



**Pfinder KG
Rudolf Diesel-Straße 14
71032 Böblingen**

**Vorhaben:
„Energieoptimiertes Verfahren zur Hohlräumkonservierung mittels
Flutwachs
- OPTIWAX“**

**Abschlussbericht über ein FuE-Projekt,
gefördert unter dem Aktenzeichen AZ 27220 von der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt**

von:

**Dr. Karsten Lessmann
Tel. 07031/2701-73
Mail: karsten.lessmann@pfinder.de**

Böblingen, den 31.01.2012

Projektkennblatt
der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Az	27220	Referat	212	Fördersumme	123.000 €
----	--------------	---------	------------	-------------	------------------

Antragstitel Energieoptimiertes Verfahren zur Hohlraumkonservierung mittels Flutwachs
- OPTIWAX

Stichworte

Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)
30	01.05.2009	31.10.2011	

Zwischenberichte	Alle 6 Monate
------------------	---------------

Bewilligungsempfänger Pfinder KG

Rudolf Diesel-Straße 14
71032 Böblingen

Tel: 07031/2701-0

Fax: 07031/2701-39

Projektleitung

Herr Dr. Lessmann

Bearbeiter

Kooperationspartner - entfällt-**Zielsetzung und Anlass des Vorhabens**

Ziel dieses Projektes war die Entwicklung eines energieoptimierten Verfahrens zur Hohlraumkonservierung von Fahrzeugkarossen mittels Flutwachs. Durch Einsatz der zu entwickelnden neuen Wachsformulierung in Kombination mit einer darauf abgestimmten Applikationstechnik sollte im Idealfall die bisher erforderliche Vorwärmung der Karossen entfallen, wodurch erhebliche Energie- und CO₂-Einsparungen ermöglicht werden. Ein weiterer Vorteil bestand in der Verringerung der Emissionen organischer Komponenten bei der Verarbeitung bei Raumtemperatur.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Folgende Arbeitsschritte werden durchgeführt:

AP1: Recherchephase und Projektkonzeption

AP2: Laborversuche zur thermischen Initiierung

AP3: Laborversuche zur Initiierung mittels UV-Bestrahlung

AP4: Laborversuche zur Initiierung durch Feuchtigkeit

AP5: Verifizierung der Korrosionsschutzwirkung der neuen Formulierung

AP6: Entwicklung einer Wachsformulierung durch Zugabe eines Verflüssigers mit integrierter Vernetzung (optional)

AP7: Durchführung von Technikumsversuchen zur Applikationstechnik

AP8: Erstellung der Demonstrationsanlage für das modifizierte Flutwachsverfahren

AP9: Durchführung der Applikationsversuche

AP10: Dokumentation

Ergebnisse und Diskussion

Die Untersuchungen in den AP 2- AP 5 zeigten auf, dass eine Initiierung mittels UV- Bestrahlung und durch Feuchtigkeit keinen gangbaren Lösungsweg für eine zuverlässige Gelierung darstellten. Entweder war die Gelierung zu schnell, sodass keine Penetration erfolgte, oder der Korrosionsschutz war mangelhaft.

Die interessantesten Formulierungen wurden im Bereich des AP 2 gefunden. Zwar zeigte sich, dass die Wachse allein keine ausreichende Gelbildung bei niedriger Temperatur darstellten, unter Beibehaltung der Penetration, jedoch in Kombination mit speziell behandelten Rheologiehilfsmitteln, die aus der Gruppe der Schichtsilikate kommen, lassen sich leistungsfähige Produkte formulieren, die eine gute Balance zwischen Penetration und Gelbildung haben. Diese Formulierungen bieten auch einen ausreichenden Korrosionsschutz und eine Recyclebarkeit. Aufgrund dieser Eigenschaften wurde der Einsatz der Produkte in der Sprühanwendung erfolgreich überprüft, da hierfür die notwendigen Anlagen bereits im Hause sind. Auch im Sprühkonservierungsbereich werden Öfen bzw. Lösemittel eingesetzt, die entfallen könnten und damit eine Umweltbelastung darstellen. Diese Belastung liegt etwa im gleichen Rahmen wie bei dem Flutprozess. Im Flutbereich konnten noch keine weiteren Untersuchungen durchgeführt werden, da eine Technikumsanlage mit vertretbarem Aufwand nicht realisierbar war.

Generell gibt es aber einige sehr interessante Hohlraumkonservierungsprodukte, die auch ab 2012 bei den OEM-Kunden für die Sprühkonservierung vorgestellt werden. Hier ist ein hoher Zielerfüllungsgrad erreicht worden.

Nicht erfolgreich verlief die geplante Übertragung in den Flutbereich. Hier ist es bisher nicht gelungen, den Produktnutzen soweit darzustellen, dass eine Bereitschaft für Versuche auf Produktionsanlagen vorhanden war. Auch gab es keinerlei Bereitschaft, sich an einer Versuchsanlage zu beteiligen.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Bisher wurden die Ergebnisse des Projekts nicht veröffentlicht bzw. präsentiert, da entsprechende Applikationsversuche bei OEMs nicht durchgeführt werden konnten.

Fazit

Die Einsetzbarkeit des neuartigen Verfahrens konnte im Rahmen der Projektlaufzeit nicht abschließend geklärt werden, da trotz Anfragen und Gesprächen mit potenziellen OEMs keine Möglichkeit gefunden werden konnte, eine Erprobung unter Produktionsbedingungen durchzuführen. Ursache hierfür sind die seit 2010 wieder stark angestiegenen Produktionszahlen der Automobilindustrie.

Das Projekt soll jedoch auch nach Ende der Projektlaufzeit seitens der DBU von der Fa. Pfänder KG weitergeführt werden. Auf jeden Fall ist geplant im Jahr 2012 entsprechende Applikationsversuche im Sprühwachsbereich bei einem oder mehreren Automobilherstellern und erste Mustervorstellungen durchzuführen.

Inhaltsverzeichnis:

1. Zielsetzung und Anlass des Vorhabens	2
1.1. Ausgangssituation.....	2
Stand der Technik, führende Konkurrenzprodukte und -verfahren.....	2
Stand der Vorarbeiten.....	3
1.2. Zielsetzung	4
Zielgruppe.....	5
Lösungskonzept.....	6
1.3. Inhaltliche Änderung / Laufzeitverlängerung	8
2. Darstellung der Arbeitsschritte	9
2.1. AP1: Recherchephase und Projektkonzeption.....	9
2.2. AP 2: Laborversuche zur thermischen Initiierung	9
2.3. AP 3: Laborversuche zur Initiierung mittels UV-Bestrahlung	9
2.4. AP 4: Laborversuche zur Initiierung durch Feuchtigkeit.....	9
2.5. AP 5: Verifizierung der Korrosionsschutzwirkung der neuen Formulierung	10
2.6. AP 6: Entwicklung einer Wachsformulierung durch Zugabe eines Verflüssigers mit integrierter Vernetzung (optional).....	10
2.7. AP 7: Durchführung von Technikumsversuchen zur Applikationstechnik	10
2.8. AP 8: Erstellung der Demonstrationsanlage für das modifizierte Flutwachsverfahren.....	10
2.9. AP 9: Durchführung der Applikationsversuche	11
2.10. AP 10: Dokumentation.....	11
3. Ergebnisse und Diskussion	12
3.1. AP1: Recherchephase und Projektkonzeption.....	12
3.2. AP 2: Laborversuche zur thermischen Initiierung	12
3.3. AP 3: Laborversuche zur Initiierung mittels UV-Bestrahlung	15
3.4. AP 4: Laborversuche zur Initiierung durch Feuchtigkeit.....	16
3.5. AP 5: Verifizierung der Korrosionsschutzwirkung der neuen Formulierung	16
3.6. AP 6: Entwicklung einer Wachsformulierung durch Zugabe eines Verflüssigers mit integrierter Vernetzung (optional).....	17
3.7. AP 7: Durchführung von Technikumsversuchen zur Applikationstechnik	17
3.8. AP 8: Erstellung der Demonstrationsanlage für das modifizierte Flutwachsverfahren.....	18
3.9. AP 9: Durchführung der Applikationsversuche	18
3.10. AP 10 : Dokumentation.....	19
3.11. Zusammenfassung:	19
4. Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation	21
5. Fazit	21

