

Abschlussbericht zum FuE-Projekt

Verbundprojekt: Effiziente Inmould Primerung - Innovative Formulierung eines temperaturbeständigen, streckziehfähigen Primers

Teilprojekt:

Förderprogramm: 1. Aufruf des Luftfahrtforschungsprogramms VI (LuFo VI-1)

Förderkennzeichen: 20W1911E

Durchgeführt von: Mankiewicz Gebr. & Co. (GmbH & Co. KG)
Georg-Wilhelm-Str. 189
21107 Hamburg

Projektlaufzeit: 01.05.2020 – 30.04.2024

Projektleiter: Gunnar Hansen

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) unter dem Förderkennzeichen 20W1911E gefördert.

Die Verantwortung für den Inhalt der Veröffentlichung trägt der Autor.

Autor(en):

Gunnar Hansen, Mankiewicz Gebr. & Co. (GmbH & Co. KG)

Inhaltsverzeichnis

1. Kurzdarstellung	4
1.1. Aufgabenstellung	4
1.2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	4
1.3. Planung und Ablauf des Vorhabens	4
1.4. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde	4
1.5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen.....	5
2. Ausführlicher Bericht	6
2.1. Ergebnisse des Projekts	6
2.2. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	27
2.3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit.....	28
2.4. Voraussichtlicher Nutzen/Verwertbarkeit der Ergebnisse	28
2.4.1. Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende.....	28
2.4.2. Wissenschaftliche und / oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende	28
2.4.3. Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit	28
2.5. Bekannte Ergebnisse anderer Stellen während der Laufzeit des Vorhabens	28
2.6. Veröffentlichung der Ergebnisse	28

1. Kurzdarstellung

1.1. Aufgabenstellung

Arbeitsziel von Mankiewicz war die Erforschung eines exakt auf eine spezielle Trennfolie angepassten Primers und die Unterstützung der Projektpartner bei der Umsetzung der Applikationstechnologie in einen skalierbaren industriellen Prozess.

Der Primer musste dazu zwei wesentliche Eigenschaften aufweisen: er musste streckziehfähig sein und thermisch stabil bis über 180 °C. Daher war eine hohe Flexibilität mit einer Bruchdehnung von mindestens 18 % sowie ein geringer Verformungswiderstand gefordert, die mit verfügbaren Lack-Systemen nicht erreicht werden konnte. Im Projektverlauf wurden die Anforderungen an die Bruchdehnung von 18 %, auf 80 % und abschließend auf 100 % angehoben.

Neben der Entwicklung des Primers hat die Mankiewicz Gebr. & Co. (GmbH & Co. KG) bei der Sicherstellung der Produzierbarkeit einer solchen Formulierung im industriellen Maßstab mit angemessenen Produktionsmitteln sowie der Definition von in-Prozess- und Freigabeproofungen zur Sicherstellung der Qualität unterstützt.

Des Weiteren begleitet Mankiewicz die geplanten Funktionstests sowie den Prototypenbau durch Bereitstellung von Lacken und Versuchsmaterialien sowie Hilfestellungen im Bereich der durchzuführenden Applikationen.

1.2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Die Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde, sind detailliert im Sachbericht dargestellt.

1.3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Gegenüber der ursprünglichen Ablaufplanung sind im Projektverlauf Abweichungen entstanden. Die detaillierte Beschreibung entnehmen Sie bitte dem Sachbericht.

1.4. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Der wissenschaftlich technische Stand, an den im Bereich der Beschichtungstechnik angeknüpft wurde, waren "Inmould-Coating Verfahren", in welchen die Lackschicht direkt auf das Trennmittel in das Werkzeug eingebracht wird. Jedoch verlängern diese Verfahren bedingt durch die nötige Lacktrocknung deutlich die Produktionszeit des Bauteils und eliminieren nicht den Prozessschritt der Trennmittelentfernung, weshalb sie sich derzeit auch nicht im Einsatz befinden. Ferner zeigten die Vorarbeiten, wie ELWis (LuFo V-3, FKZ: 20W1702C, Laufzeit:

01.01.2018 – 31.03.2021), dass eine starke Unverträglichkeit zwischen dem einzigen bekannten am Markt erhältlichen Luftfahrtprimer mit einer Bruchdehnung über 18 %, dem ALEXIT® FlexPrimer 493-23 (von Mankiewicz), und einer Standard-TPE-Trennfolie bestehen, die zu einem starken Quellen des Polymerfilms führt.

Im Rahmen der Arbeiten muss also von Mankiewicz auf Basis des ALEXIT® FlexPrimer 493-23 ein neuer Primer entwickelt werden, welcher den hohen Temperaturen im Autoclavprozess standhält. Der neu entwickelte Primer muss weiterhin eine sehr hohe Bruchdehnung von > 18 % aufweisen, welche weit über typische Luftfahrtanforderungen in diesem Bereich von 5 % hinausgeht. Diese Eigenschaft war sowohl für das Streckziehen als auch für das Lagerungsverfahren auf einer Rolle unabdingbar und stellte eine große Herausforderung dar.

1.5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Die Zusammenarbeit mit anderen Stellen erfolgte größtenteils nach den Darstellungen der Gesamtvorhabensbeschreibung. Konkret betraf die die gemeinsame Durchführung des Projektes mit den Projektpartnern.

2. Ausführlicher Bericht

2.1. Ergebnisse des Projekts

Ergebnisse Berichtszeitraum 2020

Leider konnten die Projektarbeiten aufgrund der aktuellen Pandemielage nicht wie geplant im Mai gestartet werden. Dies hat zeitliche Verzögerungen bei der Bearbeitung des Projektes zur Folge. Der aktuelle Ergebnisstand ist nachfolgend dargestellt.

Das Unternehmen hat mit der Bearbeitung des Arbeitspaketes 3.1 begonnen. Ziel dieser grundlegenden Untersuchungen für Mankiewicz ist die Erforschung möglicher Rezepturen für den Primer.

Die Grundlage der Arbeiten zur Materialentwicklung ist die Definition der Anforderungen an den Primer, die Trennfolie mit dem dazugehörigen Plasma-Beschichtungsprozess sowie an den Primerauftrag und den nachfolgenden industriellen Prozess-Einsatz. Entscheidend für den Projekterfolg ist dabei die extrem genaue Abstimmung zwischen dem Primer und der Plasmabeschichtung der Folie.

Basierend auf dem bestehenden ALEXIT® FlexPrimer 493-23 und weiterführenden Überlegungen zu entsprechenden Formulierungen fanden erste Basisuntersuchungen statt. Hierzu wurden zunächst ein Anforderungsprofil sowie ein Lastenheft in Abstimmung mit den Projektpartnern erstellt (AP 2.1.1.).

Dabei wurden wichtige Eigenschaften wie die Dehnbarkeit und die Temperaturbeständigkeit berücksichtigt.

Zur Erforschung der Haftbeständigkeit zur Trennfolie erfolgten in enger Zusammenarbeit mit dem IFAM erste Untersuchungen zu den Wechselwirkungen den Primer-Formulierungen mit plasmabeschichteten Folien (AP2.1.2). Ein wesentlicher Aspekt ist dabei die chemische Beständigkeit der Folie gegenüber dem Primer sowie die Benetzbarkeit.

In den Untersuchungen wurde sowohl ein Folienmuster des Partners IFAM als auch eine Folie aus dem Hause Mankiewicz eingesetzt. Diese wurden mit diskriminierenden einsetzbaren Lacken versehen. Ziel ist die Entwicklung eines freien Films. Anschließend wurde die Benetzbarkeit sowie die Ablösefreiheit des Lackfilms von der Folie bewertet und die Bruchdehnung (Elongation) geprüft. (Abbildung 1, Abbildung 2).

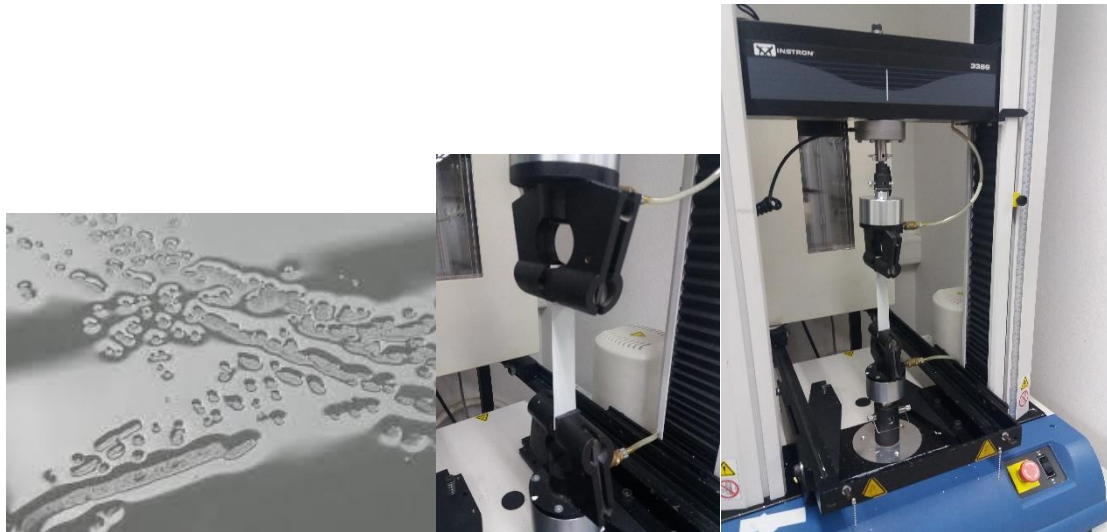


Abbildung 1: Darstellung der Abbildung zu den Applikationen der Lacke auf den Folien

System-Nr.	Lackierdatum	Benetzung auf		Ablösbar		Ablösdatum	Aufrollbar
		Folie intern	Folie Plasma	Folie intern	Folie Plasma		Folie Plasma
1	10.12.2020	ja	nein	ja	nein	15.12.2020 / -	ja
2	10.12.2020	ja	ja	ja	ja	11.12.2020 / 11.12.2020	nein
3	10.12.2020	ja	ja	ja	ja	11.12.2020 / 11.12.2020	ja
4	10.12.2020	ja	ja	ja	ja	11.12.2020 / 11.12.2020	ja
5	10.12.2020	ja	nein	ja	nein	11.12.2020 / -	nein

Abbildung 2: Auswertung der ersten Testergebnisse

Anschließend wurden Test zur Elongation vollzogen und ausgewertet (Abbildung 3).

