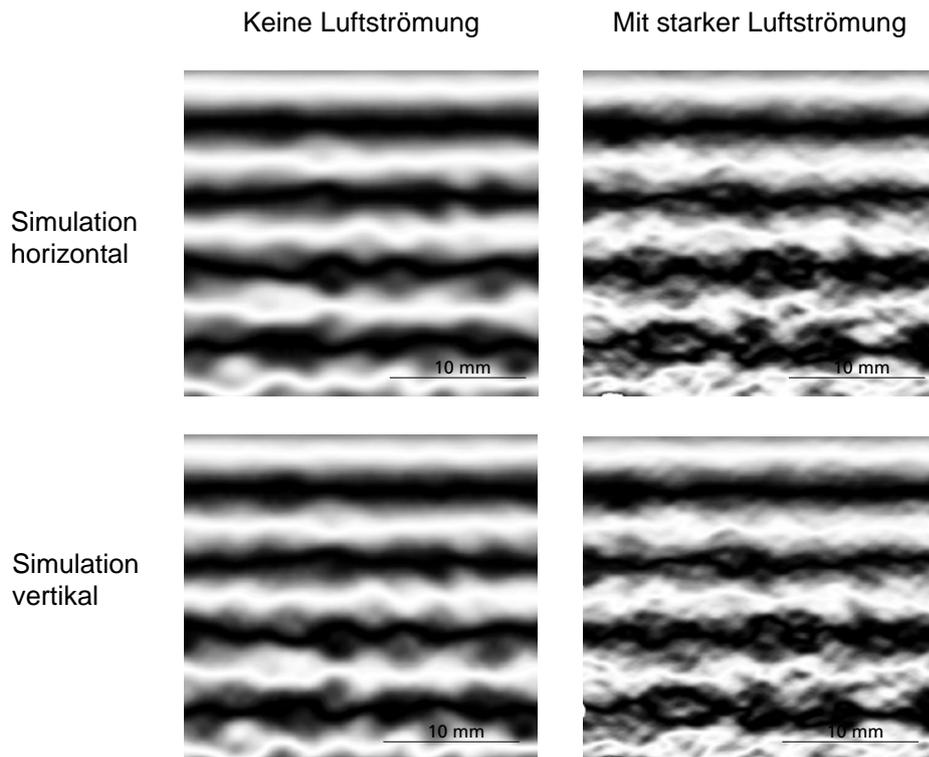


Abbildung 3 Einfluss der Luftströmung auf die Appearance bei waagerechter und senkrechter Lackierung

Neben den Einflüssen aus dem Prozess muss natürlich auch das Lackmaterial betrachtet werden. Unter den Lackeigenschaften ist vor allem die Viskosität entscheidend für das Verlaufsverhalten. Die Rheologie eines typischen Lackes ist allerdings sehr komplex, sie ist abhängig vom Gleichgewichtszustand des Lackes (Scherverdünnung), von der Zeit (Thixotropie), vom Verhältnis viskoser und elastischer Eigenschaften, von der Zusammensetzung (Lösemittelabdunstung) und von der Temperatur. Ein neues mathematisches Modell des Fraunhofer IPA bringt etwas Licht ins Dunkel dieser komplexen Zusammenhänge. Über den Umweg der sogenannten Relaxationszeitspektren gelingt es, aus oszillierenden Messungen mit einem Standard-Rotationsrheometer direkt die Verlaufsgeschwindigkeit zu bestimmen, die diese Einflüsse umfasst. Um die Lösemittelabdunstung zu berücksichtigen, wird auch noch an einer Vereinfachung der Methode gearbeitet. Mit der Methode konnte gezeigt werden, dass es Lacke mit nahezu identischer Scherviskosität gibt, die dennoch unterschiedlich schnell verlaufen, was auf die sich während des Verlaufs unterschiedlich schnell verändernden elastischen Eigenschaften der Lacke zurückzuführen ist (s. Abbildung 4).