1. Zielsetzung und Anlass des Vorhabens

1.1. Ausgangssituation

Stand der Technik, führende Konkurrenzprodukte und -verfahren

Bei der Hohlraumversiegelung von Automobilkarossen mittels Wachs kommen prinzipiell zwei Verfahren zur Anwendung (vgl. Abbildung 1):

- Sprühverfahren
- Flutverfahren

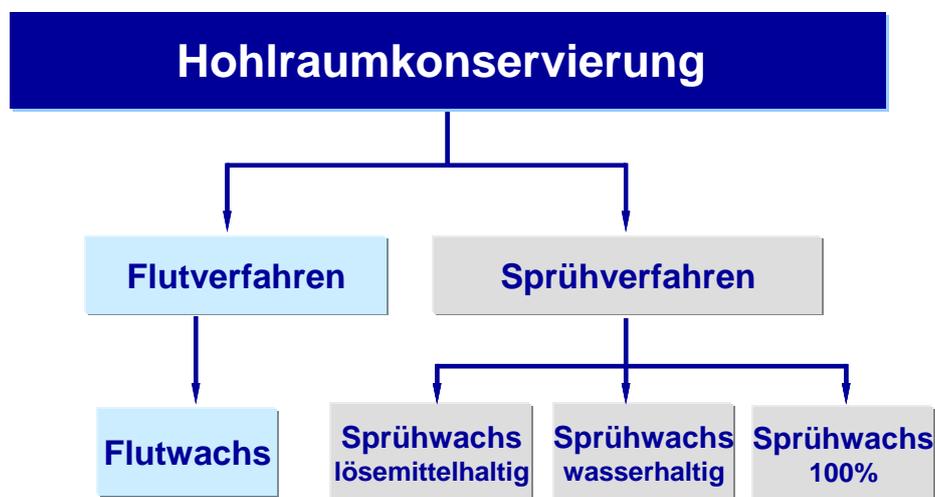


Abbildung 1: Prinzipielle Verfahren zur Hohlraumkonservierung

Bei dem Sprühverfahren werden wachsartige Substanzen entweder in einem organischen oder wässrigen Lösemittel gelöst bzw. dispergiert oder als 100%ige Substanz eingesetzt. Mittels der Düsen wird das Material dann unter Hochdruck mit Zumischung von Zerstäuberluft auf die Innenwände des zu konservierenden Hohlraums gesprüht. Um das Lösemittel-Wachs-Gemisch bzw. reines Sprühwachs verteilen zu können, ist eine vergleichsweise hohe Zerstäubung erforderlich, was dazu führt, dass es häufig zu einem sogenannten Overspray kommt. Außerdem tritt nach dem Sprühvorgang ein Nachtropfen aus den Öffnungen des Hohlraums auf. Ein weiterer Nachteil besteht insbesondere bei lösemittelhaltigen Wachsen darin, dass eine vergleichsweise lange Aushärtezeit erforderlich ist und Vorkehrungen zur Eindämmung der Umwelt- und Arbeitsbelastung durch die auftretenden VOC-Emissionen zu treffen sind.

Beim Flutwachsverfahren wird nach dem heutigen Stand der Technik das Flutwachs zur Verflüssigung auf ca. 115-120 C° vorgewärmt und über Düsen an definierten Punkten in die Karosse eingepumpt. Hierbei sind ca. 200 bis 300 l pro Auto erforderlich, wobei nur ca. 1,2 -2,5 l Wachs in der Karosse verbleibt und das überschüssige Material ausläuft. Voraussetzung für die Verarbeitung ist bisher die Vorwärmung der Karosserie auf 60-65 C°, um ein frühzeitiges Erstarren des

Wachses zu vermeiden. Die Applikationstemperatur muss oberhalb des Tropfpunktes des Wachses liegen, welcher mit $>89\text{ }^{\circ}\text{C}$ eingestellt wird, damit es im normalen Fahrzeugbetrieb, insbesondere bei starker Erwärmung der Karosserie im Sommer, nicht zum Austropfen des Hohlraumkonservierungsschutzes kommt.

Das bestehende Flutwachsverfahren stellt einen reversiblen Prozess dar, da das überschüssige, ausgelaufene Wachs ohne Qualitätsverlust wieder eingesetzt werden kann. Nachteilig ist, dass diese Reversibilität auch nach Aufbringen bestehen bleibt, was die Einstellung der Temperaturstabilität und damit die oben erwähnten hohen Temperaturen bei der Verarbeitung bedingt.

Die nachfolgende Abbildung 2 zeigt die Prozessschritte der verschiedenen Verfahren zur Hohlraumkonservierung. Nach dem Einbringen des Wachses und dem Erwärmen ist das Kippen der Karosse zur Penetration in die Hohlräume (tilting) und das Nachtropfen zur Abtrennung des überschüssigen Wachses (dripping) erforderlich.