System-Nr.	Testdatum Elongation	Messung Elongation Folie intern									Messung Elongation Folie Plasma									
		1	2	3	4	5	6	7	8	Mittelwert	1	2	3	4	5	6	7	8	Mittelwert	
1	17.12.2020	15,5	123,7	147,7	136,3	108,7	151,7	-	-	113,917										
2	17.12.2020	4	4,333	5,333	-	-	-	-	-	4,555	4,667	4,333	4,667	-	-	-	-	-	-	4,555
3	17.12.2020	56	63,33	77	85,67	64,33	-	-	-	69,267	93	53	73,67	64	77,67	84,67	86	86,67	77,333	
4	17.12.2020	157	131,7	82,48	117,7	181,3	170,7	104	154,3	137,394	35,67	51,67	63,33	38	152,3	-	-	-	68,2	
5	17.12.2020	3,667	3	4,333	-	-	-	-	-	3,667										

Legende		
<18	18-100	>100

Abbildung 3: Auswertung der Elongation

In Summe wurden bereits ca. 40 Applikationstests und Bewertungen durchgeführt. Aktuell findet die Auswertung der Ergebnisse statt, um darauf aufbauend ein geeignetes Lacksystem zu entwickeln.

Ergebnisse Berichtszeitraum 2021

Das Unternehmen hat mit der Bearbeitung des Arbeitspaketes 3.1 begonnen. Ziel dieser grundlegenden Untersuchungen für Mankiewicz ist die Erforschung möglicher Rezepturen für den Primer.

Die Grundlage der Arbeiten zur Materialentwicklung ist die Definition der Anforderungen an den Primer, die Trennfolie mit dem dazugehörigen Plasma-Beschichtungsprozess sowie an den Primerauftrag und den nachfolgenden industriellen Prozess-Einsatz. Entscheidend für den Projekterfolg ist dabei die genaue Abstimmung zwischen dem Primer und der Plasmabeschichtung der Folie.

Basierend auf dem bestehenden ALEXIT® FlexPrimer 493-23 und weiterführenden Überlegungen zu entsprechenden Formulierungen fanden erste Basisuntersuchungen statt. Hierzu wurden zunächst ein Anforderungsprofil sowie ein Lastenheft in Abstimmung mit den Projektpartnern erstellt (AP 2.1.1.).

Dabei wurden wichtige Eigenschaften wie die Dehnbarkeit und die Temperaturbeständigkeit berücksichtigt.

Zur Erforschung der Haftbeständigkeit zur Trennfolie erfolgten in enger Zusammenarbeit mit dem IFAM erste Untersuchungen zu den Wechselwirkungen den Primer-Formulierungen mit plasmabeschichteten Folien (AP2.1.2). Ein wesentlicher Aspekt ist dabei die chemische Beständigkeit der Folie gegenüber dem Primer sowie die Benetzbarkeit.

In den Untersuchungen wurde sowohl ein Folienmuster des Partners IFAM als auch eine Folie aus dem Hause Mankiewicz eingesetzt. Diese wurden mit diskriminierenden einsetzbaren Lacken versehen. Ziel ist die Entwicklung eines freien Films. Anschließend wurden die Benetzbarkeit sowie die Ablösefreiheit des Lackfilms von der Folie bewertet und die Bruchdehnung (Elongation) geprüft (Abbildung 1, Abbildung 2).

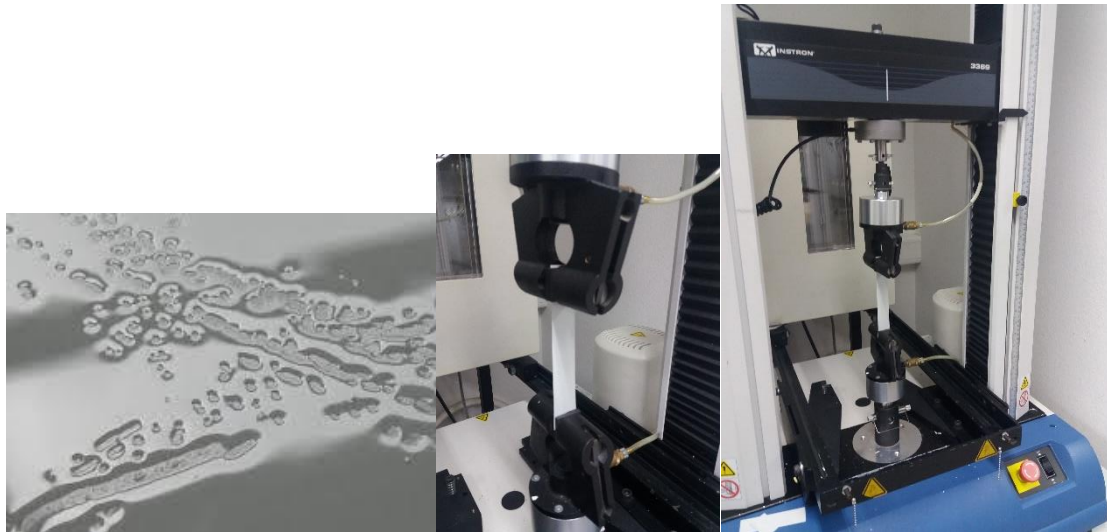


Abbildung 4: Darstellung der Abbildung zu den Applikationen der Lacke auf den Folien

System-Nr.	Lackierdatum	Benetzung auf		Ablösbar		Ablösdatum	Aufrollbar
		Folie intern	Folie Plasma	Folie intern	Folie Plasma		Folie Plasma
1	10.12.2020	ja	nein	ja	nein	15.12.2020 / -	ja
2	10.12.2020	ja	ja	ja	ja	11.12.2020 / 11.12.2020	nein
3	10.12.2020	ja	ja	ja	ja	11.12.2020 / 11.12.2020	ja
4	10.12.2020	ja	ja	ja	ja	11.12.2020 / 11.12.2020	ja
5	10.12.2020	ja	nein	ja	nein	11.12.2020 / -	nein

Abbildung 5: Auswertung der ersten Testergebnisse

Anschließend wurden Tests zur Elongation vollzogen und ausgewertet (Abbildung 3).

System-Nr.	Testdatum Elongation	Messung Elongation Folie intern									Messung Elongation Folie Plasma									
		1	2	3	4	5	6	7	8	Mittelwert	1	2	3	4	5	6	7	8	Mittelwert	
1	17.12.2020	15,5	123,7	147,7	136,3	108,7	151,7	-	-	113,917										
2	17.12.2020	4	4,333	5,333	-	-	-	-	-	4,555	4,667	4,333	4,667	-	-	-	-	-	-	4,555
3	17.12.2020	56	63,33	77	85,67	64,33	-	-	-	69,267	93	53	73,67	64	77,67	84,67	86	86,67	77,333	
4	17.12.2020	157	131,7	82,48	117,7	181,3	170,7	104	154,3	137,394	35,67	51,67	63,33	38	152,3	-	-	-	68,2	
5	17.12.2020	3,667	3	4,333	-	-	-	-	-	3,667										

Legende		
<18	18-100	>100

Abbildung 6: Auswertung der Elongation

In Summe wurden bereits ca. 40 Applikationstests und Bewertungen durchgeführt. Nach der Ausweitung der Tests auf weitere Inhouse-Lacksysteme und Bindemittel wurden zunächst 14 interne Lacksysteme als interessant für die Applikation als Primer identifiziert.

Das Bindemittelscreening hingegen zeigte starke Benetzungsprobleme auf den Plasma-behandelten Folien, sodass kein System einen geschlossenen Film erzeugen konnte. Daher wurde der Fokus auf benannte In-House-Produkte in der weiteren Projektbearbeitung gelegt.

Von den untersuchten Inhouse-Lacksystemen wurde die Auswahl auf 4 Systeme eingeschränkt, die entgegen den anderen Systemen über eine vielversprechende Dehnbarkeit/Flexibilität und gleichzeitig über eine gute Benetzung der vom Projektpartner IFAM bereitgestellten Folien aufwiesen.

