

Bewilligungsempfänger



Abschlussbericht zum Förderprojekt:

UV-Lacktechnologie auf Basis von nachwachsenden Rohstoffen für den Einsatz auf komplex geformten Kunststoffoberflächen

Art des Berichtes:

Abschlussbericht zum Vorhaben mit dem Aktenzeichen 34769/01-21/2, gefördert durch die
Deutsche Bundesstiftung Umwelt

gefördert durch



Deutsche
Bundesstiftung Umwelt

www.dbu.de

Verfasser: Dr. Umberto De Rossi

Hamburg, September 2021

06/02		Projektkennblatt der Deutschen Bundesstiftung Umwelt			
Az	34769/01- 21/2	Referat	Fördersumme		124.000
Antragstitel		UV-Lacktechnologie auf Basis von nachwachsenden Rohstoffen für den Einsatz auf komplex geformten Kunststoffoberflächen			
Stichworte					
Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)		
33	24.09.2018				
Zwischenberichte	halbjährlich				
Bewilligungsempfänger			Tel +49 40 75103-363		
Mankiewicz Gebr. & Co. (GmbH & Co. KG)			Fax +49 40 75103-418		
Georg-Wilhelm-Str. 189			Projektleitung		
21107 Hamburg			Dr. Umberto De Rossi		
			Bearbeiter		
Kooperationspartner					
Zielsetzung und Anlass des Vorhabens					
<p>Das Projekt befasste sich mit der Entwicklung eines UV-Lackes auf Basis nachwachsender Rohstoffe (Nawaro) für die Anwendung auf Kunststoffoberflächen, insbesondere für den Interieurbereich von Automobilen. Durch den Ansatz der UV-Lacke ergeben sich Vorteile wie etwa ein niedrigerer Energieverbrauch bei der Aushärtung, geringere Ausschussquoten wegen der geringen thermischen Belastung der Kunststoffbauteile, die Einsparung von Lösemitteln (VOC) und die Reduzierung des Lackverbrauchs. Während für UV-Lacke zuvor erdölbasierte Rohstoffe eingesetzt wurden, sollte durch die hier verfolgte Umstellung auf nachwachsende Rohstoffe die Nachhaltigkeit der UV-Lacke weiter verbessert werden, insbesondere durch die Reduzierung der Umweltbelastung infolge von Gewinnung und Transport von Erdöl und die CO₂-neutrale Verbrennung bei der Entsorgung.</p> <p>Ziel war ein geeignetes Lacksystem, das zu 60 – 70 % auf nachwachsenden Rohstoffen aufbauen und eine rein UV-induzierte Härtung der Lackschicht auch bei geringen UV-Leistungsdichten ermöglichen sollte. Die besonderen Herausforderungen lagen darin, speziell für dreidimensional geformte Kunststoffoberflächen eine ausreichende Härtung und Kratzfestigkeit der Lacke zu erreichen.</p>					
Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden					
<p>Die Arbeiten der Firma Mankiewicz konzentrierten sich dabei auf die Rohstoffauswahl, die Untersuchung, Erprobung und Qualifizierung geeigneter Formulierungen sowie die Testung der so erzeugten Lackschichten und die nachfolgende Herstellung von Testsystemen. Die notwendigen Anpassungen der nachwachsenden Rohstoffe wurden in Zusammenarbeit mit den Rohstofflieferanten durchgeführt.</p>					
Deutsche Bundesstiftung Umwelt • An der Bornau 2 • 49090 Osnabrück • Tel 0541/9633-0 • Fax 0541/9633-190 • http://www.dbu.de					

Ergebnisse und Diskussion

Im Projekt wurden umfangreiche Untersuchungen zu den verfügbaren Rohstoffen durchgeführt und schließlich ein geeignetes Lacksystem erfolgreich entwickelt. Als wichtiges Ergebnis wurde eine bestmögliche Rezeptur mit einem Anteil von 35,5 % an nachwachsenden Rohstoffen im Festkörper entwickelt. Es wurde nachgewiesen, dass eine rein UV-induzierte Härtung der Lackschicht auch bei geringen UV-Leistungsdichten möglich ist. Das Lacksystem erfüllt die Anforderungen an die technische und visuelle Performance der Oberflächen auf dem Niveau der bisher verfügbaren Lösungen für den Innenbereich von Automobilen und es wurden hochglänzende sowie sehr kratzfeste Oberflächen realisiert.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Der derzeitige Entwicklungsstand ist noch keinem OEM vorgestellt worden bzw. wurden die erzielten Ergebnisse noch nicht publiziert. Unter der Voraussetzung, dass das auf Nawaro basierte entwickelte UV-Lacksystem die Anforderungen des OEMs vollumfänglich erfüllt, kann die Entwicklung dem entsprechenden OEM präsentiert werden.

Fazit

Der neue, auf nachwachsenden Rohstoffen basierende UV-Lack erfüllt nachweislich die hohen Anforderungen und das Projektziel einer funktionsfähigen, für den Automobileinsatz im Interieurbereich auf Kunststoffen einsetzbaren und auf nachwachsenden Rohstoffen basierenden UV-Lackbeschichtung wurde erfolgreich umgesetzt.

Dieser Lack soll zukünftig die bisher verwendeten erdölbasierten UV- bzw. 2K-Lacke ablösen und somit zur Nachhaltigkeit und der Verbesserung der CO₂-Bilanz der Lackierungen, insbesondere im Bereich Automotive, beitragen.

Inhaltsverzeichnis

Projektkennblatt	2
1. Zusammenfassung	6
2. Einleitung.....	7
3. Entwicklungsarbeiten und erreichte Ergebnisse	10
4. Fazit.....	19
5. Anhang.....	20

Verzeichnis von Bildern, Zeichnungen, Grafiken und Tabellen

Tabellenverzeichnis:

Tabelle 1:	Verfügbare Rohstoffe mit nachwachsenden Bestandteilen und entsprechenden Funktionalität.....	11
Tabelle 2:	Einfluss der Erhöhung des Anteils nachwachsender Rohstoffe auf die Lackeigenschaften	12
Tabelle 3:	Lackeigenschaften bei Verwendung neuer Bindemittel auf Basis nachwachsender Rohstoffe mit verschiedenen Funktionalitäten und Kombinationen daraus.	14
Tabelle 4:	Untersuchung der Monocure-Rezeptur	16
Tabelle 5:	Untersuchung der Dualcure-Rezeptur (Übertragung der Monocure-Rezeptur auf die Dualcure-Rezeptur).....	16