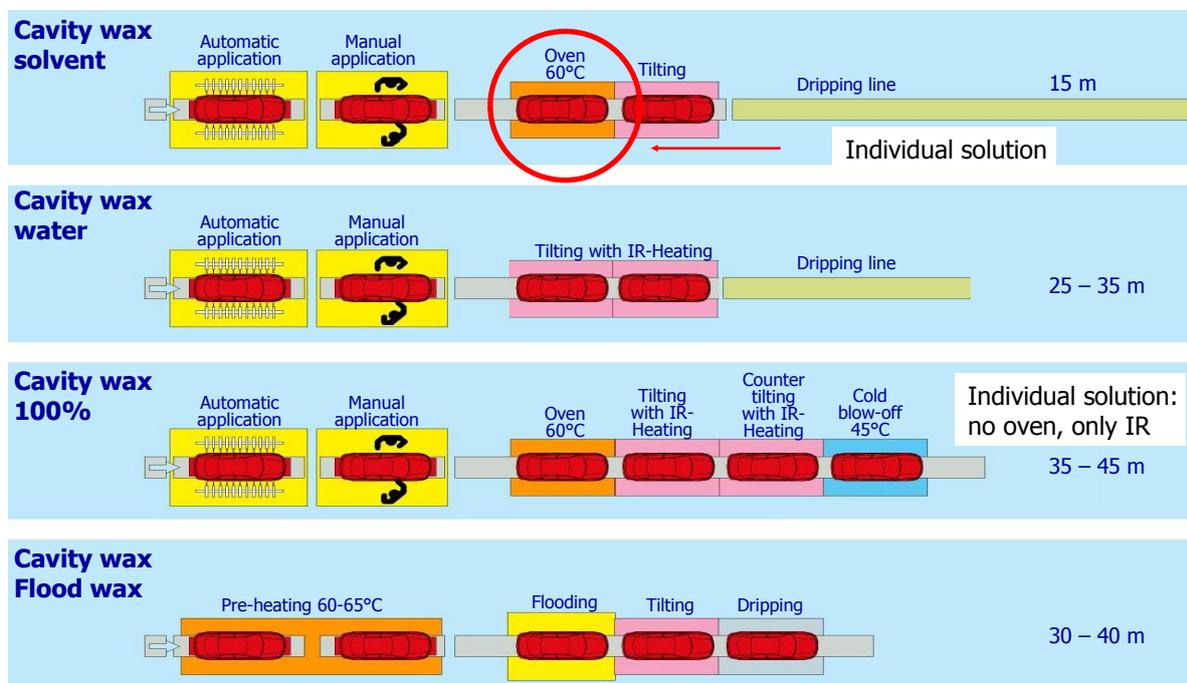


Abbildung 2: Verfahrensvergleich Hohlraumkonservierung

Stand der Vorarbeiten

Die Pfinder KG verfügt über umfangreiche Vorerfahrungen im Bereich der Entwicklung von Wachssystemen für die Hohlraumkonservierung, sowohl hinsichtlich der Sprüh- als auch der Flutapplikation. Die nachfolgende Tabelle 1 zeigt die in Laufe verschiedener Produktgenerationen von Flutwachs bereits erreichten Verbesserungen hinsichtlich der Qualität, Ökologie und Ökonomie. Auch die Prozesstemperatur konnte in dem neuesten Produkt geringfügig reduziert werden. Ein „Quantensprung“ in Bezug auf weitere Energieeinsparungen ist jedoch nur durch ein komplett neues Konzept möglich.

Parameter	Gen. 1	Gen. 2	Gen. 3	Gen. 4	Gen. 5
Specification Level	AKR 335 F10			AKR 336 F10	AKR 337 F10
dropping point [°C]	85	95	93	>89	>89
solidification point [°C]	73	75	70	>69	>69
coating weight per unit area [g/m ²]	50	47	35 +/- 3	28 +/- 2	24 +/- 2
resistance to thermal distortion	not fulfilled	nearly fulfilled	fulfilled	fulfilled	fulfilled
flexibility at low temperatures [by °C]	-25	-30	-35	-35	-35
salt spray test EN ISO 9227 [h]	240	240	240	---	---
VW cycle corrosion test [cycles]	---	---	15/30	30	30
process temperature [°C]	120	120	120	120	115

VOLUME SAVING
- 33 %
VOLUME SAVING
- 28 %
VOLUME SAVING
- 16 %

consumption
quality
energy
↑

Tabelle 1: Entwicklungsstand Flutwachsformulierungen

Erste Ansätze zur weiteren Evaluierung des Energieeinsparungspotenzials wurden initiiert. Hierbei zeigte sich in Bezug auf das Sprühverfahren, dass sich eine Materialverfestigung durch Wärmebeaufschlagung des Materials erzielen lässt. Allerdings geht durch die Expansion an der Sprühdüse zuviel Wärme verloren, sodass zum Teil zu wenig Zeit bleibt, um eine ausreichende Penetration zu erreichen. Hier wäre ein Flutprozess geeigneter.

Im Bereich der Verfestigung durch UV-Bestrahlung kommt der Steuerung der Vernetzungsreaktion eine zentrale Bedeutung zu, da diese üblicherweise sehr schnell abläuft. Bisher gelang es nicht, den Prozess zeitgenau zu steuern.

Im Bereich des Flutwachsprozesses gelingt es zwar, die Karosentemperatur in der Vorheizstation abzusenken und damit Energie zu sparen, man muss aber bei Verwendung der bestehenden Wachsformulierungen mit einem deutlich höheren Materialverbrauch rechnen, da das Wachs früher erstarrt.

Die feuchtigkeitshärtenden Systeme funktionieren im Prinzip, sind aber im Korrosionsschutz bisher mangelhaft. Hier gilt es noch nachzubessern. Auch die Prozesssicherheit ist noch zweifelhaft, da vor und während der Applikation strikt unter Feuchteausschluss gearbeitet werden muss.

1.2. Zielsetzung

Ziel in diesem Projekt ist es, durch eine Neuentwicklung der Wachsformulierung einen irreversiblen Flutwachsprozess zu realisieren, bei dem die Notwendigkeit der Karosserievorwärmung im Idealfall ganz entfällt. In der nachfolgenden Abbildung 3

sind die Energieeinsparpotenziale für die verschiedenen Konservierungsverfahren visualisiert. Die Entwicklung in diesem Vorhaben soll sich auf den in der letzten Zeile skizzierten Flutwachsprozess konzentrieren. Der Wegfall der Karosserietemperierung ist in Abbildung 4 angedeutet. Inwieweit die Erkenntnisse auch im Sprühwaxsbereich genutzt werden können, hängt von dem letztendlich favorisierten Verfestigungseffekt ab.