Diese 4 Lacksysteme wurden anschließend zur Testung ihrer Eigenschaften zunächst auf luftfahrtspezifische Aluminiumbleche aufgebracht. Die Ergebnisse der Testung sind in Abbildung 7 dargestellt

System		Haftung (DIN 2409)	Ritzhärte (ISO 1519)	Wassereinlagerung (14d RT)			Impact (3,8mm)	Skydrol (14d RT)
				Haftung (DIN 2409)	Ritzhärte (ISO 1519)	Blasengrad		Ritzhärte (ISO 1519)
1	lösemittelhaltig	Gt 0	2000 g	Gt 5	1000 g	0(s0)	i.O.	200 g
2	lösemittelhaltig	Gt 0	2000 g	Gt 0	2000 g	0(s0)	i.O.	800 g
3	lösemittelhaltig	Gt 1	1800 g	Gt 1	1000 g	0(s0)	i.O.	200 g
4	wässrig	Gt 3	800 g	Gt 5	800 g	0(s0)	i.O.	300 g

Abbildung 7: Testergebnisse der 4 Lacksysteme auf Alu

Hierbei ist zu erkennen, dass speziell System 2 die besten Ergebnisse in der Testung aufzeigt und keines der Systeme die Tests zur Ritzhärte nach einer Skydroleinlagerung besteht.

In Kooperation mit dem Projektpartner IFAM wurden zusätzlich verschiedene Variationen an der Plasmavorbereitung und den untersuchten Folien in Kombination mit den benannten Lacksystemen durchgeführt, um die Benetzung weiter zu verbessern und zu optimieren.

Anschließend wurden die 4 Systeme bei dem IFAM auf Bauteile übertragen und das Haftungs- und Dehnungsverhalten getestet (siehe Abbildung 8).

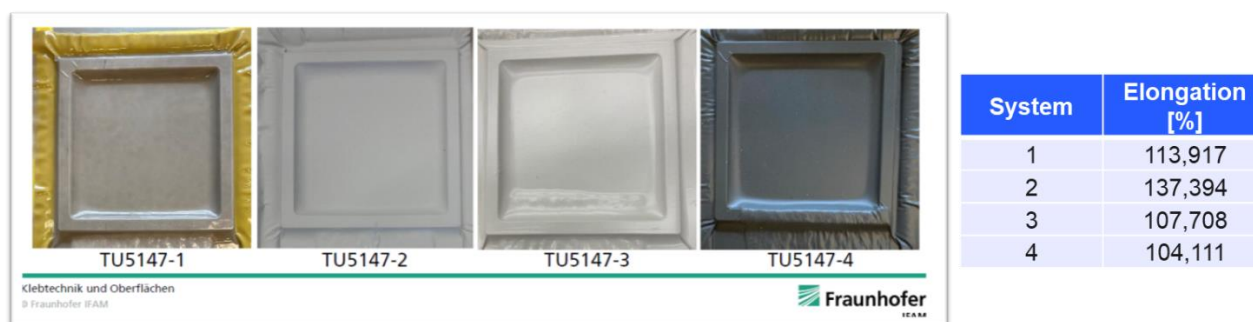


Abbildung 8: Übertrag und Haftungsversuch der 4 ausgewählten Lacksysteme

Hierbei wurde eine Harzunverträglichkeit für die Systeme 1+3 identifiziert, weshalb im weiteren Projektverlauf mit der Untersuchung und Optimierung der Systeme 2+4 vorangeschritten wurde.

Mit den Systemen 2 + 4 wurde anschließend das spätere Gesamtsystem (Aktivierung, Primer, Decklack) auf Aluminium hergestellt, die Verträglichkeit der einzelnen Schichten und Prozesse getestet und mit verschiedenen Tests evaluiert und ausgewertet.

Die Ergebnisse zur Wassereinlagerung sind in Abbildung 9 zusammengefasst:

DHiiP-System	Aktivierung	EXT Primer	EXT Topcoat	Haftung (ISO 2409)	Ritzhärte (ISO 1518)	Wassereinlagerung 14d RT					
						120°C		180°C		RT	
						Haftung (ISO 2409)	Ritzhärte (ISO 1518)	Haftung (ISO 2409)	Ritzhärte (ISO 1518)	Haftung (ISO 2409)	Ritzhärte (ISO 1518)
2	-	-	-	GT0	1100	GT0	700	GT4	800	GT0	700
	-	-	+	GT0	2000	GT0	800	GT2	1400	GT2	1300
	-	+	+	GT0	2000	GT0	1900	GT0	2000	GT0	2000
	+	+	+	GT0	2000	GT0	2000	GT0	2000	GT0	2000
4	-	-	-	GT0	1700	GT3	1200	GT4	1300	GT4	0
	-	-	+	GT0	2000	GT5	500	GT5	0	totaler Haftungsverlust	Blasen auf ganzer Fläche
	-	+	+	GT0	2000	GT5	1100	GT5	1000		
	+	+	+	GT0	2000	GT5	1700	GT5	1000		

Abbildung 9: Tests zur Wassereinlagerung der Systeme 2+4 mit verschiedener Vorbehandlung und Schichtaufbau

Die Ausgangswerte der Systeme konnten als i.O. eingestuft werden. Allerdings zeigte das System 4 (wasserbasiertes Lacksystem) deutliche Schwächen bei der Wassereinlagerung, während System 2 deutlich vielversprechendere Eigenschaften aufwies.

Ähnliche Tendenzen ergaben sich ebenfalls innerhalb durchgeführter Humidity-Tests (siehe Abbildung 10):

DHiiP-System	Aktivierung	EXT Primer	EXT Topcoat	Humidity 500h								
				120°C			180°C			RT		
				Haftung (ISO 2409)	Ritzhärte (ISO 1518)	Blasengrad	Haftung (ISO 2409)	Ritzhärte (ISO 1518)	Blasengrad	Haftung (ISO 2409)	Ritzhärte (ISO 1518)	Blasengrad
2	-	-	-	GT0	1200	0(s0)	GT0	1000	0(s0)	GT0	800	0(s0)
	-	-	+	GT3	1200	0(s0)	GT0	1200	0(s0)	GT0	900	2(s2)
	-	+	+	GT0	2000	0(s0)	GT0	2000	0(s0)	GT0	1700	0(s0)
	+	+	+	GT1	2000	0(s0)	GT0	2000	0(s0)	GT0	1800	0(s0)
4	-	-	-	GT0	800	0(s0)	GT5	n.m.	5(s3)	GT5	800	2(s4)
	-	-	+	GT5	n.m.	5(s2)	GT5	n.m.	5(s2)	GT5	n.m.	5(s5)
	-	+	+	GT5	1600	0(s0)	GT5	n.m.	5(s2)	GT5	n.m.	5(s5)
	+	+	+	GT5	1800	0(s0)	GT5	n.m.	5(s2)	GT5	n.m.	5(s5)

Abbildung 10 Humidity-Tests der Systeme 2+4 mit verschiedener Vorbehandlung und Schichtaufbau

Bei der Durchführung der Skydroltests ergab sich für beide Systeme auf den Aluminium-Substraten, dass diese in der untersuchten Zusammensetzung keine ausreichende Skydrolbeständigkeit aufweisen konnten. Dies führte bis hin zur kompletten Ablösung der Lackbeschichtung, wie in Abbildung 11 dargestellt.



Abbildung 11: Abbildung der getesteten Beschichtungen nach Skydroleinlagerung nach 1.000 h bei 70 °C

Nach diesen Versuchen und der weiteren Optimierung seitens IFAM bzgl. der Auswahl der Folien für die Trennschicht und deren Oberflächenbehandlung mittels der Plasmavorbehandlung wurden die Versuche mit den Lacksystemen von diesem Zeitpunkt an vornehmlich an Folien und RTM-Bauteilen von dem IFAM durchgeführt. So sollten die Versuche so nah wie möglich am finalen Gesamtsystem durchgeführt und der Einfluss der Substrate und deren Vorbehandlung auf die Eigenschaften des Lacksystems identifiziert werden.

Hierfür wurden die Folien mit der Bezeichnung DH06.4 verwendet und eine Trocknung bei RT und bei 2 h bei 120 °C untersucht. Hierbei ergab sich für die Lacksysteme 2+4:

- eine gute Benetzung mit teilweise hoher Schichtdicke,
- ein Loslösen des Films auch nach Lagerung,
- eine problemlose Aufrollung.

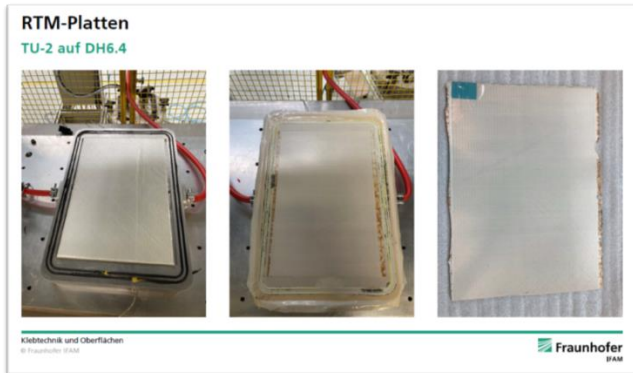
Die erreichbare Dehnung (Elongation) konnte für System 2 bis 307 % und für System 4 bis 125 % gemessen werden.