1. Zusammenfassung

Gegenstand des Projektes war die Entwicklung einer UV-Lacktechnologie für Kunststoffoberflächen auf Basis nachwachsender Rohstoffe (Nawaro). Die Entwicklung höchstwertiger Lacke auf der Basis nachwachsender Rohstoffe, die auch für automobiler Anwendungen geeignet sind und die dortigen extrem hohen Anforderungen erfüllen, war ein lange gehegtes Ziel der Lackindustrie. Die besonderen Herausforderungen lagen darin, speziell für dreidimensional geformte Kunststoffoberflächen eine ausreichende Härtung und Kratzfestigkeit der Lacke zu erreichen. Die bisher nur sehr begrenzte Möglichkeit, UV-Härtetechnologie auf Kunststoffoberflächen umzusetzen, folgte aus der thermischen Belastung der Kunststoffe durch den hohen Infrarotanteil der UV-Lampe im emittierten Strahlungsspektrum und ihrem negativen Einfluss auf die Maßhaltigkeit. Im Rahmen des DBU-Projektes „Energieeffiziente UV-Lacktechnologie für den Einsatz auf komplex geformten Kunststoffoberflächen“ (AZ 30681- 21/2) war bereits gezeigt worden, dass es grundsätzlich möglich ist, komplex geformte Kunststoffoberflächen mittels UV-Lackierung zu beschichten. Die Herausforderung im vorliegenden Projekt bestand darin, dies auf der Basis nachwachsender Rohstoffen zu erreichen. Dabei ist grundsätzlich zu berücksichtigen, dass eine neue Lackformulierung gerade für anspruchsvolle Anwendungen wie Automotivlacke im Interieurbereich viele 100 Formulierungsansätze benötigt, selbst wenn gut bekannte und getestete Ausgangsstoffe verwendet werden. Da nachwachsende Rohstoffe im Bereich von hochwertigen UV-Lacken zuvor nicht verwendet worden waren, mussten die Qualifizierung der Ausgangsstoffe und eine Bewertung der Einsatzfähigkeit erarbeitet werden, was einen zusätzlichen erheblichen Aufwand bedeutete. Entscheidend dabei war, auch bei reduzierter UV-Leistung eine gute Durchhärtung des Lackes zu erreichen (auch mit gängigen UV-Lampen), sodass insbesondere dreidimensionale Kunststoffoberflächen gut gehärtet werden können.

Im Projekt wurde schließlich ein geeignetes Lacksystem erfolgreich entwickelt. Als wichtiges Ergebnis wurde eine bestmögliche Rezeptur mit einem Anteil von 35,5 % an nachwachsenden Rohstoffen im Festkörper entwickelt. Die Arbeiten der Firma Mankiewicz konzentrierten sich dabei auf die Rohstoffauswahl, die Untersuchung, Erprobung und Qualifizierung geeigneter Formulierungen sowie die Testung der so erzeugten Lackschichten und die nachfolgende Herstellung von Testsystemen. Die notwendigen Anpassungen der nachwachsenden Rohstoffe wurden in Zusammenarbeit mit den Rohstofflieferanten durchgeführt.

Das Lacksystem erfüllt die Anforderungen an die technische und visuelle Performance der Oberflächen auf dem Niveau der bisher verfügbaren Lösungen für den Innenbereich von Automobilen und es wurden hochglänzende sowie sehr kratzfeste Oberflächen realisiert.

2. Einleitung

Das Projekt befasste sich mit der Entwicklung eines UV-Lackes auf Basis nachwachsender Rohstoffe (Nawaro) für die Anwendung auf Kunststoffoberflächen.

Stand der Technik im Bereich der Lackierung von Kunststoffteilen für den Interieurbereich von Automobilen ist nach wie vor der Einsatz von 2K-Lacken mit der entsprechenden Lackiertechnik, wobei entweder lösemittel- oder wasserbasierte Lacke eingesetzt werden. In beiden Fällen ist eine Trocknung von ca. 80 °C für 30 Minuten erforderlich, um die Vernetzung sicherzustellen.

Wesentliche Vorteile der neueren UV-Lackierung sind ein vergleichsweise niedriger Energieverbrauch bei der Aushärtung, geringere Ausschussquoten wegen der geringen thermischen Belastung der Kunststoffbauteile, die Einsparung von Lösemitteln (VOC), die Reduzierung des Lackverbrauchs und wesentlich kürzere Offenzeiten mit geringer Anfälligkeit gegen Staubkontamination.

Die Rohstoffe für eingesetzte UV-Lacke wurden bisher ausschließlich aus Erdöl gewonnen. Die Substitution der Grundstoffe für die Lackherstellung durch biobasierte Materialien ist erforderlich, um eine Reduzierung des Erdölverbrauchs in diesem Bereich mit einer daraus folgenden Reduzierung der Umweltbelastung zu ermöglichen. Hierdurch wird die Nachhaltigkeit der UV-Lacke weiter verbessert.

Dieser Ansatz ermöglicht

- die Reduzierung der Umweltbelastung infolge von Gewinnung und Transport von Erdöl: die Gewinnung von Lackrohstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen ist vergleichsweise wenig umweltschädlich, da die nachwachsenden Rohstoffe dezentral und in größerer Nähe zum Verbraucher angebaut werden können.
- die CO₂-neutrale Verbrennung bei der Entsorgung.
- Die Nutzung weiterer möglicher Rohstoffquellen durch Recycling von Abfällen aus dem Lebensmittelbereich (z. B. Altfette aus der Gastronomie oder auch Schlachtabfälle).

Zum Thema nachwachsende Rohstoffe in der industriellen Lackiertechnik fanden sich zum Zeitpunkt der Antragstellung sehr wenige Berichte über erfolgreich umgesetzte Entwicklungen. Das war zum großen Teil darauf zurückzuführen, dass die Anforderungen an industriell hergestellte Lackoberflächen sehr hoch sind, sodass Neuentwicklungen immer mit umfangreichen Zertifizierungen seitens der Endanwender verbunden sind. Dies gilt besonders für den Bereich Automotive, sowohl für den Exterieur- als auch für den Interieur-Bereich. Hier sind die Anforderungen an die Beständigkeit der Lacke gegenüber Umwelteinflüssen

besonders hoch. Hinzu kommt, dass nachwachsende Rohstoffe häufig noch teurer in der Herstellung sind als ölbasierte Wettbewerbsprodukte.

Anwendungen oder Entwicklungen im Bereich UV-Lack auf der Basis von nachwachsenden Rohstoffen waren dem Antragsteller nicht bekannt.

Das Unternehmen Mankiewicz verfolgt eine nachhaltige Unternehmensstrategie und berücksichtigt nicht nur die zukünftigen Anforderungen an den Umweltschutz, sondern es möchte mithelfen, der globalen Verantwortung für eine gesunde Umwelt Rechnung zu tragen.

Die wichtigen Anforderungen an moderne Lacksysteme sind dabei Beständigkeitseigenschaften und ansprechende Oberflächen – verbunden mit der Forderung eines rationellen Lackierablaufes bei gleichzeitiger Berücksichtigung des Arbeits- und Umweltschutzes. Das ist die ständige Herausforderung, der sich die Firma Mankiewicz stellt, um Lackierideen der Zukunft zu entwickeln. Dementsprechend verfolgt das Unternehmen das Ziel innovativer UV-Lacke auf Basis nachwachsender Rohstoffe für die Anwendung auf Kunststoffoberflächen.

Im Interieur-Bereich gewann die UV-Lackierung bereits an Bedeutung, nicht zuletzt auch durch das Engagement von Mankiewicz in diesem Bereich. Im Rahmen von zwei Entwicklungsprojekten waren Lacksysteme entwickelt worden, die unter Einsatz von konventioneller UV-Härtung oder auch LED-UV-Härtung appliziert werden und zu befriedigenden Ergebnissen bezüglich der geforderten Qualitätseigenschaften führen. Dabei wurden allerdings konventionelle erdölbasierte Rohstoffe eingesetzt. Im Rahmen der Projekte konnten grundlegende Erkenntnisse über die funktionellen Zusammenhänge im Spannungsfeld zwischen geforderten Qualitätsparametern, möglichst niedrigen Strahlungsintensitäten sowie chemischem Regime und beeinflussbaren Prozessparametern gewonnen werden. Grundsätzlich problematisch dabei ist die Forderung nach niedrigen Strahlungsintensitäten wegen der sonst zu hohen thermischen Belastung der Kunststoffteile, die zu sehr komplexen und in Bezug auf das Prozessfenster sensiblen Rezepturen führt.