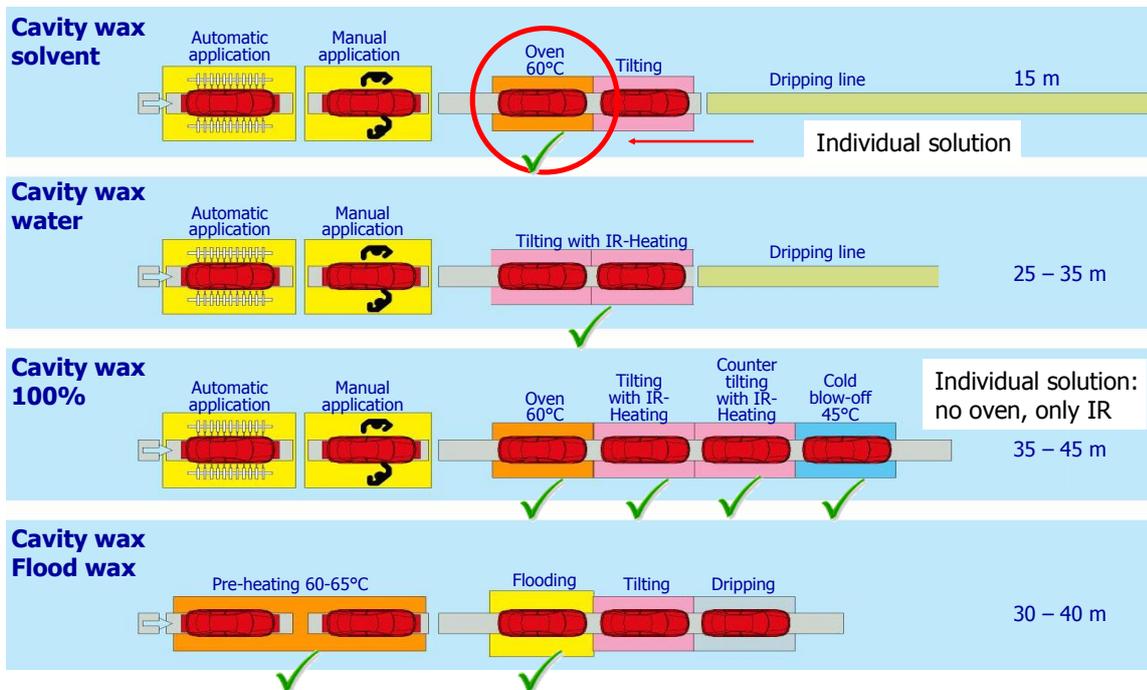


Abbildung 3: Energieeinsparpotenziale der verschiedenen Prozesse

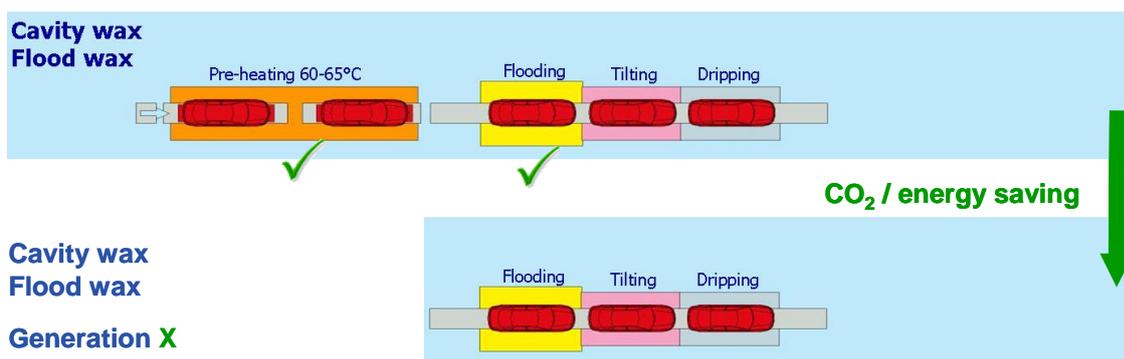


Abbildung 4: Modifizierter Flutwachsprozess

Zielgruppe

Die Hauptzielgruppe für das zu entwickelnde Verfahren bilden die Automobilhersteller. Weitere Kundensegmente sind Reparaturbetriebe sowie die Sparten Nutzfahrzeuge/Busse. Bei der Nachkonservierung in Reparaturbetrieben kommt bisher praktisch ausschließlich das Sprühwaxsverfahren mit lösemittelhaltigen Formulierungen mit den damit verbundenen Nachteilen, wie z. B.

der Emission von VOC, zum Einsatz. Darüber hinaus kann die Neuentwicklung auch anderen Branchen, wie der Luftfahrt- und Eisenbahnindustrie angeboten werden, zu denen Pfinder bisher keinen Zugang hat.

Zu den PKW-Herstellern bestehen sehr gute Zugänge, so dass deren Einbindung in die nachfolgende Produktentwicklung und die ständige Anpassung an die Anforderungen gewährleistet ist. Des Weiteren bestehen Erfahrungen in Bezug auf die Applikationstechnik durch die Zusammenarbeit mit den Anlagenherstellern Dürr und Eisenmann, welche in den Entwicklungsprozess der Anlagentechnologie noch während des Projektes einbezogen werden sollen.

Lösungskonzept

Das prinzipielle Lösungskonzept in dem geplanten Vorhaben besteht darin, den Flutwachsprozess durch den Zusatz einer zweiten Komponente (Strukturbildner) zum Wachs, die zur Vernetzung führt, irreversibel zu machen. Die Auslösung der Irreversibilität kann prinzipiell thermisch, durch UV-Bestrahlung oder durch Feuchtigkeitsbeaufschlagung erfolgen. Eine klassische Reaktion für eine Vernetzung ist die Umsetzung eines Isocyanates (1) mit einem Alkohol (10) zu einem Urethan (11). Diese Reaktion (vgl. Abbildung 5) kann unterschiedlich ausgelöst werden.

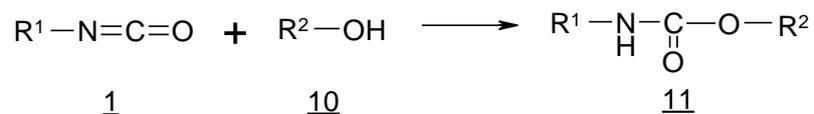


Abbildung 5: Beispielreaktion für die Vernetzung

Als thermische Methoden stehen die Erwärmung oder die Behandlung mit Mikrowelle, Ultraschall bzw. IR/NIR zur Verfügung. Da die Wärmebeaufschlagung nur auf dem aufzubringenden Material und nicht auf der Karosserie erfolgen soll, wird aufgrund der deutlich geringeren Wärmekapazität und Materialmenge wesentlich weniger Energie und ein geringerer apparativer Aufwand erforderlich sein. Es ist denkbar, die Erwärmung direkt am Düsenaustritt der Applikationseinrichtung durchzuführen.

Gleiches gilt für die UV-Bestrahlung, für welche der Wachsformulierung spezielle Photoinitiatoren zugesetzt werden müssen. Auch hier ist eine Bestrahlung unmittelbar an der Düse denkbar, wobei vorzugsweise UV-LEDs eingesetzt werden sollen. Diese emittieren ein UV-Licht bei 365 nm, wodurch gegenüber Quecksilberdampflampen deutliche Energieeinsparungen (Wellenlänge 253 nm) möglich sind. Außerdem werden durch die geringere UVA-Belastung die Anforderungen an den Arbeitsschutz deutlich gesenkt.

Bei feuchtigkeitshärtenden Systemen ist die Erhöhung der Luftfeuchtigkeit als Initiatormethode denkbar, sowohl in der Düse oder aber auch nachträglich nach Aufbringung der Wachse auf die Karosserie.

Eine große Herausforderung bei der Entwicklung besteht darin, die Aushärtung auf das geeignete Zeitfenster von 30-40 min. einzustellen, da dieses nach bisherigen

Erfahrungen die Penetrationszeit des Wachses bis zur vollständigen Ausfüllung der Hohlräume darstellt. Der wesentliche technische Unterschied zu den bestehenden Applikationssystemen besteht darin, dass die Düsen und/oder Zuführleitungen nun mit einer Vorrichtung zur Auslösung des Verfestigungseffektes ausgerüstet sein müssen. Möglichkeiten hierzu bieten Heizschläuche und Heizrösten, integrierte UV-LEDs oder eine feine Einsprühung von feuchter Luft. Besonders im Bereich der beheizbaren Systeme gibt es schon industrielle Erfahrungen. Die Praxiseignung des in den Vorversuchen ermittelten erfolgreichsten Auslöseeffektes muss anhand einer Pilotanlage im Technikumsmaßstab ermittelt werden, damit eine Vorstellung des Systems bei den Anwendern erfolgen kann.

Eine wesentliche Änderung zum bisherigen Flutwachsverfahren besteht darin, dass durch die Irreversibilität des Prozesses keine Wiederverwertung des überschüssigen Wachses mehr möglich ist. Daher müssen die eingesetzten Wachsmengen für das Fluten drastisch reduziert werden, um eine Erhöhung der Abfallmengen und eine Herabsetzung der Wirtschaftlichkeit zu vermeiden. Hierzu ist eine neue Anagentechnik zu entwickeln, deren prinzipielle Machbarkeit im Rahmen des Projektes evaluiert werden soll. Diese sieht im Prinzip vor, dass die Applikation des Wachses zielgerichtet an definierten Stellen erfolgt und die Karosserie durch Kippen mehrfach in unterschiedliche Lagen gebracht wird, damit die geringen Wachsmengen an die entsprechenden kritischen Stellen gelangen können. Das Prinzip ist im Projektanschluss von den Anlagenherstellern in eine geeignete Produktionstechnologie mit einer komplexen Mess- und Regeltechnik umzusetzen.

Ein alternativer Entwicklungsansatz besteht in der Kombination des Flutwachses mit einem Verflüssiger mit bereits integrierter Vernetzung, wobei die drei Auslöseprinzipien die gleichen wie im ersten Fall sind. Diese Wirkungsweise ist mit der eines Reaktivverdünners vergleichbar. Hierbei wird das Verdünnungsmittel Bestandteil einer Vernetzungsreaktion. So finden im Epoxidharzbereich die kürzerkettigen Glycidether und bei den Polyurethanen die Ketimine Einsatz.