Nach diesen erfolgreichen Versuchen und der erfolgreichen Kombination von Trennschicht, Plasmaprozess und Primerbeschichtung wurden die Lacksysteme als nächstes in einem RTM-Bauteil und zugehörigem Herstellungsprozess getestet und evaluiert.

Hierfür wurden RTM-Bauteile mit den Systemen 2 und 4 beim Projektpartner IFAM gefertigt und anschließend seitens Mankiewicz evaluiert. Hierbei ist zu beachten, dass der RTM-Prozess hohe Herstellungstemperaturen und eine lange Prozesszeit im Labormaßstab benötigt (dies ermöglicht ca. die Herstellung eines RTM-Bauteils pro Tag und schränkt daher die Anzahl Versuchsreihen ein, weshalb im weiteren Verlauf auch das Preprag-Verfahren zur Evaluation der Lacke genutzt wird. Dieses ist schneller und von der Herstellungsrouten vergleichbar).

Der Herstellungsprozess eines RTM-Bauteiles inklusive Primer ist in Abbildung 12 dargestellt.

System 2



System 4



Abbildung 12: Herstellung der RTM-Bauteile bei IFAM

Die so erstellten Platten wurden anschließend nach den gleichen Verfahren getestet wie zuvor die Schichten auf den Aluminium-Substraten. Die Ergebnisse sind in Abbildung 13 dargestellt.

Wassereinlagerung (14d RT)

DHiiP-System	Aktivierung	EXT Primer	EXT Topcoat	Haftung (ISO 2409)	Ritzhärte (ISO 1518)	Wassereinlagerung 14d RT	
						Haftung (ISO 2409)	Ritzhärte (ISO 1518)
2	-	-	-	Gt 0	2000	Gt 0	2000
	-	-	+	Gt 0	2000	Gt 0	2000
	-	+	+	Gt 0	2000	Gt 0	2000
	+	+	+	Gt 0	2000	Gt 0	2000
4	-	-	-	Gt 0	2000	Gt 0	2000
	-	-	+	Gt 0	2000	Gt 0	2000
	-	+	+	Gt 0	2000	Gt 0	2000
	+	+	+	Gt 0	2000	Gt 0	2000

Humidity (500h 40°C)

DHiiP-System	Aktivierung	EXT Primer	EXT Topcoat	Haftung (ISO 2409)	Ritzhärte (ISO 1518)
2	-	-	+	Gt 0	2000
2	-	+	+	Gt 0	2000
2	+	+	+	Gt 0	2000
4	-	-	-	Gt 0	2000
	-	-	+	Gt 0	2000
	-	+	+	Gt 0	2000
	+	+	+	Gt 0	2000

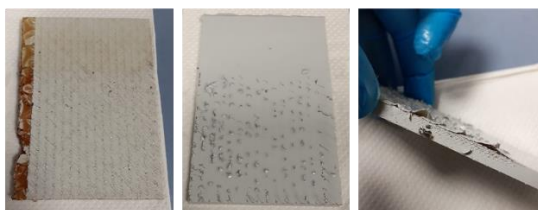
Abbildung 13: Testergebnisse der Lacksysteme 2+4 auf den RTM-Bauteilen

Beide Systeme zeigen im RTM-Bauteil (mit und ohne zusätzlichen Aufbauten bzw. externen Schichtsystemen) eine sehr gute Beständigkeit. Die Verbesserung der Eigenschaften ist vermutlich auf die hohen Prozesstemperaturen und das Substrat (RTM-Bauteil) zurückzuführen.

Lediglich bei der Skydroleinlagerung zeigten beide Systeme nach wie vor Probleme und eine mangelnde Beständigkeit.

Die Bauteile nach einer Skydroleinlagerung bei 70 °C für 1.000 h ist in Abbildung 14 dargestellt:

System 2



System 4

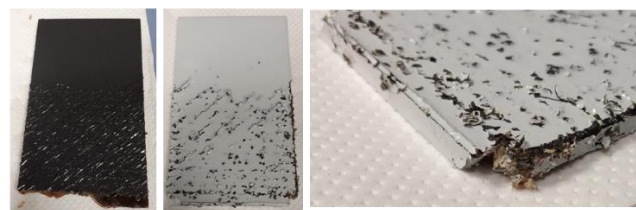


Abbildung 14: Skydroleinlagerungstests an System 2+4 im RTM-Bauteil

Aufgrund der verbesserten Eigenschaften der Lacksysteme im Bauteil wurden weitere Tests und Versuche nun an RTM-Bauteilen bzw. aufgrund der erwähnten Zeiteinsparung an Preprag-Bauteilen durchgeführt.

Zusammenfassend ist zu erwähnen, dass außer der Skydrolbeständigkeit alle Tests und Anforderungen an das Lacksystem erfolgreich erfüllt werden konnten, weshalb im weiteren Verlauf die Ursache für die mangelnde Skydrolbeständigkeit untersucht wurde und eine Optimierung des Verhaltens bearbeitet wurde. Hierbei wurde sich auf das System 2 fokussiert aufgrund seiner allgemein besseren Eigenschaften in den durchgeführten Tests und speziell wegen der vergleichsweise deutlich besseren Wasser- und Skydrolbeständigkeit.

Im Folgenden wurden verschiedene Modifikation an Lacksystem 2 durchgeführt:

- Umstellung des Farbtons auf „gelb“
- Elimination Überflüssiger Additive
- Variation des Vernetzungsgrad
- Modifikation des Bindemittelsystems
- Optimierung der Additive

Dies resultierte zunächst in 9 Modifikationen:

- | | | |
|-------------|---------|-------------------------------------------------|
| • System 1: | DIP0010 | Standard |
| • System 2: | DIP002 | Standard in gelb |
| • System 3: | DIP003 | mehr Bindemittel 1 |
| • System 4: | DIP004 | weniger Bindemittel 2 |
| • System 5: | DIP005 | ohne Additiv R |
| • System 6: | DIP006 | ohne Additiv B |
| • System 7: | DIP007 | mehr Additiv B |
| • System 8: | DIP008 | mit Bindemittel 3 zusätzlich |
| • System 9: | DIP009 | mit Bindemittel 3 im Austausch zu Bindemittel 2 |

Diese wurden zunächst zur schnellen Evaluation nochmals auf Aluminium und einem Kompositwerkstoff auf ihre Skydrolbeständigkeit untersucht. Die Ergebnisse sind in Abbildung 15 dargestellt:

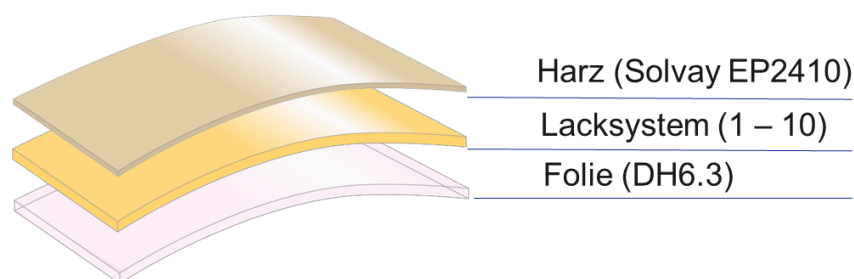
Primer	substrate	pre-treatment	initial	Skydroleinlagerung 500h RT	
			Ritzhärte ISO 1518 [g]	Ritzhärte ISO 1518 [g]	Blasengrad
Standard	AA 2024 clad	TSA	1200	<400	0(s0)
DIP002	AA 2024 clad	TSA	1000	<400	0(s0)
DIP003	AA 2024 clad	TSA	1400	<400	0(s0)
DIP004	AA 2024 clad	TSA	1000	<400	0(s0)
DIP005	AA 2024 clad	TSA	1400	400	0(s0)
DIP006	AA 2024 clad	TSA	1000	400	0(s0)
DIP007	AA 2024 clad	TSA	1200	<400	0(s0)
DIP008	AA 2024 clad	TSA	2000	400	0(s0)
DIP009	AA 2024 clad	TSA	1800	<400	0(s0)
Standard	Composite	sanding	1000	400	0(s0)
DIP002	Composite	sanding	800	400	0(s0)
DIP003	Composite	sanding	1200	600	0(s0)
DIP004	Composite	sanding	800	<400	0(s0)
DIP005	Composite	sanding	1000	400	0(s0)
DIP006	Composite	sanding	600	400	0(s0)
DIP007	Composite	sanding	1000	<400	0(s0)
DIP008	Composite	sanding	2000	800	0(s0)
DIP009	Composite	sanding	1600	600	0(s0)

Abbildung 15: Skydrobeständigkeitstests der 9 Modifikation auf Aluminium (AA 2024) und einem Kompositwerkstoff (Composite)

Die Skydrobeständigkeit war zu diesem Zeitpunkt noch nicht ausreichend, allerdings zeigten die Systeme DIP003, 008 und 009 eine leichte Verbesserung.

Parallel wurde der Einfluss des vergleichsweise aggressiven Harzes (Solvay EP2410), welches im RTM-Verfahren verwendet wird, mit dem Lacksystem gemeinsam im Labormaßstab erprobt und untersucht. Die Harzbeständigkeit wurde an folgendem System (siehe Abbildung 16) und den genannten Parametern untersucht:

Harzbeständigkeit - Aufbau



- 7d RT Trocknung des Lackes auf der Folie
- Aufbau für 5 Min. bei 100°C aufwärmen
- Auftrag des Harzes
- Gesamtes System für 2h bei 180°C lagern

Abbildung 16: Aufbau des Systems, welches zur Harzbeständigkeit untersucht wurde

Die Ergebnisse der Tests sind in dargestellt Abbildung 17.