In Bezug auf den Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen im Bereich der UV-Lackierung für den Automotive-Bereich sind dem Antragsteller nach wie vor keine Veröffentlichungen oder gar am Markt verfügbare Lacksysteme bekannt.

Da nachwachsende Rohstoffe im Bereich von hochwertigen UV-Lacken zuvor nicht verwendet worden waren, mussten die Qualifizierung der Ausgangsstoffe und eine Bewertung der Einsatzfähigkeit erst noch erarbeitet werden, was einen erheblichen Aufwand erfordert.

Das konkrete Ziel des Projektes war es, ein UV-härtendes Lacksystem zu entwickeln, das zu 60 – 70 % auf nachwachsenden Rohstoffen basiert und die Spezifikationen der Automobil-Hersteller für Interieur-Anwendungen erfüllt. Da es sich hierbei um komplex geformte 3-D-

Bauteile handelt, ist die auftreffende Strahlungsleistung an verschiedenen Stellen des Bauteils je nach Entfernung zum Strahler sehr unterschiedlich. Eine Erhöhung der Strahlerleistung zur Kompensation der Entfernung ist aufgrund der daraus folgenden thermischen Belastung für das Bauteil nicht möglich.

Die Entwicklungsaufgabe war es daher, die vorhandenen erdölbasierten UV-Lacksysteme dahingehend weiterzuentwickeln, dass biobasierte Lacksysteme zur Verfügung stehen, die die gleiche Performance aufweisen wie bestehende Lösungen sowohl im Bereich UV- als auch im Bereich 2K-Lacke.

Die Herausforderung bestand dabei darin, das Zusammenspiel der Einzelkomponenten in den komplexen Rezepturen in Verbindung mit dem zur Verfügung stehenden Prozessfenster auf der Grundlage nachwachsender Rohstoffe zu gewährleisten. Am Ende musste die selbe Reaktivität und Vernetzung wie bei aktuell eingesetzten Lacken stehen.

Hier galt es, auch in Abstimmung mit den Rohstoffherstellern, Möglichkeiten zu finden, um die Härtungstiefe bei einer möglichst niedrigen UV-Strahlungsleistung und einer gegebenen spektralen Verteilung zu gewährleisten.

Die Hauptzielgruppe für diese Lacke ist die Anwendung im Automotive Interieur Bereich. Hier werden fast ausschließlich Kunststoffoberflächen mit teilweise sehr komplexen Formen eingesetzt. UV-Lacke besitzen in diesem Bereich nach wie vor nur einen relativ kleinen, aber stetig zunehmenden Anteil.

Ziel war es, die zuvor bereits aufgebaute Basis an UV-Technologie nachhaltig zu gestalten, um dieser Technologie noch schneller zum Durchbruch zu verhelfen. Gerade die Automobilindustrie besitzt ein erhebliches Interesse daran, den Carbon Footprint ihrer Produkte an so vielen Ansatzpunkten wie möglich zu verbessern.

3. Entwicklungsarbeiten und erreichte Ergebnisse

Die Projektarbeiten befassten sich zu Beginn mit dem AP 1 zur grundlegenden Untersuchung der chemisch-technologischen Eigenschaften der aktuell verfügbaren Lackrohstoffe auf der Basis von nachwachsenden Rohstoffen. Hierzu wurden zunächst umfangreiche Recherchen zur Verfügbarkeit von entsprechenden Rohstoffen durchgeführt und darauf basierend grundlegende Rezepturen getestet.

Die wichtigsten Prüfungen hierbei sind die Cremeprüfungen (Chemikalienbeständigkeit) und die Hydrolyse. Ein Durchfallen in diesen Prüfungen führt bei diesen Lacksystemen immer zu einer Ablehnung beim OEM. Die Wahl von zusätzlichen Prüfungen wird bedingt durch spezifische Kundenanforderungen oder auch durch Veränderungen bestimmter Eigenschaften, die der Entwickler durch Formulierungsänderungen gezielt hervorgerufen hat und zu denen er eine Bewertung braucht.

Es zeigte, dass die Auswahl und Verfügbarkeit der Rohstoffe sehr begrenzt war. Der Anteil der nachwachsenden Bestandteile war meist gering, wie die Übersicht in Tabelle 1 zeigt.

Tabelle 1: Verfügbare Rohstoffe mit nachwachsenden Bestandteilen und entsprechenden Funktionalität

Rohstoff	Info zum Rohstoff (z. B. OH Zahl, Fkt. etc.)
Dualcure Referenzlack	
UV-Bindemittel 1	2 fach Funktionalität
UV-Bindemittel 2	10 fach Funkt.
Nawaro-UV-Bindemittel 1	6 fach Funkt., 28 % Nawaro
UV-Bindemittel 3	4 fach Funkt.
Nawaro-UV-Bindemittel 2	4 fach Funkt., 10 % Nawaro
Nawaro-UV-Bindemittel 3	3 fach Funkt., 10 % Nawaro
UV-Bindemittel 4	5/6 fach Funkt.
Nawaro-UV-Bindemittel 4	6 fach Funkt., 15 % Nawaro
UV-Bindemittel 5	2 fach Funkt., 6 % OH
Nawaro-UV-Bindemittel 5	4,5 fach Funkt., 70 % Nawaro
Nawaro-UV-Bindemittel 6	4 fach Funkt., 19 % Nawaro
Nawaro-UV-Bindemittel 7	4 fach Funkt., 20 % Nawaro
Nawaro-UV-Bindemittel 8	1 fach Funkt., 60 % Nawaro
Nawaro-UV-Bindemittel 9	3 fach Funkt., 15 % Nawaro
Nawaro-UV-Bindemittel 10	6 fach Funkt., 45 % Nawaro
Nawaro-UV-Bindemittel 11	1 fach Funkt., 74 % Nawaro
Nawaro-UV-Bindemittel 12	2 fach Funkt., 58 % Nawaro
Nawaro-UV-Bindemittel 13	4 fach Funkt., 52 % Nawaro
Nawaro-PU-Bindemittel 14	4,2 % OH, 44 % Nawaro

Der Austausch einzelner Rohstoffe in bestehenden Rezepturen hätte daher nur einen geringen nachwachsenden Anteil im Endprodukt zur Folge. Meistens weisen diese Rezepturen dann auch eine Verschlechterung einzelner Prüfergebnisse auf.

Die Rohstoffe mit einem hohen nachwachsenden Anteil bzw. die Rezepturen, die auf einen hohen nachwachsenden Anteil ausgelegt sind, waren bis dato für den Zielmarkt für UV-Hochglanz-Lacke nur bedingt einsetzbar. Eine Erhöhung des Anteils nachwachsender Rohstoffe durch gezielte Erhöhung der Rohstoffe mit nachwachsendem Anteil hatte meist eine deutliche Verschlechterung der Prüfergebnisse zur Folge, wie in Tabelle 2 dargestellt. Häufige

Probleme dabei waren trübe Lackschichten und mangelnde Beständigkeiten gegenüber Chemikalien.