Grundsätzlich ist auch ein 2-stufiger Prozess denkbar, bei dem die Auslösung der Wachshärtung nach Aufbringen auf die Karosserie erfolgt. Dies ist jedoch aufgrund des höheren Aufwands und der damit verbundenen längeren Taktzeiten nur als Fall-Back-Lösung anzusehen.

Neben den energetischen Aspekten bei der Verarbeitung muss ein Wachs zur Hohlraumkonservierung einer Vielzahl von Ansprüchen gerecht werden, von denen die wichtigsten nachfolgend aufgezählt sind. Bei der Realisierung der Neuentwicklung müssen auch diese Anforderungen beachtet werden, da nur so ein konkurrenzfähiges Produkt entstehen kann.

- Umweltfreundlichkeit: Vermeidung von Emissionen, Schwermetallen etc.
- Geringes Gefährdungspotential für den Verarbeiter
- Hohe Ergiebigkeit – kein Mehrverbrauch im Vergleich zu bestehenden Systemen
- Keine Geruchsbelästigung durch Immissionen
- Gute Korrosionsschutzeigenschaften
- Wasserabweisende Eigenschaften
- Gute Haftung auf dem Substrat
- Langzeit-Elastizität

- Elastizität bei niedrigen Temperaturen
- Resistenz gegen Alterung
- Keine Rissbildung bei höheren Auftragsdicken
- Penetrationsfähigkeit und geringe Tropfneigung bei der Applikation
- Kompatibilität zur Applikationstechnik und Reinigbarkeit der Apparaturen

1.3. Inhaltliche Änderung / Laufzeitverlängerung

Eine kostenneutrale Verlängerung der Projektlaufzeit um 6 Monate wurde genehmigt, jedoch war eine Änderung der zeitlichen Zielsetzung erforderlich.

2. Darstellung der Arbeitsschritte

2.1. AP1: Recherchephase und Projektkonzeption

- Durchführung einer detaillierten Recherche zum Stand der Technik und zu vorhandenen Patenten in Bezug auf das Flutwachsverfahren
- Durchführung einer Marktrecherche zu verfügbaren Rohstoffen
- Literaturrecherche zu geeigneten Initiatoren für die verschiedenen Auslösemechanismen
- Detailspezifikation der Produkthanforderungen
- Aufstellen der detaillierten Projektplanung

2.2. AP 2: Laborversuche zur thermischen Initiierung

- Auswahl und Beschaffung der Rohstoffe (z.B. Wachse und Paraffine verschiedener Kettenlängen)
- Definition der Bindemittel und Rheologie-Hilfsstoffe (z. B. anorganische Pigmente, Polyurethane)
- Festlegung der Zusatzstoffe wie z.B. Öle zur Flexibilisierung und Sulfate als Korrosionsschutz
- Auswahl und Beschaffung geeigneter Strukturbildner und wärmeempfindlicher Initiatoren wie Peroxid, blockierte EP-Härter
- Herstellung von Testformulierungen im Labormaßstab
- Durchführung der Initiatorversuche
 - Erwärmung
 - Ultraschall
 - Mikrowelle
 - IR/NIR
- Auswahl des bevorzugten Initiators und Optimierung der Bedingungen (apparativer Aufbau, Energieeintrag, Zeitdauer etc.)
- Optimierung der Formulierungen in Bezug auf die Viskosität und auf den Zeitverlauf der Aushärtung

2.3. AP 3: Laborversuche zur Initiierung mittels UV-Bestrahlung

- Auswahl und Beschaffung der geeigneten Photoinitiatoren
- Anpassung der Basisformulierung aus AP 1
- Testen der Initiierung mit verschiedenen Belichtungsquellen (Hg-Dampflampe, UV-LED etc.)
- Variation von Wellenlänge und Intensität
- Ggf. Neuentwicklung von marktfähigen Initiatoren mit einer Absorption bei größeren Wellenlängen
- Optimierung der Formulierungen und Bestrahlungsparameter in Bezug auf den Zeitverlauf der Aushärtung

2.4. AP 4: Laborversuche zur Initiierung durch Feuchtigkeit

- Auswahl und Beschaffung geeigneter Additive
- Anpassung der Basisformulierung durch Zugabe feuchtigkeitsempfindlicher Gelbildner (z. B. Polyurethane oder Amine)

- Bestimmung der erforderlichen Feuchtigkeitsmengen und der Zeit-/Temperaturverläufe
- Optimierung der Feuchtigkeitsauslösung

2.5. AP 5: Verifizierung der Korrosionsschutzwirkung der neuen Formulierung

- Aufbringung der in den AP 2-4 entwickelten Formulierungen auf Testsubstrate
- Durchführung von Schwitzwassertests nach DIN EN ISO 6270-2 und Salzsprühtests nach DIN EN ISO 9227
- Durchführung von VDA-Wechseltests 621-415 bzw. des VW-Wechseltests PV 12.10
- Vergleich der Ergebnisse mit dem Industriestandard (25 µm-Schichtdicke)
- Optimierung der Korrosionsschutzkomponenten und ggf. der Ausgangsformulierungen

2.6. AP 6: Entwicklung einer Wachformulierung durch Zugabe eines Verflüssigers mit integrierter Vernetzung (optional)

- Auswahl geeigneter Reaktivverdünner (z.B. Glycidether, Ketimine) und Vernetzungskomponenten
- Herstellung von Testformulierungen mit verschiedenen Initiatoren
- Initiierung der Aushärtung durch Anwendung der in den APs 2-4 optimierten Parameter
- Vergleich des Verlaufs der Aushärtung mit dem der Formulierungen ohne Verflüssiger
- Vergleich der sonstigen Produkteigenschaften (Korrosionsschutzwirkung etc.)

2.7. AP 7: Durchführung von Technikumsversuchen zur Applikationstechnik

- Auswahl des aussichtsreichsten Verfahrens zur Initiierung aus AP 2-4
- Aufbau einer geeigneten Versuchsanordnung zur Simulation der Applikationstechnik bestehend aus Vormischgefäß und Flutvorrichtung
- Durchführung erster orientierender Inhouse-Versuche
- Durchführung weitergehender Applikationsversuche in dem bei dem Anlagenhersteller gemieteten Technikum
- Verifizierung der Korrosionsschutzeigenschaften gemäß AP 5
- Gewinnung von Auslegungsdaten zum Aufbau der Demonstrationsanlage für das neue Flutwachsverfahren in AP 8

2.8. AP 8: Erstellung der Demonstrationsanlage für das modifizierte Flutwachsverfahren

- Konzeption der Anlage auf Basis der vorausgegangenen Technikumsversuche
- Beauftragung der Konstruktion und Fertigung von Anlagenteilen bzw. Beschaffung von Standardkomponenten

- Aufbau und Inbetriebnahme der Demonstrationsanlage

2.9. AP 9: Durchführung der Applikationsversuche

- Spezifikation und Beschaffung repräsentativer Testobjekte
- Bestimmung des Temperatur- und Zeitverlaufs der Applikation der optimierten Wachsformulierung
- Quantifizierung der Penetrationszeiten
- Erprobung von apparativen Vorrichtungen zur Minimierung der Wachsmengen
- Bestimmung der Wiederholbarkeit (Reproduzierbarkeit)
- Prozessbilanzierung: Bestimmung der erforderlichen Wachs- und Abfallmengen
- Quantifizierung der Entstehung von Ablagerungen und Evaluierung der Reinigbarkeit
- Durchführung von Dauerversuchen

2.10. AP 10: Dokumentation

- Erstellung der Projektdokumentation
- Beschreibung der entwickelten Formulierungen
- Erstellung der technischen Verfahrensdokumentation

3. Ergebnisse und Diskussion

3.1. AP1: Recherchephase und Projektkonzeption

AP 1: abgeschlossen

3.2. AP 2: Laborversuche zur thermischen Initiierung

Die Versuche zur thermischen Initiierung haben ergeben, dass der Gelierungseffekt durch eine chemische Reaktion zu schnell abläuft und damit keine ausreichende Penetration erzielt wird. Darüber hinaus kann das abreagierte Material nicht mehr zurückgeführt werden und damit wird ein Verblocken der Anlage riskiert. Dieses Prozessrisiko wird von keinem Automobilhersteller getragen.