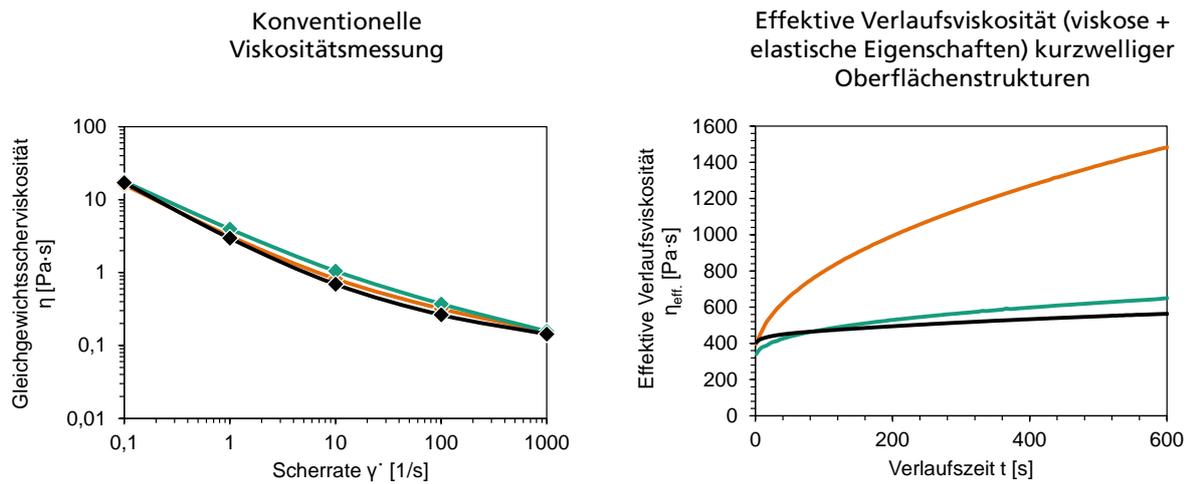


Abbildung 4 Beispiel für unterschiedliches Verlaufsverhalten bei gleicher Scherviskosität

Kantenflucht:

Sehr verwandt mit dem Lackfilmverlaufen ist die Kantenflucht, bei der dieselben Lackeigenschaften eine zentrale Rolle spielen. Die Kantenflucht tritt in der Regel zusammen mit „Fettkanten“ auf, da der Lack durch die Oberflächenspannung von der Kante selbst wegfließt und neben der Kante Bereiche mit lokal erhöhter Schichtdicke ausbildet.

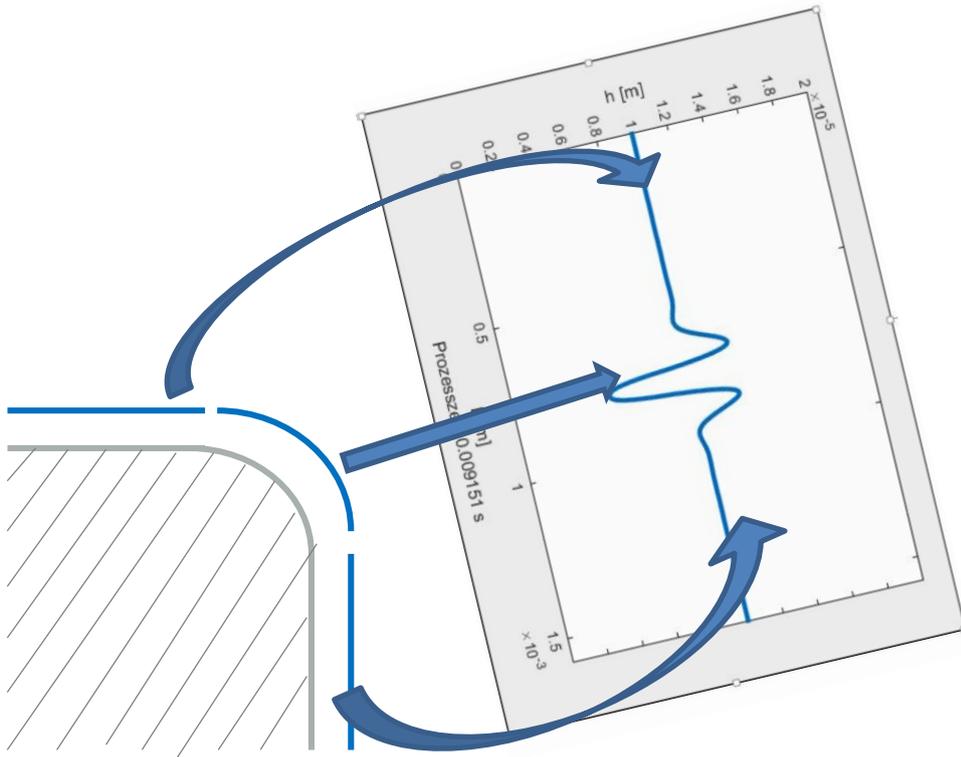


Abbildung 5 Simulation der Kantenflucht, in dem rechten Bildteil ist die lokale Schichtdicke nach einer hundertstel Sekunde darstellt, zur Vereinfachung der Darstellung ist die Kante „gradegebogen“

Untersuchungen haben gezeigt, dass sich die Fettkanten sehr schnell, häufig in weniger als einer Sekunde, aufbauen (s. Abbildung 5) und dementsprechend der Strukturaufbau durch Thixotropie sehr schnell vonstattengehen muss, wenn dieser Effekt zur Reduktion der Kantenflucht genutzt werden soll.