18.02.2022

Abbildung 17: Test der Harzbeständigkeit der 9 Modifikationen von Lacksystem 2

Die Ergebnisse zeigen, dass keine der Modifikation eine Beständigkeit gegenüber dem Harz aufweist. Lediglich Modifikation DIP006 zeigt ein unterschiedliches ggf. leicht verbessertes Verhalten gegenüber den anderen Systemen.

Aufgrund der identifizierten Problematik mit der Unverträglichkeit zum Harz „Solvay“ wurden in den weiteren Tests zur Skydrolbeständigkeit ebenfalls Preprag-basierte Bauteile untersucht (schnellere Herstellung und Verwendung eines anderen Harzes im Herstellungsprozess).

Hierbei wurden zunächst die Modifikationen „Standard“, und DIP003 und DIP009 aufgrund ihrer besseren Eigenschaften im Bauteil bzgl. der Skydrolbeständigkeit untersucht.

Die hergestellten Bauteile sind in Abbildung 18 dargestellt:

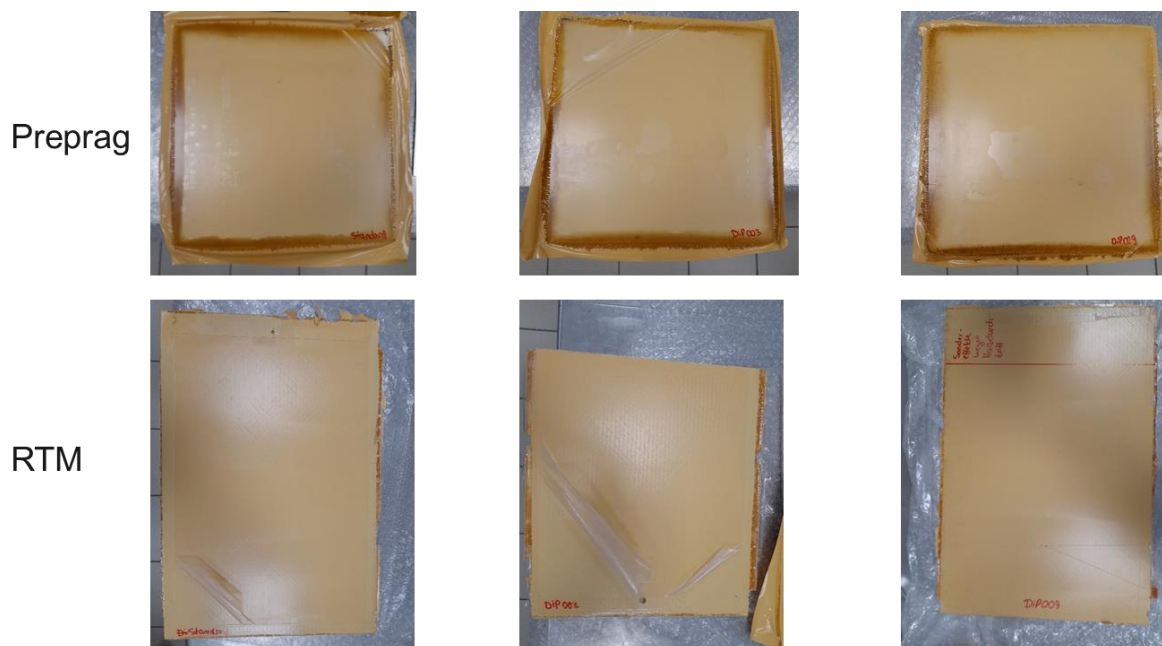


Abbildung 18: Mittels RTM- und Preprag-Verfahren hergestellte Bauteile für die Skydrolbeständigkeitstests
 Hierbei zeigte sich, dass sich die Trennfolie beim Preprag-Herstellungsverfahren anschließend leichter vom Bauteil trennen lässt. Gleichzeitig ließ sich bei DIP009 im RTM-Verfahren die Folie nicht mehr entfernen.

Anschließend wurden die Bauteile dem Skydrolbeständigkeit-Test unterzogen. Hierbei wurden die Bauteile mit einem Kantenschutz versehen, aufgrund der Vermutung, dass das Skydrol durch die Seitenflächen in das System eindringt und die Schichten voneinander löst.

Die Ergebnisse der Tests sind in Abbildung 19 dargestellt.

Nr.	Primer	Bauteil	Skydroleinlagerung 336h bei RT		Bemerkung
			Ritzhärte ISO 1518 [g]	Blasengrad	
1	Standard	RTM	600	0(s0)	-
2	DIP003		400	0(s0)	-
3	DIP009		-	0(s0)	Folie nicht abziehbar
4	Standard	Preprag	800	0(s0)	-
5	DIP003		600	0(s0)	-
6	DIP009		800	0(s0)	-

Abbildung 19: Skydrolbeständigkeit-Tests an RTM- und Preprag-Bauteilen der untersuchten Modifikationen von System 2

Hierbei zeigte sich, dass mit dem Kantenschutz die Randproblematik gelindert werden konnte. Außerdem konnte festgestellt werden, dass sich die Preprag-Bauteile ebenfalls für die Testung der Skydrolbeständigkeit eignen. Aufgrund der einfacheren und schnelleren Herstellung der Preprag-Bauteile sollen zunächst weitere Optimierungen anhand dieses Verfahrens getestet werden. Zusammenfassend sind die ermittelten Härtewerte nach der Skydroleinlagerung immer noch nicht ausreichend, weswegen im weiteren Projektverlauf weitere Modifikationen und Optimierungen an dem Lacksystem durchgeführt werden sollen.

Hierbei befinden sich derzeit 15 Variationen in Testung wobei folgende Arten von Modifikationen untersucht werden sollen:

- Variation des Vernetzungsgrades
- Bindemittel-Varianten
- Variation der Füllstoffe
- Kreuzversuche mit Standard-Material
- Variationen des Härter
- Variation in der Trocknung

Parallel zu den beschriebenen Arbeiten wurden zudem Schichten der Lacksysteme 2+4 auf Rollen aufgerollt und eingelagert und sollen im kommenden Berichtszeitraum auf ihre Lagerstabilität hin untersucht werden.

Im Projektverlauf wurden zudem zwei Prototypen mit großflächigem Lackauftrag (450 x 630 mm) auf Basis von Lacksystem 2 und 4 an die Projektpartner Airbus und IFAM für Applikationstests übergeben werden.

So konnten mit den dargestellten Arbeiten und Ergebnissen zum derzeitigen Projektstand die folgenden Meilensteine erfolgreich abgeschlossen und absolviert werden:

M1: Bereitstellung erster Inmould-Primer-Prototypen an das IFAM

M2: Einzelfertigung lackierter Trennfolie für AP2.3

Ergebnisse Berichtszeitraum 2022

Der vergangene Berichtszeitraum 2021 war von umfangreichen Modifikationen des Lacksystems zur Realisierung der Skydrolbeständigkeit geprägt, die zum Ende 2021 noch nicht erreicht wurde.

Genau an dieser Stelle wurden die Arbeiten im Berichtszeitraum 2022 fortgesetzt. In der ersten Hälfte des Jahres 2022 wurden gut fünfzig modifizierte Lackrezepturen erarbeitet, hergestellt, appliziert und untersucht (Abbildung 20 - Abbildung 21). Die Kern-Herausforderung lag in der Erforschung eines praktikablen Parameterfensters für die im Widerspruch stehenden technischen Parameter Elongation und Skydrolbeständigkeit.

Im ersten Quartal 2022 zeigte sich, dass die Skydrolbeständigkeit vor allem durch eine engere Vernetzung der Molekülketten erzielt werden kann - mit dem Nachteil, dass die Lackschicht hart und spröde wurde.

Im Folgenden wurden die Einflüsse von Vernetzungsgrad, Bindemittel-Varianten, Füllstoffen, Härtern und Trocknungsparameter auf das Lacksystem erforscht, mit dem Ziel, die

Hauptinflussgrößen der Elongation zu ermitteln. Ergebnis der Untersuchung ist, dass der Vernetzungsgrad und die Bindemittelzusammensetzung den größten Einfluss aufweisen.

Auf Grundlage der neu gewonnenen Erkenntnisse wurden zur Hälfte des vergangenen Berichtszeitraumes vier Formulierungen entwickelt, die sowohl eine Elongation von > 100 % als auch eine RT Ritzhärte von > 1200 g gegen Skydrol auf Preprag aufweisen.

Mit der Realisierung eines flexiblen und Skydrol beständigen Lacksystems wurde ein zentraler Bestandteil des Lösungsweges erfolgreich erzielt und nachgewiesen (Abbildung 22).