Die neue Zielrichtung war der Einsatz von speziellen Wachsen, die das Erstarrungsverhalten gezielt steuern können. Wachse sind rückschmelzbar und damit gut anlagenfähig. Diese Linie wurde schwerpunktmäßig weiterverfolgt.

Die Untersuchungen zeigten, dass spezielle Wachse die Materialstruktur beeinflussen. Diese fördern den Strukturaufbau oder das Ablaufverhalten des Materials.

Um die Wirkung dieser Additive zu untersuchen, musste ein neues rheologisches Messverfahren entwickelt werden. In Zusammenarbeit mit einem namhaften Hersteller von Rheomaten wurde ein völlig neuartiges Programm entwickelt, welches nun als Standardanalysenmethode eingesetzt werden kann.

Mit Hilfe dieser Methode wurden die zukünftigen Entwicklungen ausgewertet.

Aufgrund der vielversprechenden Laborresultate wurde das Thema der thermischen Initiierung weiter verfolgt und es gab Rezepturweiterentwicklungen, die aus den Erkenntnissen der Sprühwaxse abgeleitet wurden.

Mit Hilfe des rheologischen Messverfahrens wurde die Langzeittauglichkeit der Formulierung untersucht, indem verschiedene Temperaturzyklen hintereinander gefahren werden.

Als weitere Ableitung der vorangegangenen Ergebnisse wurde jetzt die Kombination aus Wachsen und Schichtsilikaten untersucht. Im Rahmen dieser Untersuchungen stellte sich heraus, dass geschickte Kombinationen aus diesen Inhaltsstoffen tatsächlich zu einem Gelierverhalten führen, welches weitestgehend ohne externe Wärmezufuhr auskommt. Dieses Gelierverhalten ist der beabsichtigte Effekt, der nach kurzer Zeit (max. 30 Minuten nach Applikation) auftreten soll. Weitere Untersuchungen haben auch gezeigt, dass Überschussmengen aus diesen Materialien auch wieder in den Kreislauf zurückgeführt werden können, sodass eine Recyclingmöglichkeit gegeben ist.

In den erfolgversprechenden Mischungen werden zu den bekannten HRK-Rohstoffen:

- Sulfonate
- Öle
- Wachse
- Füllstoffe

auch mehrere unterschiedliche Schichtsilikatansätze hinzugegeben. Mit Hilfe dieser rheologischen Hilfsmittel wird das Fließverhalten des Produktes gezielt gesteuert. Der Gesamtanteil dieser Rheologieadditive liegt bei ca. 2%. Damit ist das HRK-Material anfänglich nach der Anwendung nicht zu dickflüssig und kann noch problemlos penetrieren, bevor die Viskosität ansteigt.

Mit diesen Maßnahmen ist zunächst nur ein weiteres Austropfen des Materials verhindert. Die letztendliche Filmfestigkeit wird durch eine Kombination von oxidativ trocknenden Bindemitteln erzielt. Dieses ist wichtig, um eine Korrosionsschutzwirkung bei Salzbelastung zu erzielen

In diesen Materialien liegt eindeutig die weitere Schwerpunktentwicklung für die Zukunft. So zeigen die folgenden Abbildungen, dass das System funktioniert. Abbildung 6 zeigt das Spritzbild 2 Minuten nach der Applikation. Das Material ist noch fließfähig und kann damit noch in die Spalten und Blechdoppelungen einpenetrieren.

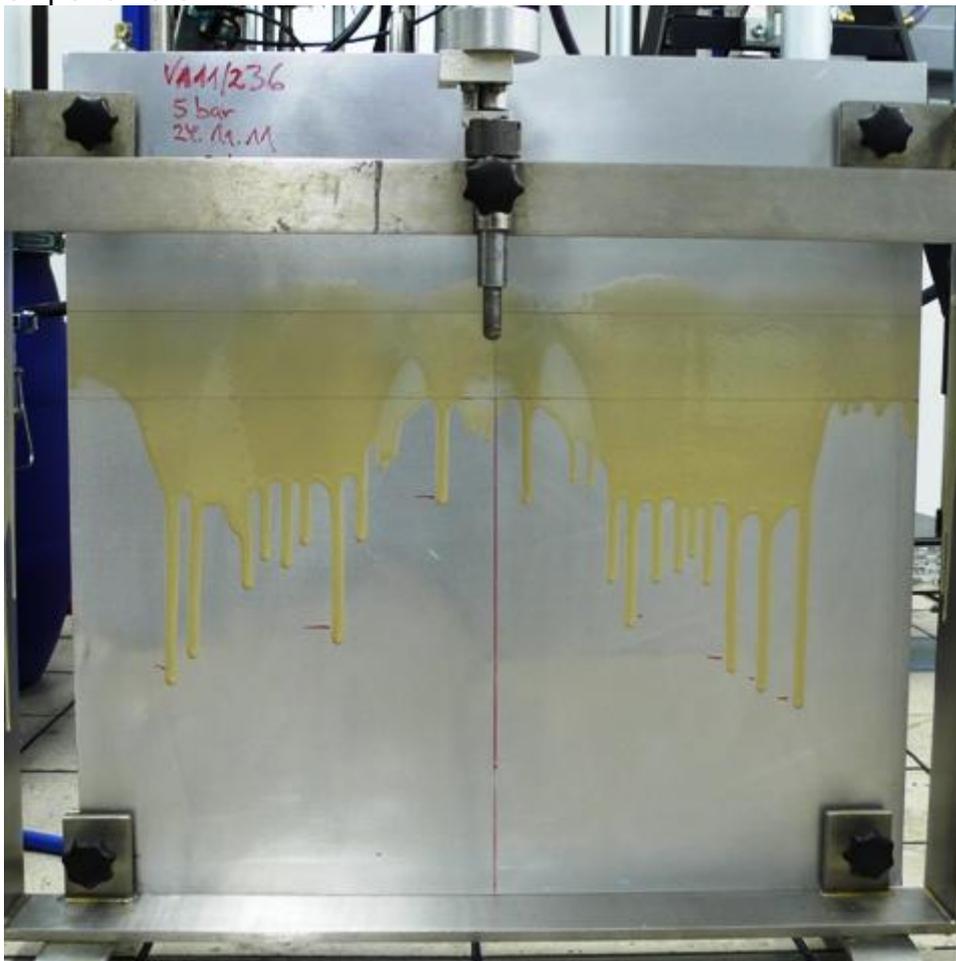


Abbildung 6: Spritzbild 2 Minuten nach der Applikation

Abbildung 7 zeigt dasselbe Material 2 Stunden nach der Applikation. Es ist noch weiter gelaufen, hat aber den unteren Rand des Bleches nicht erreicht. Das HRK-Material kann noch penetrieren, allerdings nicht mehr auslaufen.



Abbildung 7: Spritzbild 2 Stunden nach Applikation.