Es zeigte sich, dass die Reihenfolge der Aushärtungsschritte in den Dual-Cure-Systemen durchaus einen Einfluss auf die Eigenschaften besitzt, jedoch reichten die Effekte nicht, um alle Prüfungen positiv bewerten zu können. Insbesondere die Creme-Tests blieben kritisch.

Durch den Einsatz spezieller Bindemittel mit nachwachsendem Anteil aus dem 2-K-PU Bereich (für UV-Dualcure geeignet/möglich) ergab sich jeweils ein Haftungsverlust.

Zusätzlich wurde der Einsatz eines Härters für die 2-K PU Reaktion im Dualcure UV-Lack mit hohem Anteil nachwachsender Rohstoffe getestet, der jedoch auch teilweise Haftungsverlust zeigte.

Tabelle 2: Einfluss der Erhöhung des Anteils nachwachsender Rohstoffe auf die Lackeigenschaften

BT75		-13	-14	-15	-16	-17	
Nawaro-UV-Bindemittel 5		42,5	30	30	96	30	
Nawaro-UV-Bindemittel 7			5	10		5	
Nawaro-PU-Bindemittel 1						17,8	
Festkörper		62,6	73,8	72,4	100,0	62,5	
Anteil Nawaro (Lack) [%]		30	22	22	67	27	
Anteil Nawaro (FK) [%]		48	30	31	67	43	
Substrat (Platte)		ABS/PC T65 XF					
UV/Ofen							
TSD		27 µm	35 µm	23 µm	30 µm	26 µm	
Visuell		trüb	i.O.	etwas trüb	i.O.	trüb	
Ausgangshaftung		GT 3 / 15 N	PC: Gt 1, T65XF, ABS: Gt 0 / 20 N	-	ABS: Gt 0, T65XF: Gt 1, PC: Gt 2: 20 N	GT 4 / 20 N	
Haftung n. Alterung		Gt 1 / 15 N	ABS: Gt 1, T65XF, PC: Gt 0 / 20 N	-	Gt 0 / 20 N	Gt 0 / 20 N	
VW Creme A		n.i.O., Gt 0 / 15 N	n.i.O., Gt 0 / 20 N	n.i.O., Gt 0 / 20 N	n.i.O., Gt 0 / 20 N	wenig Anqu., Gt 0 / 20 N	
VW Creme B		n.i.O., Gt 3 / 15 N	b.n.i.O., Gt 4 / <10N	n.i.O., Gt 0 / <10N	wenig angequollen, Gt 0 / 20 N	min. Anqu., Gt 0 / 20 N	
VW Hydro optisch		leichter Schleier, wegwischbar	-	starker Schleier (vom Substrat?)	-	Schleier, "O-Haut", Mikroblasen	
VW Hydro		GT 4 / 10 N	-	Gt 0 / 20 N	-	Gt 2 / 20 N	
VW KK		-	-	Gt 0 / 20 N	-	-	
Scheuerbeständigkeit nach VW PV3987	Glanzgrad 20° / 60° vor dem Reiben	82 / 89	84 / 89	85 / 89	85 / 90	84 / 89	86 / 91
	Glanzgrad 20° nach dem Reiben	68	77	-	63	-	61
	Glanzgradänderung	17	8	-	26	-	29
Ofen/UV							
TSD		22 µm	19 µm	30 µm	26 µm	27 µm	
Visuell		trüb	i.O., kein Anlösen	etwas trüb	i.O.	wenig trüb	
Ausgangshaftung		GT 3 / 15 N	Gt 0 / 20 N	-	Gt 0 / 20 N	GT 4 / 20 N	
Haftung n. Alterung		Gt 1 / 15 N	Gt 0 / 20 N	-	Gt 0 / 20 N	GT 5 / 20 N	
VW Creme A		n.i.O., Gt 0 / 15 N	n.i.O., Gt 0 / 20 N	n.i.O., Gt 0 / 20 N	n.i.O., Gt 0 / 20 N	wenig Anqu., Gt 5 / 20 N	
VW Creme B		n.i.O., Gt 3 / 15 N	i.O., Gt 0 / 20 N	n.i.O., Gt 4 / <10 N	i.O., Gt 0 / 20 N	min. Anqu., Gt 5 / 20 N	
VW Hydro optisch		leichter Schleier, wegwischbar	-	starker Schleier (vom Substrat?)	-	bräunlicher Schleier + Flecken, "O-Haut", Mikroblasen	
VW Hydro		GT 4 / 10 N	-	Gt 0 / 20 N	-	Gt 5 / 13 N	
VW KK		-	-	GT 4 / 20 N	-	-	
Scheuerbeständigkeit nach VW PV3987	Glanzgrad 20° / 60° vor dem Reiben	78 / 88	84 / 89	85 / 89	84 / 89	80 / 88	87 / 91
	Glanzgrad 20° nach dem Reiben	65	73	-	72,5	-	64
	Glanzgradänderung	17	13	-	14	-	26

Durch die eingeschränkte Verfügbarkeit der Rohstoffe waren die Ergebnisse noch nicht zufriedenstellend, sodass noch keine Versuche auf Bauteilen gemacht werden konnten. Stattdessen waren weitere Screenings neuer Rohstoffe erforderlich, um diese Qualitätsprobleme zu beheben. Alle uns bekannten Rohstoffhersteller waren während der Projektlaufzeit sehr aktiv, sodass sich abzeichnete, dass neue und verbesserte Rohstoffe zur Verfügung gestellt würden.

Im weiteren Verlauf konnten in weiteren Treffen mit den Lieferanten tatsächlich neue interessante Rohstoffe ermittelt werden, die im Vergleich zu den vorherigen Rohstoffen einen höheren Anteil der nachwachsenden Bestandteile bei gleichzeitig größerem Anteil reaktiver Gruppen aufwiesen. Diese Rohstoffe haben das Potential, Lacke mit höheren Beständigkeiten bzw. höherer Härte zu formulieren.

Der Einsatz der neuen Bindemittel zu 10 % in einer Standardformulierung zeigte jedoch, dass sich die Eigenschaften dieser Formulierungen meist nicht wesentlich veränderten, sodass sich nur Lacke mit geringem nachwachsenden Anteil in der Gesamtformulierung erzeugen ließen (4 - 10 % auf den gehärteten Lack).

Weitere Formulierungen basierten allein auf diesen Bindemitteln, um den Anteil nachwachsender Bestandteile weiter zu erhöhen. Hierzu wurden sie mit einem auf nachwachsenden Bestandteilen basierenden Bindemittel aus dem 2-K-PU Bereich abgemischt, um einen Dualcure Lack zu formulieren. Zur Härtung der PU-Komponente wurde zudem ein spezieller Härter verwendet, der ebenfalls nachwachsende Bestandteile besitzt. Mit diesen Formulierungen konnten gehärtete Lacke mit einem Anteil von 36 – 48 % nachwachsender Rohstoffe hergestellt werden. Diese Formulierungen wiesen in der Überzahl gute Haftungseigenschaften, auch nach Feuchtwarmbelastung, auf und waren hochglänzend.