System	Beschreibung	Elongation [%]	Skydrol 500h RT Ritzhärte [g]		Skydrol 500h 70°C Ritzhärte [g]
			Preprag	Alu	Preprag
1	Standard	74,09	800	600	600
2	Bindemittel I	n.m.	800	800	800
3	Bindemittel II	137,62	600	1000	600
4	Bindemittel III	121,34	600	1200	600
5	Füller I	97,54	600	400	600
6	Füller II	89,62	800	400	1000
7	mit Beschleuniger	118,74	600	300	600
8	Vernetzungsgrad +	115,73	1000	1000	400
9	Vernetzungsgrad ++	66,59	1000	1000	1000
10	Vernetzungsgrad -	101,23	400	0	400
11	Härter I	56,56	600	1200	600
12	Härter II	86,62	-	800	-
13	Härter III	4,67	2000	2000	2000
14	Härter IV	44,73	600	1000	800
15	Härter V	60,06	400	1000	400

Abbildung 20: Zwischenergebnisse der hergestellten Rezepturen.

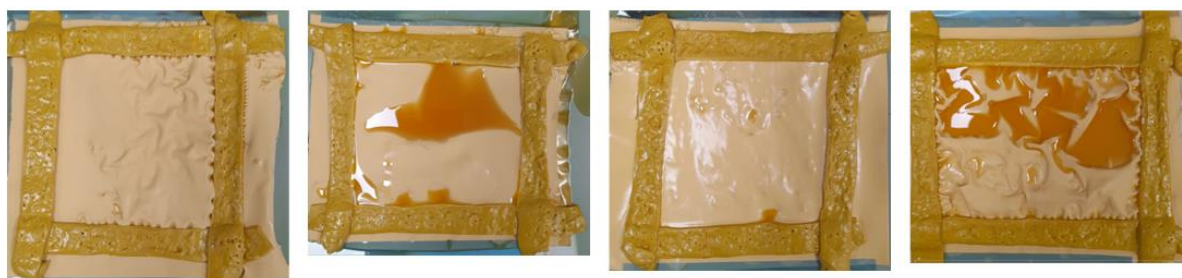


Abbildung 21: Beispielhafte Darstellung in Abbildung 1 dargestellter Rezepturen bei Prüfung auf Harzbeständigkeit.

System	Beschreibung	Schichtdicke [µm]	Elongation [%]	Skydrol 500h RT Ritzhärte [g]	
				Preprag	Alu
1	Standard mit Härter neu	62	67,23	600	600
2	Bindemittel I + II (VG +)	58	126,76	800	<400
3	Bindemittel I + II (VG ++)	52	93,9	800	<400
4	Bindemittel I + II (VG +++)	53	109,41	800	<400
5	Bindemittel I (VG+)	46	-	1000	<400
6	Bindemittel I (VG++)	53	-	1200	<400
7	Bindemittel I (VG+++)	116	-	1200	<400
8	Bindemittel III	55	81,9	1000	400
9	Bindemittel II (VG+)	64	110,12	1000	<400
10	Bindemittel II (VG++)	73	104,54	1200	400
11	Bindemittel II (VG+++)	85	114,21	1200	400
12	Bindemittel I + II + III (VG+)	75	94,01	1400	600
13	Bindemittel I + II + III (VG++)	83	124,45	1400	600
14	Bindemittel I + II + III (VG+++)	88	112,94	2000	800
15	Standard mit Härter alt	67	63,87	1000	800

Abbildung 22: Realisierung flexibler und Skydrolbeständiger Lackformulierungen in „rot“ markiert.

In der zweiten Projekthälfte wurden ein erweitertes Prüfprogramm der neuartigen Rezepturen auf Preprag (Schichtdickenabhängigkeit der Elongation, Benetzungseigenschaften auf der Trennfolie, Preprag Versuche, Modifikation der Lackrezepturen etc.) sowie zur Identifizierung der Trocknungsparameter erarbeitet.

Darüber hinaus wurden bei Mankiewicz Applikationssimulationen durchgeführt, um schneller Erkenntnisse zur Lackmodifikation zu gewinnen, die bei der Herstellung von RTM-Panelen beim IFAM aufgetreten sind. Der Fokus von Mankiewicz lag auf der Untersuchung der Trocknungsbereiche, um bei der späteren Applikation am Deskoater (bestehende Applikations-Anlage beim IFAM) eine gute Trocknung zu erzielen.

Die wichtigsten Ergebnisse aus den Untersuchungen des erweiterten Prüfprogramms sind in Abbildung 23 - Abbildung 26 dargestellt.

System	Folie	Schichtdicke [µm]	Elongation [%]
1	freier Film	35	76,41
		35	67,39
		60	106,27
		60	90,14
2	freier Film	60	98,5
		50	87,74
		70	85,51
		45	149,62
1	Folie + Lack	50	114,62
		50	219,33
		73	189,28
		60	161,67
3	Folie + Lack	75	195,87
		???	176,73
		60	205,87

System 1	Bauteil		Schichtdicke [µm]	Impact (50cm Fallhöhe)	Dornbiege (2mm)
1	Alu	TSA	30	i.O.	i.O.
2	Alu	TSA	30	i.O.	i.O.
3	Alu	TSA	35	i.O.	i.O.
4	Alu	TSA	55	i.O.	i.O.

Abbildung 23: Ergebnisse zum Einfluss der Schichtdicke auf die Elongation der vier ausgewählten Lacksysteme (links) sowie Flexibilität (rechts). Sowohl die Skydrolbeständigkeit als auch die Feuchtigkeitstests auf Preprag sind bestanden.

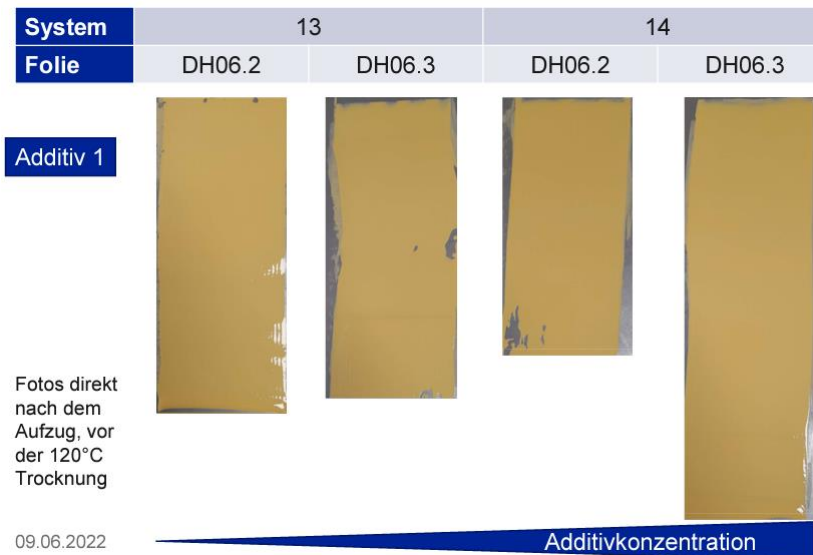
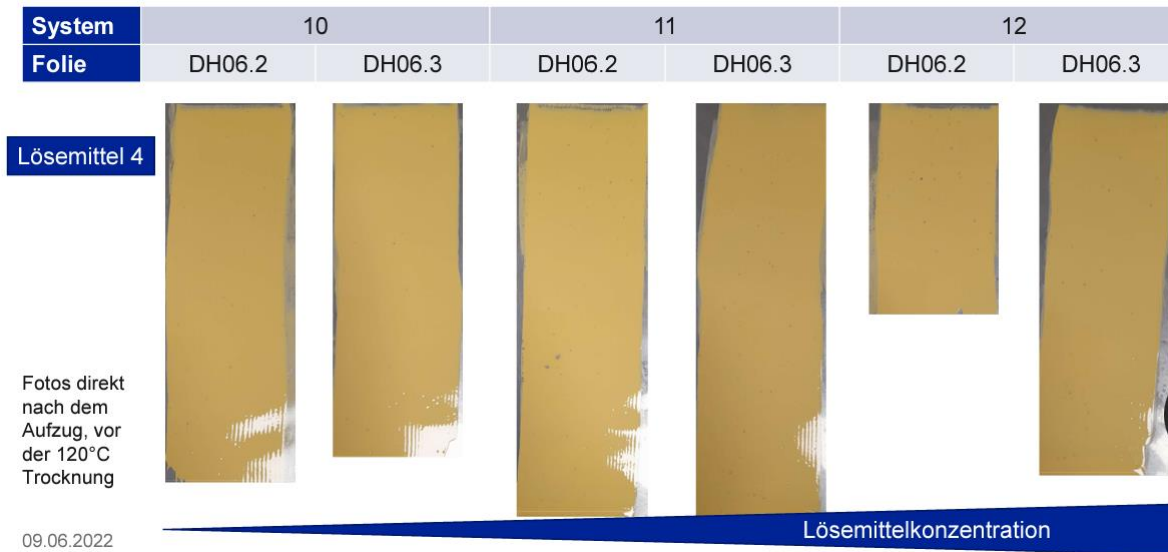


Abbildung 24: Beispiele für modifizierte Lacksysteme in der Lösemittelkonzentration (oben) und Additivkonzentration (unten) und deren Auswirkung auf die Benetzungseigenschaften.