Um zu überprüfen, dass das HRK Material nicht weiter läuft, wurde dasselbe Blech noch einmal nach 4 Stunden untersucht (Abbildung 8) und es fand kein weiterer wesentlicher Verlauf des Materials statt.



Abbildung 8: Spritzbild 4 Stunden nach Applikation

Die wichtigste Entwicklungsaufgabe ist bei diesen Materialien, dass das Material bis zu einer zeitlichen Grenze noch fließfähig ist und anschließend so stark ausgehärtet, dass kein weiteres Tropfen mehr stattfindet. Die kurzzeitige Verfestigung (<24 h) erfolgt durch die Rheologieadditive, wie Schichtsilikate, und die langzeitige Filmfestigkeit wird durch die Bindemittel erzielt.

3.3. AP 3: Laborversuche zur Initiierung mittels UV-Bestrahlung

Es wurde eine Standard-Hohlraumkonservierung ohne Drop Stop so modifiziert, dass sie nach der Belichtung mit UV-Licht im Wellenlängenbereich von >360nm zu einem geschlossenen Film mit Schichtdicken bis zu 200µm reagierte. Es wurden reaktive Komponenten aus den Bereichen radikalische Initiierung und kationische Initiierung ausgewählt und verwendet. Als besonders geeignet erwies sich ein System aus einem Urethanacrylat, TPGDA oder HDDA als Reaktivverdünner und TPO als Initiator. Auch in einer Rezeptur mit typischen HRK Rohstoffen, welche bis zu 15% Füllstoffe beinhaltetete, konnten die geforderten Eigenschaften, wie die Auslösung des Drop Stops, oder des Korrosionsschutzes, erbracht werden, wengleich die Initiatormenge, vor allem im kationischen Bereich, teilweise deutlich erhöht werden musste.

Bei ca. 30 W/m² waren teilweise noch Belichtungszeiten von ca. 5 bis 10 Minuten nötig, um eine geeignete Standhaftigkeit gegen Ablaufen zu erzielen. Hier müssen leistungsfähige UV-Quellen eingesetzt werden. Ein Problem, das noch nicht gelöst werden konnte, war die anwendungstechnische Umsetzung. Hier waren es vor allem

die geforderte Penetration, die Scherung an der Düse, und die Belichtungsdauer die eine Anwendung erschweren. Letztendlich kann die UV-Bestrahlung erst nach der Applikation in der Karosserie erfolgen und nicht, wie ursprünglich geplant, bei der Applikation. Da aber die Zugänglichkeit in den Hohlräumen mittels UV-Licht nur begrenzt ist, ist die Umsetzung in die Praxis nur bei zugänglichen Bauteilen, wie beispielsweise Türen, möglich.

3.4. AP 4: Laborversuche zur Initiierung durch Feuchtigkeit

Untersuchungen zur Feuchtigkeitsinitiierung haben gezeigt, dass die bisher bekannten Systeme noch zu instabil sind. Da auch sehr dicke Schichten in der Hohlraumanwendung appliziert werden, ist die Durchtrocknung bisher nicht ausreichend. Die gehärteten Systeme führen an der Oberfläche schnell zu dicken Schichten. Eine Durchgelierung wird dadurch verhindert. Sämtliche feuchtigkeitshärtenden Systeme waren in der Korrosionsschutzleistung bisher mangelhaft.

3.5. AP 5: Verifizierung der Korrosionsschutzwirkung der neuen Formulierung

Die Verifizierung der Korrosionsschutzwirkung wird produktbegleitend durchgeführt. Die Korrosionsschutzwirkung der neuen Formulierungen wurde nachgewiesen mit Salzprühtests und Wechseltests. Die in AP 2 entwickelten Rezepturen, die auch eine Weiterentwicklungsperspektive bilden, zeigten gesamtheitlich einen Korrosionsschutz, der den aktuellen Anforderungen der Automobilindustrie entspricht.

Beispielhaft werden in Abbildung 9 Testbleche gezeigt. Die Belastung war 480h Salzprühtest nach DIN EN ISO 9227. Die Substrate waren links Karosseriestahl und rechts elektrolytisch verzinkte Karosseriebleche. Die Belastung 480h Salzprühtest ist eine übliche Anforderung für die Hohlraumkonservierung. Die Schichtdicke betrug in diesem Fall 50 µm.



Abbildung 9: Testbleche nach 480 h Salzbelastung DIN EN ISO 9227

3.6. AP 6: Entwicklung einer Wachsformulierung durch Zugabe eines Verflüssigers mit integrierter Vernetzung (optional)

Für dieses Arbeitspaket wurden keine Untersuchungen durchgeführt.

3.7. AP 7: Durchführung von Technikumsversuchen zur Applikationstechnik

Aufgrund der zu erwartenden komplexen Temperaturverteilung wurde auf die Durchführung von Technikumsversuchen verzichtet. Stattdessen wurde beschlossen mit Hilfe einer Wärmebildkamera die Temperaturverhältnisse an einer realen Produktionsanlage aufzunehmen und erste Versuche zur Temperaturreduktion durchzuführen (Plan 09/2010). Es wurde beantragt, die entsprechenden Mietkosten in externe Dienstleistungskosten umzuwidmen. Diese Umwidmung wurde auch genehmigt.

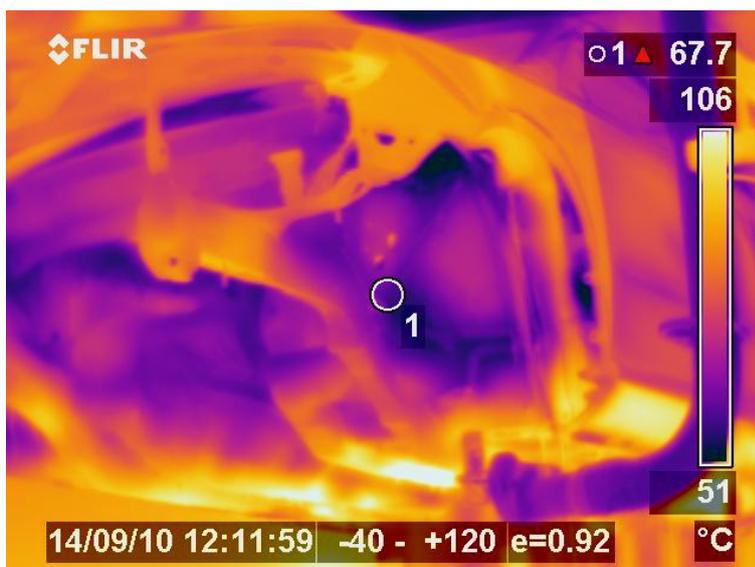


Abbildung 10 und 11: Untersuchung der Temperaturverteilung einer Karosserie im Flutwachssofen.

3.8. AP 8: Erstellung der Demonstrationsanlage für das modifizierte Flutwachsverfahren

Die Planungen für die Realisierung der Demonstrationsanlage ergaben eine deutliche Überschreitung der ursprünglich angesetztten Kosten in Höhe von 50.000 EUR. Die mit Hilfe externer Unternehmen durchgeführten Wärmebildaufnahmen an realen Anlagen zeigten, dass aufgrund der komplexen Temperatur- und Fließverteilungen aller Voraussicht nach eine Simulation durch eine Demonstrationsanlage nur sehr eingeschränkt möglich sein wird. Es wurde daher ein Antrag auf Umwidmung der Sachkosten für die Erstellung der Demonstrationsanlage in Personalkosten gestellt und dieser wurde auch genehmigt.