Die mangelnde Chemikalienbeständigkeit (die abhängig von der Härtungssequenz mehr oder weniger stark ausgeprägt war) war jedoch auch hier ein Problem. Außerdem besaßen diese Formulierungen eine geringe Härte bzw. eine nicht ausreichende Mikrokratzbeständigkeit.

Die wichtigsten Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in Tabelle 3 zusammengefasst.

Tabelle 3: Lackeigenschaften bei Verwendung neuer Bindemittel auf Basis nachwachsender Rohstoffe mit verschiedenen Funktionalitäten und Kombinationen daraus.

BT75		-33	-34	-35	-36	-37	-38	-39
Nawaro-UV-Bindemittel 7							12,5	
Nawaro-UV-Bindemittel 10		12,5	12,5	12,5	12,5			
Nawaro-UV-Bindemittel 14								12,5
Nawaro-UV-Bindemittel 15		12,5						
Nawaro-UV-Bindemittel 16			12,5					
Nawaro-UV-Bindemittel 17						25	12,5	12,5
Nawaro-UV-Bindemittel 18				12,5				
Nawaro-UV-Bindemittel 19					12,5			
Nawaro-PU-Bindemittel 1		25	25	25	25	25	25	25
FK		48,5	48,5	48,5	48,5	61,0	61,0	61,0
Anteil Nawaro (Lack) [%]		20	18	16	17	19	17	25
Anteil Nawaro (FK) [%]		42	37	33	34	30	28	41
Substrat (Platten)		ABS/PC T65XF						
UV/Ofen								
TSD		23 µm	20 µm	28 µm	25 µm	20 µm	25 µm	27 µm
Visuell		i.O.	i.O.	i.O.	i.O.	wenig trüb	i.O.	i.O.
Ausgangshaftung		Gt 0 / 12 N	Gt 0 / 16 N	Gt 0 / 20 N	Gt 0 / 20 N	Gt 0 / 16 N	Gt 0 / 20 N	Gt 0 / 16 N
Haftung n. Alterung		Gt 0 / 16 N	Gt 0 / 20 N	Gt 0 / 20 N	Gt 0 / 20 N	Gt 0 / 20 N	Gt 0 / 20 N	Gt 0 / 20 N
VW Creme A		Quellung, Gt 0 / 14 N	Quellung, Gt 0 / 20 N	Quellung, Gt 0 / 20 N	Quellung, Gt 0 / 20 N	geringe Anqu., Gt 0 / 20 N	Anqu., Gt 0 / 20 N	Anqu., Gt 0 / 20 N
VW Creme B		Quellung, Gt 0 / 14 N	Quellung, Gt 0 / 20 N	Quellung, Gt 0 / 20 N	Quellung, Gt 0 / 20 N	geringe Anqu., Gt 0 / 20 N	Anqu., Gt 0 / 20 N	Anqu., Gt 0 / 20 N
VW Hydro optisch		griesig, Mikroblasen	griesig, Mikroblasen	Schleier, griesig, Mikroblasen	griesig, Mikroblasen	griesig, Mikroblasen	schmieriger Schleier, Mikroblasen	griesig, Mikroblasen
VW Hydro		Gt 0 / 16 N	Gt 0 / 20 N	Gt 0 / 20 N	Gt 0 / 20 N	Gt 0 / 20 N	Gt 0 / 20 N	Gt 0 / 20 N
VW KK		i.O., Gt 0 / 16 N	i.O., Gt 0 / 20 N	i.O., Gt 0 / 20 N	i.O., Gt 0 / 20 N	i.O., Gt 0 / 20 N	i.O., Gt 0 / 20 N	i.O., Gt 0 / 20 N
Scheuerbeständigkeit nach VW PV3987	Glanzgrad 20° / 60° vor dem Reiben	85 / 91	87 / 92	88 / 92	89 / 92	81 / 92	87 / 92	86 / 91
	Glanzgrad 20° nach dem Reiben	52	60,5	58	62	62 - 65	63	56
	Glanzgradänderung	39	30	34	30	22	28	35
Ofen/UV								
TSD		25 µm	20 µm	19 µm	22 µm	22 µm	26 µm	25 µm
Visuell		b.i.O.	i.O.	i.O.	i.O.	trüb	i.O.	i.O.
Ausgangshaftung		Gt 0 / 18 N	Gt 0 / 18 N	Gt 0 / 20 N	Gt 0 / 20 N	Gt 0 / 18 N	Gt 3-4 / 20 N	Gt 0 / 20 N
Haftung n. Alterung		Gt 0 / 20 N	Gt 0 / 20 N	Gt 0 / 20 N	Gt 0 / 20 N	Gt 0 / 20 N	Gt 0 / 20 N	Gt 0 / 20 N
VW Creme A		geringe Quellung, Gt 0 / 16 N	i.O., Gt 0 / 20 N	geringe Quellung, Gt 0 / 20 N	geringe Quellung, Gt 0 / 20 N	i.O., Gt 0 / 20 N	min. Anqu., Gt 0 / 20 N	geringe Anqu., Gt 0 / 20 N
VW Creme B		geringe Quellung, Gt 0 / 16 N	i.O., Gt 0 / 20 N	geringe Quellung, Gt 0 / 20 N	geringe Quellung, Gt 0 / 20 N	i.O., Gt 0 / 20 N	min. Anqu., Gt 0 / 20 N	geringe Anqu., Gt 0 / 20 N
VW Hydro optisch		Schleier, griesig, Mikroblasen	giesig, Flecken, leichter Schleier, Mikroblasen, stumpf	Schleier, griesig, Mikroblasen	Schleier, griesig, Mikroblasen	Schleier, griesig, Mikroblasen	giesig, Flecken, leichter Schleier, Mikroblasen, stumpf	giesig, Flecken, leichter Schleier, Mikroblasen, stumpf
VW Hydro		Gt 3 / 18 N	Gt 0 / 20 N	Gt 0 / 20 N	Gt 0 / 20 N	Gt 0 / 20 N	Gt 0 / 20 N	Gt 0 / 20 N
VW KK		i.O., Gt 0 / 18 N	i.O., Gt 0 / 20 N	i.O., Gt 0 / 20 N	i.O., Gt 0 / 20 N	i.O., Gt 0 / 20 N	i.O., Gt 0 / 20 N	i.O., Gt 0 / 20 N
Scheuerbeständigkeit nach VW PV3987	Glanzgrad 20° / 60° vor dem Reiben	85 / 92	87 / 92	87 / 92	88 / 92	69 - 77 / 89	87 / 92	86 / 91
	Glanzgrad 20° nach dem Reiben	40	57	59	61	47 - 52	56	47
	Glanzgradänderung	53	34	32	31	32	36	45

Es erwies sich als zielführend, im nächsten Schritt eine Monocure-Rezeptur zu entwickeln, da hierdurch folgende Vorteile erreicht werden:

- Die Rezeptur wird durch weniger Komponenten und nur einen Härtungsmechanismus vereinfacht.
- Der Anteil an nachwachsenden Rohstoffen wird maximiert, da 100 % der einzusetzenden Bindemittel aus nachwachsenden Rohstoffen verwendet werden können.