Nadelstiche:

Weitere Lackierfehler, die in der Applikation angelegt sein können und sich dann in der weiteren Prozesszeit entwickeln, sind Luftpneinschlüsse. Ursachen dafür gibt es einige: Die Luft kann mit dem Lack eingeführt werden, in der Zerstäubung eingetragen werden oder im Tropfenaufrall eingeschlossen werden. Andere Ausgasungen wie aus dem Lösemittel oder aus dem Substrat sollen hier nicht gemeint sein. In der unten dargestellten Simulation werden wieder Vorgänge dargestellt, die extrem schnell ablaufen und deshalb oft nicht wahrnehmbar sind, deshalb helfen die Berechnungen hier dem Verständnis. In diesem Fall wird ein Tropfen betrachtet, der bereits eine Luftblase umschließt und auf ein Substrat auftrifft. Dabei wird beobachtet, dass zwei Phänomene auftreten, einerseits entweicht ein Großteil der eingeschlossenen Luft, es

bleibt aber eine kleine Blase bestehen. Zusätzlich bildet sich unter dem Tropfen ein Teppich von Bläschen, die sich zwar frei auf dem Untergrund bewegen können, aber aufgrund der Oberflächenspannungseffekte nur sehr selten das Substrat verlassen (s. Abbildung 6).

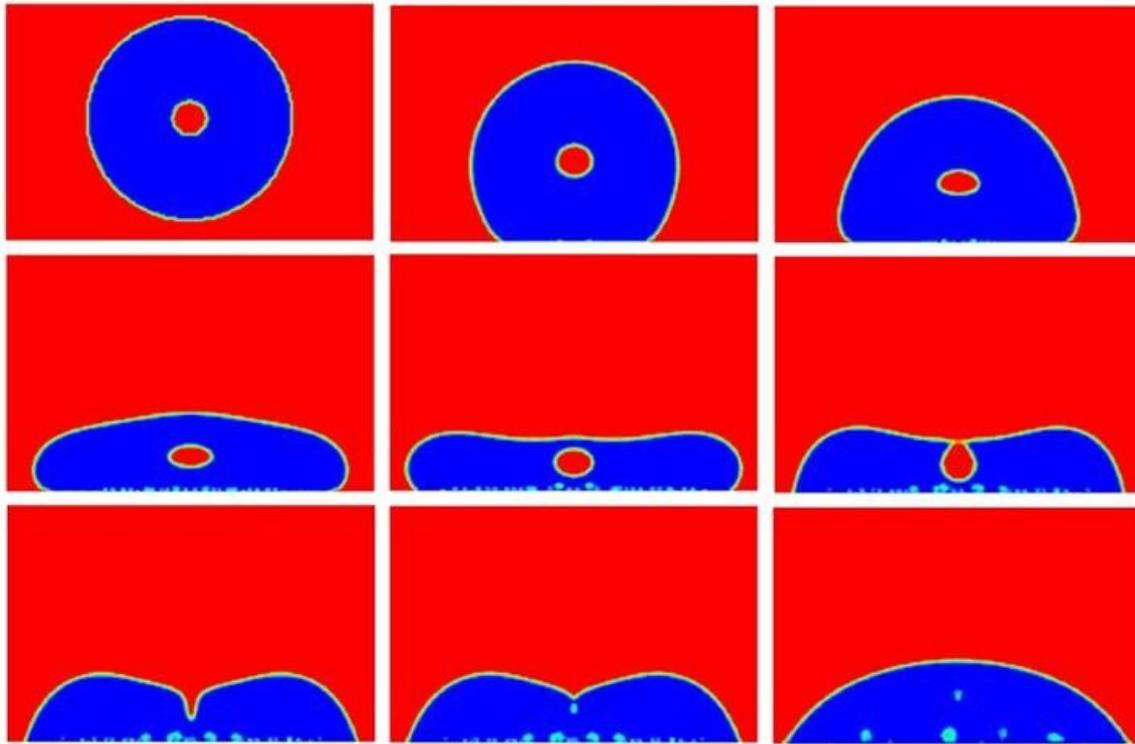


Abbildung 6 Entwicklung eines Lufteinschlusses im Moment des Tropfenaufpralls

Fazit:

Viele Aufgabestellungen im Bereich der Lackiertechnik sind zwar empirisch gut untersucht, aber oft fehlen systematische Grundlagen, die den Optimierungs- und Fehlerabstellprozess beschleunigen können. So führt die neue Beleuchtung der verschiedenen Einflussfaktoren auf Schichtdicke, Appearance und Nadelstiche zu einem klareren Bild ihrer Entstehung und damit zu einem systematischeren Abstellprozess.