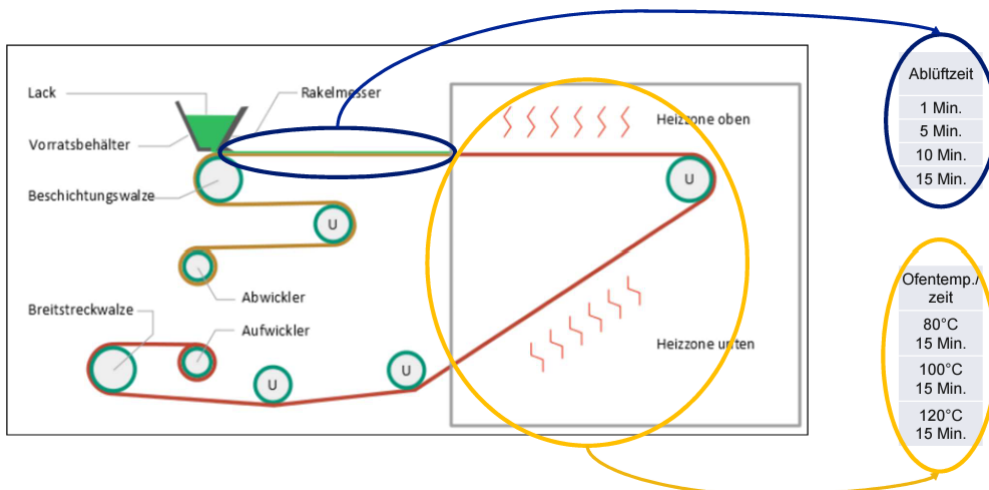


Abbildung 25: Erarbeitetes Konzept der Applikationsversuche.

Test Nr.	Ablüßzeit	Ofentemp./zeit	System	Schichtdicke [µm]	optische Bewertung	Trockengrad (TG7)	Bemerkung	
1	1 Min.	80°C 15 Min.	1	30	i.O.	-	23.02.2022 19,3°C 40,7%	
2	5 Min.			21	i.O.	-		
3	10 Min.			18	i.O.	-		
4	15 Min.			21	i.O.	-		
5	1 Min.	100°C 15 Min.		27	i.O.	~ TG5		
6	5 Min.			26	i.O.	~ TG5		
7	10 Min.			25	i.O.	~ TG5		
8	15 Min.			26	i.O.	~ TG5		
9	1 Min.	120°C 15 Min.		28	i.O.	TG7		auffrollen (1)
10	5 Min.			22	i.O.	TG7		auffrollen (1)
11	10 Min.			32	i.O.	TG7		auffrollen (1)
12	15 Min.			25	i.O.	TG7		auffrollen (1)
13	1 Min.	80°C 15 Min.	2	28	i.O.	TG7	auffrollen (3)	
14	5 Min.			27	i.O.	TG7	auffrollen (3)	
15	10 Min.			26	i.O.	TG7	auffrollen (3)	
16	15 Min.			22	i.O.	TG7	auffrollen (3)	
17	1 Min.	100°C 15 Min.		27	i.O.	TG7	auffrollen (2)	
18	5 Min.			26	i.O.	TG7	auffrollen (2)	
19	10 Min.			23	i.O.	TG7	auffrollen (2)	
20	15 Min.			26	i.O.	TG7	auffrollen (2)	
21	1 Min.	120°C 15 Min.		Keine Verwendung, da 100°C bereits i.O. ist				
22	5 Min.							
23	10 Min.							
24	15 Min.							

Abbildung 26: Ergebnisse der Applikationsversuche.

Eine Problematik war, dass die Oberflächenqualität beim IFAM nicht der Oberflächenqualität bei Mankiewicz entsprach, was auf eine unterschiedliche Handhabung der Lackmuster bei der Applikation zurückzuführen war. Diese Problemstellung wurde durch die Durchführung eines Workshops beim IFAM gelöst.

Darüber hinaus sind Schwierigkeiten beim Lösen der Folien von den RTM-Bauteilen aufgetreten. Zur Überwindung der dargestellten Problemstellung wurden neue Lösungsansätze erarbeitet, deren Umsetzung im kommenden Berichtszeitraum erfolgt.

Ergebnisse Berichtszeitraum 2023 und 2024

Der Berichtszeitraum 2023 war von der Untersuchung des Primerauftrages geprägt. Ein zentrales Problem bestand darin, dass der Lack DIP 027 Stippen in der getrockneten Beschichtung aufwies, die die Aerodynamik verschlechtern.

Das Ergebnis umfangreicher Untersuchungen bestand darin, dass sich ein Pigment der Formulierung in lokaler Häufung ablagerte. Zur Lösung wurden nicht die Lackbestandteile geändert, sondern das Herstellungsverfahren modifiziert. Konkret wurde das identifizierte Pigment gemahlen und der Formulierung im Herstellungsprozess früher zugeführt. Ergebnis war die Formulierung DIP 031 (Abbildung 27).

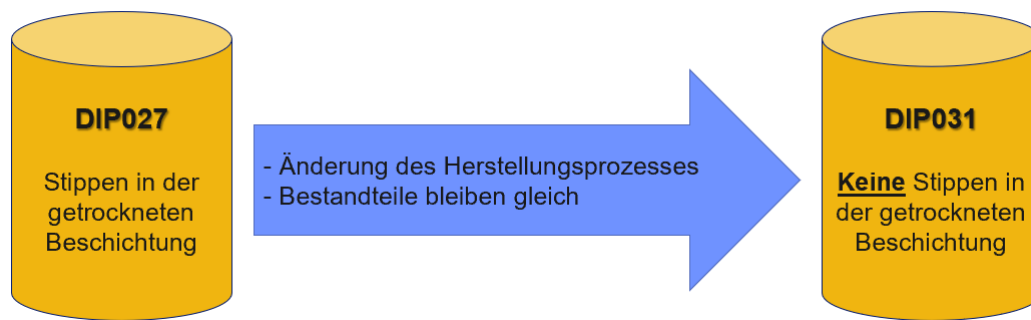


Abbildung 27: Entwicklungsschritt DIP027 zu DIP031.

Im Folgenden wurde eine 200 kg Charge DIP 31 hergestellt und Verlaufsversuche mit modifizierenden Additiven durchgeführt, um die Benetzung der Formulierung auf den verschiedenen verfügbaren Folien zu verbessern. Der Lösungsansatz bestand darin, verschiedene Lösemittel und Verlaufsadditive einzusetzen.

Ergebnis war, dass die eingesetzten Lösemittel zu keiner Verbesserung der Benetzung führten. Die Modifikationen Nr. 13 – 20 enthielten Silikon, die im Falle einer Überlackierung zu Problemen führen würde. Auf Grundlage der Modifikation Nr. 21 und 22 wurde die Varianten DIP 031 /2 und /3 entwickelt und Topfzeituntersuchungen durchgeführt (Abbildung 28).

Nr.	Modifikation	Nr.	Modifikation	Nr.	Modifikation	Topfzeit
1	Lösemittel 1 (+%)	13	Additiv 1 (+%)	1	DIP031	0 Min.
2	Lösemittel 1 (+++%)	14	Additiv 1 (+++%)	2	DIP031	15 Min.
3	Lösemittel 1 (+++%)	15	Additiv 2 (+%)	3	DIP031	30 Min.
4	Lösemittel 2 (+%)	16	Additiv 2 (+++%)	4	DIP031	60 Min.
5	Lösemittel 2 (+++%)	17	Additiv 3 (+%)	5	Additiv 5 (+%)	0 Min.
6	Lösemittel 2 (+++%)	18	Additiv 3 (+++%)	6	Additiv 5 (+%)	60 Min.
7	Lösemittel 3 (+%)	19	Additiv 4 (+%)	7	Additiv 5 (+++%)	0 Min.
8	Lösemittel 3 (+++%)	20	Additiv 4 (+++%)	8	Additiv 5 (+++%)	60 Min.
9	Lösemittel 3 (+++%)	21	Additiv 5 (+%)	9	Additiv 6 (+%)	0 Min.
10	Lösemittel 4 (+%)	22	Additiv 5 (+++%)	10	Additiv 6 (+%)	60 Min.
11	Lösemittel 4 (+++%)			11	Additiv 6 (+++%)	0 Min.
12	Lösemittel 4 (+++%)			12	Additiv 6 (+++%)	60 Min.

Silikonhaltig! (Modifikationen 13-20)
 Silikonfrei! (Modifikationen 21-22)

Abbildung 28: Modifikationen von DIP 031 (links) und Untersuchungen der Topfzeit von DIP 031 /1, /2, /3 (rechts).

Zur Untersuchung der Topfzeit wurden auf der Folie DH6.2 des IFAM Nass-Schichtdicken von 90 µm appliziert und 3 Minuten im RT sowie weitere 10 Minuten bei 100 °C getrocknet. Das Ergebnis der Untersuchung ist in Abbildung 29 dargestellt.

Fazit ist, dass bei Mankiewicz keine Benetzungsstörungen, wie beim IFAM auftreten. Darüber hinaus zeigt Additiv 5 die besten Ergebnisse. Ferner wurde abgeleitet, dass die Konzentration der Beschichtung über den Deskoater bestimmt werden soll. Hierzu wurde ein Workshop und ein Großversuch beim IFAM geplant.