- Ein Härter wird nicht benötigt und durch den Einsatz von Monomeren kann ein höherer Festkörperanteil erreicht werden.
- Eine bessere Überprüfung der Eigenschaften einzelner Rohstoffe in einfachen Rezepturen wird erzielt.

Das Unternehmen führte zur Realisierung der Monocure-Rezeptur zunächst ein Bindemittel-Screening durch. Weiterhin erfolgte eine Haftungsoptimierung mit ausgewählten Bindemittelkombinationen durch Einsatz verschiedener Monomere, die sich maßgeblich in ihrer Funktionalität unterscheiden und darüber hinaus die Haftungseigenschaften modifizieren.

Darüber hinaus wurden verschiedene Versuche zur gezielten Erhöhung des Anteils an nachwachsenden Rohstoffen vollzogen. Ziel war dabei die Ermittlung der maximalen Zugabemenge eines zufriedenstellenden Bindemittels mit mittlerem Anteil an nachwachsenden Rohstoffen, sodass neben weiteren Eigenschaften die Haftung, das visuelle Erscheinungsbild und Beständigkeiten gegenüber Chemikalien nicht beeinträchtigt werden.

Mankiewicz beschäftigte sich weiterhin mit der Flexibilisierung der Rezeptur durch den Einsatz geeigneter Nawaro UV-Bindemittel, da es in zu spröden Monocure Rezepturen zur Rissbildung nach der Hydrolyse-Prüfung kam.

Darauf aufbauend wurde die Haftung nach Hydrolyse-Prüfung durch die Kombination zweier Nawaro UV-Bindemittel weiter optimiert.

Als wichtiges Ergebnis wurde eine bestmögliche Rezeptur mit einem Anteil von 35,5 % an nachwachsenden Rohstoffen im Festkörper entwickelt.

Daraufhin befasste sich das Unternehmen mit der Übertragung dieser Rezeptur auf einen Dualcure-Lack. Hierbei wurden neue Rohstoffe im Bereich der Polyole aus nachwachsenden Rohstoffen eingesetzt.

Die nachfolgenden Tabellen zeigen die Auswertung der wichtigsten Versuchsergebnisse.

Tabelle 4: Untersuchung der Monocure-Rezeptur

Table with columns for UV-Monomer 2, UV-Monomer 7, UV-Bindemittel 14, UV-Bindemittel 16, UV-Bindemittel 19, UV-Bindemittel 4, FK, Anteil Nawaro (Lack) [%], Anteil Nawaro (FK) [%], Substrat (Platten), and UV (TSO, Visuell, Ausgangshaftung, VW Creme, VW Hydro, VW EK, Glanzgrad 60, Scherbeständigkeit nach VW PV387). Rows show various material compositions and their properties across different UV wavelengths.

Tabelle 5: Untersuchung der Dualcure-Rezeptur (Übertragung der Monocure-Rezeptur auf die Dualcure-Rezeptur)

Table with columns for UV-Monomer 2, UV-Monomer 7, UV-Bindemittel 14, UV-Bindemittel 16, UV-Bindemittel 19, UV-Bindemittel 4, FK, Anteil Nawaro (Lack) [%], Anteil Nawaro (FK) [%], Substrat (Platten), UV (TSO, Visuell, Ausgangshaftung, Haftung o. Abtönung, VW Creme A, VW Creme B, VW Hydro optisch, VW Hydro, VW EK, Glanzgrad 20 / 60 vor dem Härten, Glanzgrad 20 nach dem Härten, Glanzgradänderung), and UV/UV (TSO, Visuell, Ausgangshaftung, Haftung o. Abtönung, VW Creme A, VW Creme B, VW Hydro optisch, VW Hydro, VW EK, Scherbeständigkeit nach VW PV387). Rows show various material compositions and their properties across different UV wavelengths.

Bei der Überführung der Erkenntnisse aus der Monocure-Rezeptur in die Dualcure-Rezeptur traten Probleme auf. So entstanden beispielsweise Unverträglichkeiten der PU- und UV-Netzwerke (Trübungen bzw. optische Beeinträchtigungen vorwiegend in der Sequenz Ofen-UV). Zudem wurde eine schlechte Creme-Beständigkeit bei einem relativ geringen Nawaro-Anteil festgestellt.

Daher wurden Versuche zur Optimierung der Verträglichkeit durchgeführt. Nach der Anpassung der Verhältnisse von UV- zu PU-Komponenten trat weiterhin eine Trübung in der Ofen-UV-Sequenz auf.

Mit den zu diesem Zeitpunkt zur Verfügung stehenden Bindemitteln mit Nawaro-Anteil war die Bildung einer komplexen Dualcure-Rezeptur nicht ohne Einschränkung möglich.

Um ein mögliches Bindemittelportfolio mit Nawaro-Anteil zu erweitern, erfolgten Versuche, um neue Bindemittel durch Modifikation bestehender Bindemittel herzustellen. Dabei fand die Modifizierung von Nawaro-Polyolen bzw. Nawaro-Isocyanaten für die bessere Einbindung in das UV-Netzwerk statt. Es wurde versucht, Polyole mit einem bekannten Nawaro-Anteil im Labor durch einfache Reaktionen chemisch so zu modifizieren, dass sich diese besser in das Lacknetzwerk einbinden können. Dadurch sollten Trübungen durch mögliche Unverträglichkeiten vermieden werden. Parallel wurde der Härter durch die Erhöhung des Nawaro-Anteils chemisch modifiziert, was sich in Form einer optimierten Einbindung in das Gesamt-Netzwerk auswirken sollte.

Der Einsatz dieser neuen Bindemittel/Härter in Kreuzversuchen in der Dualcure-Rezeptur zeigte jedoch, dass die Trübung in der Ofen-UV-Sequenz hierdurch nicht vermieden werden konnte.

Ferner wurden Versuche zur Optimierung der Cremebeständigkeit durchgeführt. Da reine UV-Bindemittel in der Monocure-Rezeptur gute Cremebeständigkeit aufweisen, musste eine Optimierung über die PU-Komponenten erfolgen. Hierzu wurden neue Polyole eingesetzt, die speziell durch eine gute Cremebeständigkeit gekennzeichnet sind. Diese besitzen jedoch keinen Anteil an Nawaro. Als Ergebnis zeigte sich, dass ein geringerer Gesamt-Nawaro-Anteil keine Verbesserung der Cremebeständigkeit bewirkt.

Im Anhang sind die Versuchsauswertungen BT75 (ab -48) und BT131 gezeigt.

Im weiteren Verlauf wurden die PU-Komponenten optimiert. Die Umsetzung erfolgte über eine Anpassung des PU-Anteils sowie die Variation des Härters. Hinsichtlich des visuellen Eindrucks und der Beständigkeiten gegenüber Chemikalien waren beide Ansätze nicht zufriedenstellend. Insofern wurden weitere modifizierte Polyole und modifizierte Härter mit Nawaro-Anteil gescreent und evaluiert. Das visuelle Erscheinungsbild wurde signifikant verbessert jedoch ist die Beständigkeit auch nach diesem Screening nicht vollumfänglich zufriedenstellend. Es erfolgt derzeit die Evaluierung an Bindemitteln, die die Beständigkeit gegenüber Chemikalien erhöhen.