3.9. AP 9: Durchführung der Applikationsversuche

Vorversuche (Aufnahme von Temperaturverteilungsbildern s. AP 7) wurden durchgeführt.

Weiterführende Applikationsversuche zur Temperaturreduktion auf bestehenden Anlagen wurden von den Kunden abgelehnt, da aktuell eine hohe Auslastung der Produktionsanlagen vorliegt. Somit gibt es keine Freiräume für Versuche, da dadurch die Produktionszahlen nicht erreicht werden. Kein Ansprechpartner war angesichts der vorhandenen Produktionsauslastung willens einen Versuch durchzuführen. Eine Temperaturabsenkung in der Flutanlage würde eine Taktzeitverlängerung bedeuten, welche generell nicht akzeptiert wird. Diese Situation hat sich bis Ende 2011 nicht geändert.

Bei der Sprühanwendung sind wir dagegen in der Lage, innerhalb unseres eigenen Technikums Versuche durchzuführen. Eine im AP 2 entwickelte Rezeptur wurde weiterführend getestet.

Um die Wirksamkeit dieses Prinzips auch realen Teilen darzustellen, wurde eine Formulierung nun in einen realen Schwelleraufbau mit realen HRK-Düsen eingesprüht. Dieser Testschweller ist mit Klappen versehen, sodass man nach der Applikation das Spritzbild beurteilen kann. Man sieht in Abbildung 12, dass nicht nur die Spalte vollständig beschichtet sind, sondern dass das Material nicht mehr fließfähig ist und damit nachträglich nicht mehr austropfen kann.



Abbildung 12: Verteilung in einem Originalschweller mit anschließender Gelierung

3.10. AP 10 : Dokumentation

Die Projektdokumentation wurde erstellt.

3.11. Zusammenfassung:

Die Untersuchungen in den AP 2- AP 5 zeigten auf, dass eine Initiierung mittels UV-Bestrahlung und durch Feuchtigkeit keinen gangbaren Lösungsweg für eine zuverlässige Gelierung darstellten. Entweder war die Gelierung zu schnell, sodass keine Penetration erfolgte, oder der Korrosionsschutz war mangelhaft.

Die interessantesten Formulierungen wurden im Bereich des AP 2 gefunden. Zwar zeigte sich, dass die Wachse allein keine ausreichende Gelbildung bei niedriger Temperatur darstellten, unter Beibehaltung der Penetration, jedoch in Kombination mit speziell behandelten Rheologiehilfsmitteln, die aus der Gruppe der Schichtsilikate kommen, lassen sich leistungsfähige Produkte formulieren, die eine gute Balance zwischen Penetration und Gelbildung haben. Diese Formulierungen bieten auch einen ausreichenden Korrosionsschutz und eine Recyclebarkeit. Aufgrund dieser Eigenschaften wurde der Einsatz der Produkte in der Sprühanwendung erfolgreich überprüft, da hierfür die notwendigen Anlagen bereits im Hause sind. Auch im Sprühkonservierungsbereich werden Öfen bzw. Lösemittel eingesetzt, die entfallen könnten und damit eine Umweltbelastung darstellen. Im Flutbereich konnten noch keine weiteren Untersuchungen durchgeführt werden, da eine Technikumsanlage mit vertretbarem Aufwand nicht realisierbar war.

Generell gibt es aber einige sehr interessante Hohlraumkonservierungsprodukte, die auch ab 2012 bei den OEM-Kunden für die Sprühkonservierung vorgestellt werden. Hier ist ein hoher Zielerfüllungsgrad erreicht worden.

Nicht erfolgreich verlief die geplante Übertragung in den Flutbereich. Hier ist es bisher nicht gelungen, den Produktnutzen soweit darzustellen, dass eine Bereitschaft für Versuche auf Produktionsanlagen vorhanden war. Auch gab es keinerlei Bereitschaft, sich an einer Versuchsanlage zu beteiligen.

Weitere Vorgehensweise:

- Vorstellung der ersten Muster bei den OEMs für die Sprühkonservierung
- Abprüfung der Produzierbarkeit der Formulierungen, die im AP 2 entwickelt wurden
- Ausarbeitung einer weiteren Nutzenargumentation für die OEMs mit Flutanwendungen um deren Versuchsbereitschaft zu erhöhen.

Ökonomische und ökologische Bewertung:

Den größten ökonomischen Nutzen lässt sich durch den Entfall eines Ofens darstellen. Nach Berechnungen von diversen Automobilherstellern würde der Einsatz eines Materials, welches ohne Ofen eine Verfestigung erzielt zu folgenden Einsparungen führen, wobei die Zahlen abhängig von der Fahrzeugproduktion sind. Exemplarisch sind folgende Einsparungen möglich:

Kostenfaktor	Einsparpotential (€)
Investition in Ofen	1.500.000
Raum-/Gebäudekosten	300.000
Einsparung Energiekosten	250.000/a

Tabelle 2: Einsparpotentiale bei 800-1000 Fahrzeuge/Tag

Diese Einsparpotentiale lassen sich nur nutzen, wenn von Seiten der Anwendungstechnik keinerlei Zusatzinvestitionen dazu kommen. So wird beispielsweise die Anregung durch UV-Strahlung einen höheren Investitionsaufwand erfordern als eine Wachseinstellung durch rheologische Additive, die keinerlei Zusatzinvestitionen benötigt. Auch deshalb wurde das Produkt aus dem AP 2 schwerpunktmäßig weiterverfolgt.

Der größte ökologische Nutzen liegt ebenfalls im Wegfall des Ofens und damit in der Reduktion des Verbrauchs von fossilen Energieträgern und der Reduktion der CO₂-Emissionen.

So ist liegt der jährliche Energieverbrauch eines Ofens für die Verfestigung der Hohlraumkonservierung bei ca. 2000 kW (1000 Fahrzeuge/Tag). Für den Betrieb wird meistens Erdgas als Energieträger eingesetzt. 2000 kW Erdgas entsprechen einem CO₂-Äquivalent von 2050 to/a. Berechnet auf das Einzelfahrzeug wäre das eine CO₂-Reduktion von ca. 7 kg/Fahrzeug. Betrachtet man dagegen dann die Materialien, die in AP 2 entwickelt wurden, so werden in diesen Rezepturen keine weiteren Umwelt schädigenden, neuen Rohstoffe eingesetzt. Auch der Energieeinsatz bei der Herstellung der Produkte erhöht sich nicht und damit bleibt der ökologische Nutzen erhalten.

4. Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Bisher wurden die Ergebnisse des Projekts nicht veröffentlicht bzw. präsentiert, da entsprechende Applikationsversuche bei OEMs nicht durchgeführt werden konnten. Bis zur endgültigen Abklärung der Versuchsbereitschaft wird auch von einer Publikation abgesehen.

5. Fazit

Die Einsetzbarkeit des neuartigen Verfahrens konnte im Rahmen der Projektlaufzeit nicht abschließend geklärt werden, da trotz Anfragen und Gesprächen mit potenziellen OEMs keine Möglichkeit gefunden werden konnte, eine Erprobung unter Produktionsbedingungen durchzuführen. Ursache hierfür sind die seit 2010 wieder stark angestiegenen Produktionszahlen der Automobilindustrie.

Das Projekt soll jedoch auch nach Ende der Projektlaufzeit seitens der DBU von der Fa. Pfinder KG weitergeführt werden. Auf jeden Fall ist geplant im Jahr 2012 entsprechende Applikationsversuche bei einem oder mehreren Automobilherstellern und erste Mustervorstellungen durchzuführen.