System	Additiv	Folie	0h	1h
Standard		6.2	viele Krater	keine Krater zieht sich zusammen
		6.3	viele Krater	beste von Standard Systeme
DIP033/1	Additiv 5 (+)	6.2	5 Krater	i.O.
		6.3	2 Krater	i.O.
DIP033/2	Additiv 5 (++)	6.2	1 Krater	i.O.
		6.3	5 Krater	i.O.
DIP033/3	Additiv 6 (+)	6.2	Krater	keine Krater zieht sich zusammen
		6.3	vereinzelt Krater	i.O.
DIP033/4	Additiv 6 (++)	6.2	vereinzelt Krater zieht sich zusammen	keine Krater zieht sich zusammen
		6.3	vereinzelt Krater	i.O.

Abbildung 29: Ergebnis der Topfzeit Untersuchungen mit DIP 031 Varianten.

Im weiteren Projektverlauf wurden weitere Versuche zur Folienablösung bei RTM-Bauteilen durchgeführt. Hierzu hat Mankiewicz weitere Lacksysteme (DIP 034 – DIP 041) entwickelt und im zweiten Quartal an das IFAM übersendet. Dabei wurde festgestellt, dass sich die Folie nicht von der Lackschicht abziehen lässt. Die Variante DIP 038 löste sich komplett inkl. Lacksystem vom Bauteil ab. In der Folge erarbeitete das IFAM eine neue Lösung zur Plasmavorbehandlung und in Konsequenz den neuen Folientypen „Peel 1.2“.

Untersuchungen mit Peel 1.2 zeigten, dass sich die Folie vom Lack lösen lässt. Parallel hat Mankiewicz die Skydrolbeständigkeit bei RTM-Bauteilen für die System-Varianten DI 040 und 041 geprüft. DIP 041 zeigt eine sehr gute und DIP 040 eine grenzwertige Skydrolbeständigkeit (Abbildung 30).

Nr.	14d Skydrol bei RT Ritzhärte [g]
DIP040	1100
DIP041	1500

Abbildung 30: Ergebnis der Prüfung der Skydrolbeständigkeit bei RTM-Bauteilen von DIP 040 und 041.

Somit erfüllt DIP 041 alle technischen Anforderungen und wurde als Basis System festgelegt, das im Folgenden mit Verlaufsadditiven modifiziert wurde, um die Benetzung zu verbessern. Aus 24 potenziellen Varianten wurde System 5 in Kombination mit Peel 1.2 als bestes System identifiziert und als neuer Standard (DIP 044) definiert.

Folgend wurde die Skalierbarkeit von DIP 044 auf den Produktionsmaschinen von Mankiewicz untersucht. Dies ist ein sehr aufwändiger Prozess, der neben der Entwicklung der

Prozessführung in unterschiedlichen Batch Größen auch die Erstellung eines Eigenschaftsprofils sowie die Erstellung von Sicherheitsdatenblättern erfordert, um die prinzipielle Produktionsfähigkeit des Systems nachzuweisen (Abbildung 31).



TU 6476_E

Eigenschaftsprofil DIP044

Datum: 08.09.2023

Evaluiierung / Ergebnisse:

Key test	Test method	Test conditions	Requirement of todays glossy primers	Test specimen	Result
adhesion	ISO2409	no particular conditions	GT0	Preprag / RTM	pass
resistance to water	ISO2409; ISO1518; ISO2812; ISO4628 - 1, 2, 4, 5, 6	partial immersion at (23 ± 2)°C for 14 d; remove excess water with filter paper, tests performed within 30 min after removal from water	GT≤1; no penetration of the coating <1200g; no cracks, blistering or other damage	Preprag / RTM	pass
flexibility	ISO1519	progressive bending through 180°C around Ø 2 mm mandrel at (23 ± 2) °C and (50 ±5) % RH	no peeling, cracking or other damage	AA2024 clad + TSA	pass
impact resistance	ISO6272	Impact at the non coated side of the test panel, the penetration is 3.8 mm	Degree ≤2	AA2024 clad + TSA	pass
scratch resistance	ISO1518	no particular conditions	no penetration of the coating <1500g	Preprag / RTM	pass

Abbildung 31: Eigenschaftsprofil DIP 044.

Zum Primerauftrag wurden umfangreiche Prozessuntersuchungen mit DIP 041 auf dem Deskoater beim IFAM durchgeführt. Die Prozessparameter und Ergebnisse sind in Abbildung 32 dargestellt.

Nr.	Material / Modifikation	Bahngeschwindigkeit* [m/Min.]	Ofentemperatur* [°C]	Temperatur an Folie [°C]	Schichtdicke des Lackes [µm]	Krater	Fehlstellen
1	Standard	0,3	79-82	60-70	60-65	+	-
2	Standard	0,4	79-82	60-70	65-70	+	-
3	Standard + Lösemittel	0,4	79-82	60-70	54-57	o	-
4	Standard + Verlaufsadditiv + Lösemittel	0,4	79-82	60-70	55-60	++	-
5	Standard	0,4	95-100	82-92	41-44	+	-
6	Standard	0,5	95-100	82-92	32-37	+	-
7	Standard	0,6	95-100	82-92	40-42	+	-
8	Standard	1,0	95-100	82-92	30-32	+	+
9	Standard	1,5	95-100	82-92	n.m. trocknet nicht	+	++

Abbildung 32: Versuche mit Deskoater.

Die Versuchsreihen wurden auf einen Kern gewickelt, wobei die Versuchsreihen 1-4 für weitere Untersuchungen an Mankiewicz gesendet und die Versuchsreihen 5-9 beim IFAM verblieben. Beim Aufrollen der Folien zeigte sich, dass die Folie sehr knittrig wurde.

Dennoch wurde der Workshop beim IFAM als großer Erfolg eingestuft, da sich das Lacksystem DIP 041 sehr gut applizieren ließ, sehr schnell trocknete und im aufgerollten Zustand nicht verklebte.

Im Folgenden wurden RTM-Prototypen mit DIP041 hergestellt. Durch die erfolgreiche Herstellung der Bauteile konnten kleine Prüf-Bauteile hergestellt werden, die auf chemische Beständigkeit geprüft wurden. Die Ergebnisse sind in Abbildung 33 dargestellt.



Test	Ergebnis
Folienabzug	sehr leicht ablösbar
Haftung (ISO 2409) [Gt]	0
Ritzhärte (ISO1518) [g]	2000
14d Wassereinlagerung bei RT	
Haftung (ISO 2409) [Gt]	
14d Wassereinlagerung bei RT	
Ritzhärte (ISO1518) [g]	
14d Skydroleinlagerung RT	
Ritzhärte (ISO1518) [g]	
500h Humidity	
Haftung (ISO 2409) [Gt]	
500h Humidity	
Ritzhärte (ISO1518) [g]	

Abbildung 33: Komplett und zugeschnittene RTM-Bauteil-Prototypen (oben) und Ergebnisse der Untersuchungen (unten).

Peel 1.2 neigt zu starken Benetzungsproblemen (Abbildung 34) der Lacksysteme. Die starke Wellung der Folie entsteht durch die hohe Schichtdicke.

Durch verschiedene Versuche konnte herausgefunden werden, dass vor allem das Verlaufsmittel von DIP 044 zur Ablösung auf Peel 1.2 führt (Abbildung 35).



Abbildung 34: Lackierung für CTC Wiederholungsversuche.



	DIP041 Folie: Peel 1.2	DIP044 Folie: Peel 1.2	DIP044 Folie: DH6.2
Benetzung	<u>n.i.O.</u>	<u>n.i.O.</u>	<u>i.O.</u>
Erreichbare Schichtdicke	>100µm	>100µm	ca. 40µm
Wellung der Folie	stark	sehr stark	leicht
Ablösung des Lackes	nein	ja	nein

Abbildung 35: Peel 1.2 und DH 6.2 Folien im Vergleich (oben) und Untersuchungsergebnisse (unten).

Bis zum Projektabschluss wurden weitere Untersuchungen und Optimierungen mit DIP 044 u. a. auf dem Deskoater durchgeführt. Ferner wurde eine Plasmavorbereitungsmethode festgelegt, für die das Lacksystem abschließend optimiert wurde.

2.2. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Im Rahmen des Vorhabens wurden einzig Personalkosten abgerufen. Die Pos. 0837 wurde überschritten.

2.3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die im Vorhaben durchgeführte Entwicklung bot großes Potenzial, war aber auch mit erheblichen Kosten und Risiken verbunden. Das Projekt erforderte Ressourcen, die über die Kapazitäten von Mankiewicz hinausgehen. Daher konnte das Projekt nicht ohne externe finanzielle Unterstützung durchgeführt werden.

2.4. Voraussichtlicher Nutzen/Verwertbarkeit der Ergebnisse

2.4.1. Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende

Die wirtschaftlichen Erfolgsaussichten entnehmen Sie bitte dem EKB.

2.4.2. Wissenschaftliche und / oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende

Die wissenschaftlich-technischen Erfolgsaussichten entnehmen Sie bitte dem EKB.

2.4.3. Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit

Die wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit entnehmen Sie bitte dem EKB.

2.5. Bekannte Ergebnisse anderer Stellen während der Laufzeit des Vorhabens

Während der Laufzeit wurden keine Ergebnisse anderer Stellen identifiziert, die der potenziellen Verwertung der erzielten Ergebnisse entgegenstehen.

2.6. Veröffentlichung der Ergebnisse

Bisher hat Mankiewicz keine Ergebnisse veröffentlicht.