Darüber hinaus wurden mit einigen Rohstofflieferanten auch die Möglichkeiten diskutiert, UV-Lacke auf Basis nachwachsender Rohstoffe einzusetzen und zu zertifizieren. Hierbei erfolgte

die Unterscheidung in Rohstoffanteile auf Basis Nawaro und in Anteile nachhaltiger Prozesse. Grundsätzlich sind drei Ansätze zu nennen:

- 1) Mass-Balance-Prinzip: Nachhaltige Rohstoffe werden in der Produktion beigefügt und der Anteil berechnet. Im Endprodukt selbst kann so aber nicht nachgewiesen werden, wie groß der Anteil an nachwachsenden Rohstoffen ist. Dieser Anteil kann z. B. über die ISCC zertifiziert werden.
- 2) C14-Methode: Hierbei erfolgt die Bestimmung des Anteils an nachwachsenden Rohstoffen direkt über die Verteilung von C12 zu C14 mittels NMR-Spektroskopie. Damit kann zwischen fossilen Rohstoffen und biobasierten Rohstoffen unterschieden werden. Die Zertifizierung erfolgt über TÜV SÜD.
- 3) CO₂-Bilanz: Reduktion des CO₂-Fussabdrucks durch den Einsatz erneuerbarer Energien in der Produktion.

Zudem sind Rohstoffe zu nennen, deren Herstellung auf der Wiederverwertbarkeit von Kunststoffen basiert, die nicht recycelt werden. Für die Produktion steht hier das Pyrolyseöl als Rohstoff zur Verfügung. Es erfolgte somit auch eine Evaluierung der Rohstoffe basierend auf dem Chemcycling Konzept in enger Zusammenarbeit mit einem Rohstoffhersteller. Erste Ansätze einer Rezeptur basierend auf dem Chemcycling Konzept ergaben sequenzunabhängig sehr vielversprechende Resultate hinsichtlich der Spezifikationskonformität nach VW Interieur. Weitere Optimierungen sind derzeit in der Evaluierung.

4. Fazit

Im Projekt wurden umfangreiche Untersuchungen zur Entwicklung eines Lackes, der auf nachwachsenden Rohstoffen aufbaut und eine rein UV-induzierte Härtung der Lackschicht auch bei geringen UV-Leistungsdichten ermöglicht, durchgeführt.

Das Ergebnis ist ein auf Nawaro-basierten Rohstoffen entwickelter UV-Lack, der die Interieur Spezifikation nach VW TL226 erfüllt. Als wichtiges Ergebnis wurde eine bestmögliche Rezeptur mit einem Anteil von 35,5 % an nachwachsenden Rohstoffen im Festkörper entwickelt.

Somit wurde das Projektziel einer funktionsfähigen, für den Automobileinsatz im Interieurbereich auf Kunststoffen einsetzbaren und auf nachwachsenden Rohstoffen basierenden UV-Lackbeschichtung erfolgreich umgesetzt.

Dieser neue, auf nachwachsenden Rohstoffen basierende UV-Lack soll zukünftig die bisher verwendeten erdölbasierten UV- bzw. 2K-Lacke ablösen und somit zur Nachhaltigkeit und der Verbesserung der CO₂-Bilanz der Lackierungen, insbesondere im Bereich Automotive, beitragen.

5. Anhang

	Anpassung PU-Anteil, Variation Härter		Screening modifizierter Polyole mit Nawaro-Anteil						Screening modifizierter Härter mit Nawaro-Anteil					-49 + BM für Creme
BT 75	-48	-49	-50	-51	-52	-53	-54	-55	-56	-57	-58	-59	-51	
UV-Bindemittel 4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
UV-Bindemittel 5	18	18	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	18	
Nawaro-UV-Bindemittel 16	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	10	
Nawaro-UV-Bindemittel 19	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	15	
Nawaro-UV-Monomer 1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
Nawaro-PU-Bindemittel 2	15	15											15	
Nawaro-PU-BM-Modifizierung 1			20						20	20	20	20	20	
Nawaro-PU-BM-Modifizierung 2				20										
Nawaro-PU-BM-Modifizierung 3					20									
Nawaro-PU-BM-Modifizierung 4						20								
Nawaro-PU-BM-Modifizierung 5							20							
FK	69,0	69,0	65,8	73,2	73,2	73,2	73,2	65,8	65,8	65,8	65,8	65,8	71,7	
Anteil Nawaro (Lack) [%]	22	22	20	21	20	22	20	20	20	20	20	20	17	
Anteil Nawaro (FK) [%]	31	31	31	28	27	30	28	31	31	31	31	31	24	
Anteil Nawaro (FK / Angesetzt) [%]	34	34	33	30	30	32	30	30	30	30	30	30	24	
Härter	R-7239	H-605-18			H-605-18			BT 131-1	BT 131-2	BT 131-3	BT 131-4	BT 131-5	H-605-18	
Mischungsverhältnis	10 : 1	3,7 : 1			3,7 : 1					6 : 1			3 : 1	
Verdüner	40% 903-3E				40% 903-3E					40% 903-3E			40% 903-3E	
Flash off	15RT				15RT					15RT			15RT	
Ofenzeit	30*80°C				30*80°C					30*80°C			30*80°C	
UV Parameter	Hg, 1500 mJ/cm², 250 mW/cm²				Hg, 1500 mJ/cm², 250 mW/cm²					Hg, 1500 mJ/cm², 250 mW/cm²			Hg, 1500 mJ/cm², 250 mW/cm²	
Substrat (normalerweise Platten, wenn Bauteile mit angeben)	ABS/PC T65 XF				ABS/PC T65 XF					ABS/PC T65 XF			ABS/PC T65 XF	
UV/Ofen														
TSD	29 µm	23 µm	24 µm	29 µm	28 µm	23 µm	27 µm	30 µm	27 µm	26 µm	25 µm	25 µm	24 µm	
Visuell	i.O.	i.O.	i.O.	trüb	milchig-trüb	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.	i.O.	
Ausgangshaftung	Gt 0 / 20 N	Gt 0 / 20 N	Gt 0 / 20 N	Gt 5 / 12 N	Gt 0 / 20 N	Gt 0 / 20 N	Gt 3 / 20 N	Gt 0 / 20 N	Gt 1 / 20 N	Gt 0 / 14 N	Gt 0 / 14 N	Gt 1-2 / 20 N	Gt 0 / 18 N	
Haftung n. Alterung	Gt 0 / 20 N	Gt 0 / 20 N	Gt 0 / 20 N	Gt 3 / 18 N	Gt 0 / 20 N	Gt 0 / 20 N	Gt 3 / 20 N	Gt 0 / 20 N	Gt 0 / 20 N	Gt 0 / 20 N	Gt 0 / 20 N	Gt 0 / 20 N	Gt 0 / 20 N	
VW Creme A	Qu., Gt 0 / 20 N	Qu., Gt 0 / 20 N	etw. Qu., Gt 0 / 20 N	etw. Qu., Gt 5 / 12 N	Qu., Gt 0 / 20 N	Qu., Gt 0 / 20 N	Qu., Gt 4 / 18 N	etwas Qu., Gt 0 / 20 N	etwas Qu., Gt 1 / 20 N	etwas Qu., Gt 0 / 14 N	etwas Qu., Gt 0 / 14 N	etwas Qu., Gt 2 / 20 N	Qu., Gt 0 / 20 N	
VW Creme B	etwas Qu., Gt 0 / 20 N	etwas Qu., Gt 0 / 20 N	etw. Qu., Gt 0 / 20 N	Qu., Gt 5 / 12 N	etw. Qu., Gt 0 / 20 N	Qu., Gt 0 / 20 N	Qu., Gt 4 / 18 N	Qu., Gt 0 / 20 N	Qu., Gt 1 / 20 N	Qu., Gt 0 / 14 N	Qu., Gt 0 / 14 N	Qu., Gt 1 / 20 N	etwas Qu., Gt 0 / 20 N	
VW Hydro optisch	i.O.	i.O.	etwas fleckig	trüb-matt	unverändert	i.O.	i.O.	etwas fleckig	etwas fleckig	i.O.	i.O.	etwas fleckig	i.O.	
VW Hydro	Gt 0 / 12 N	Gt 0 / 18 N	Gt 5 / 16 N	Gt 5 / 10 N	Gt 4 / 14 N	Gt 5 / 16 N	Gt 5 / 16 N	Gt 5 / 16 N	Gt 4 / 14 N	Gt 4 / 14 N	Gt 5 / 10 N	Gt 5 / 20 N	Gt 0 / 18 N	
Scheuerbeständigkeit nach VW PV3987														
VW KK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Glanzgrad 20° / 60° vor dem Reiben	88	89	88	75	72	86	84	86	87	88	87	87	88	
Glanzgrad 20° nach dem Reiben	83,5	85	79	70	68	80	79	76	80	74	72	82	76	
Glanzgradänderung	5	4	10	7	6	7	6	12	8	16	17	6	14	
Ofen/UV														
TSD	22 µm	23 µm	25 µm	27 µm	23 µm	22 µm	22 µm	17 µm	27 µm	24 µm	21 µm	25 µm	29 µm	
Visuell	Matt (ALK glänzend)	Matt (ALK glänzend)	i.O.	trüb	milchig-trüb	i.O.	i.O.	i.O.	milchig-trüb	i.O.	i.O.	i.O.	Matt (ALK glänzend)	
Ausgangshaftung	Gt 0 / 20 N	Gt 0 / 20 N	Gt 0 / 20 N	Gt 3 / 18 N	Gt 0 / 20 N	Gt 5 / 12 N	Gt 0 / 20 N	Gt 0 / 20 N	Gt 1 / 20 N	Gt 0 / 20 N	Gt 2 / 20 N	Gt 0 / 20 N	Gt 0 / 18 N	
Haftung n. Alterung	Gt 0 / 20 N	Gt 0 / 20 N	Gt 0 / 20 N	Gt 3 / 18 N	Gt 0 / 20 N	Gt 5 / 12 N	Gt 0 / 20 N	Gt 0 / 20 N	Gt 1 / 20 N	Gt 0 / 20 N	Gt 2 / 20 N	Gt 0 / 20 N	Gt 0 / 20 N	
VW Creme A	Qu., Gt 0 / <15N	Qu., Gt 0 / <15N	etw. Qu., Gt 0 / 20 N	etw. Qu., Gt 5 / 12 N	Qu., Gt 0 / 20 N	etw. Qu., Gt 5 / 12 N	etw. Qu., Gt 0 / 20 N	Qu., Gt 0 / 15N	Qu., Gt 0 / 12 N	Qu., Gt 0 / 12 N	Qu., Gt 5 / 15 N	Qu., Gt 1 / 18 N	Qu., Gt 0 / <15N	
VW Creme B	Qu., Gt 1 / <15N	Qu., Gt 1 / <15N	etw. Qu., Gt 0 / 20 N	Qu., Gt 5 / 12 N	etw. Qu., Gt 0 / 20 N	etw. Qu., Gt 5 / 12 N	Qu., Gt 0 / 20 N	Qu., Gt 1 / 15N	Qu., Gt 1 / 12 N	Qu., Gt 0 / 12 N	Qu., Gt 5 / 15 N	Qu., Gt 1 / 18 N	Qu., Gt 1 / <15N	
VW Hydro optisch	Stumpf-matt, ALK weißlich glänzend	Stumpf-matt, ALK weißlich glänzend	etwas fleckig	trüb-matt	trüb-matt	etwas fleckig	etwas fleckig	etwas fleckig	trüb-matt	etwas fleckig	etwas fleckig	trüb-matt	Stumpf-matt, ALK weißlich glänzend	
VW Hydro	Gt 0 / 20 N	Gt 0 / 20 N	Gt 0 / 20 N	Gt 4 / 14 N	Gt 0 / 20 N	Gt 4 / 14 N	Gt 0 / 20 N	Gt 0 / 18 N	Gt 4 / 4 N	Gt 0 / 20 N	Gt 5 / 10 N	Gt 0 / 20 N	Gt 0 / 20 N	
Scheuerbeständigkeit nach VW PV3987														
VW KK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Glanzgrad 20° / 60° vor dem Reiben	50	50	86	48	52	83	84	85	65	84	86	72	57	
Glanzgrad 20° nach dem Reiben	25	30	70	45	48	80	79	76	60	70	75	69	32	
Glanzgradänderung	25	20	16	3	4	3	5	9	5	14	11	3	25	

Rohstoffname	Info zum Rohstoff	Anteil Nawaro	FK [Faktor]	Modifizierte Härter					Modifizierte PU-Bindemittel				
				-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10
BT 131													
Nawaro-PU-Bindemittel 2	1,7% OH, 25% Nawaro	0,25	1						80			40	40
Nawaro-PU-Bindemittel 1	4,2% OH, 44% Nawaro	0,44	1							20		10	
Nawaro-PU-Bindemittel 3	1,2% OH, 30 % Nawaro, 60% in BuAc	0,3	0,6								5		2,5
Nawaro-NCO-Härter	21,9% NCO, 68% Nawaro	0,68	1	30	30			15					
Nawaro-NCO-Härter	17% NCO, 65% Nawaro	0,65	1			28	28	12					
Vorlegen													
Reaktionskomponente-1	mehrfachfunktionell	0	1	30		30		15					
Reaktionskomponente-2	mehrfachfunktionell	0	1		30		30	15					
Reaktionskomponente-3	mehrfachfunktionell	0	1						4	4	4	4	4
Rühren													
Additiv		0	1	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03				
SUMME				60,04	60,04	58,04	58,04	57,04	84,03	24	9	54	46,5
FK				100	100	100	100	100	100	100	78	100	98
Anteil Nawaro (Lack) [%]				12,2	12,2	10,6	10,6	10,3	16,8	2,1	0,1	7,8	5,0
Anteil Nawaro (FK) [%]				12,2	12,2	10,6	10,6	10,3	16,8	2,1	0,1	7,8	4,9
Reaktions-/Rührzeit [h]				1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
IR-Überprüfung				i.O.	i.O.	n.i.O.	n.i.O.	n.i.O.	i.O.	n.i.O.	i.O.	n.i.O.	i.O.
Reifezeit [h]				-	-	24	48	48	-	48	-	48	-
IR-Überprüfung				-	-	i.O.	i.O.	i.O.	-	i.O.	-	i.O.	-