

Bewilligungsempfänger:

Zuelch Industrial Coatings GmbH

– PlasmAdd –

**Entwicklung eines innovativen Lacksystems mit
Hilfe einer Plasmavorbehandlung zur Substitution
konventioneller Additive**

Art des Berichts:	Abschlussbericht	
Projektförderung:	Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU)	
Aktenzeichen:	38039/01	
Verfasser:	Samuel Menacher, Claus Pilster Falk, Katharina Lossie, René Schmalstieg, Sven Schünemann, Prof. apl. Prof. Dr. rer. nat. Wolfgang Viöl, Dr. rer. nat. Georg Avramidis, Richard Wascher, Martin Bellmann, Rinat Ortmann, Henrik Werner	
Veröffentlichung:	Osterode am Harz, 28.08.2025	
Projektlaufzeit:	30.11.2022 – 29.11.2024 1. kostenneutrale Verlängerung bis 31.05.2025	
Projektpartner:	Zuelch Industrial Coatings GmbH Friedrich-Ebert-Straße 204-206 37520 Osterode-Lerbach	(Bewilligungsempfänger)
	HAWK Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst Hildesheim/Holzminde/Göttingen Hohnsen 4 31134 Hildesheim	(Kooperationspartner)

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis von Abbildungen und Tabellen	4
Abbildungen.....	4
Tabellen	5
Verzeichnis von Begriffen und Definitionen	6
Zusammenfassung.....	9
Zielsetzung und Projektarbeit	9
Ergebnisse	9
Ausblick.....	9
Projektpartner und Aktenzeichen	9
Einleitung.....	10
Aktuelle Problemstellung	10
Stand des Wissens und Technik	11
Lackzusammensetzung.....	11
Plasmabehandlung von Holz und Holzwerkstoffen	12
Hauptteil.....	15
AP 1 – Feststellung des Ist-Zustandes.....	15
Beschreibung.....	15
Angewandte Methoden und Ergebnisse.....	15
AP 2 – Evaluierung / Konzeptionierung	17
AP 2.1 – Evaluierung der Lackbestandteile	17
Beschreibung.....	17
Angewandte Methoden und Ergebnisse.....	17
AP 2.2 – Konzeptionierung des Vorbehandlungsprozesses.....	19
Beschreibung.....	19
Angewandte Methoden und Ergebnisse.....	19
AP 3 – Lackentwicklung.....	20
AP 3.1 – Formulierung	20
Beschreibung.....	20
Angewandte Methoden und Ergebnisse.....	21
AP 3.2 – Prüfung der Ergebnisse	26
Beschreibung.....	26
Angewandte Methoden und Ergebnisse.....	26
AP 4 – Plasmavorbehandlung	30
AP 4.1 – Konstruktion der Plasmaquelle.....	30
Beschreibung.....	30
Angewandte Methoden und Ergebnisse.....	30
AP 4.2 – Einstellen des Parameterkorridors	32
Beschreibung.....	32
Angewandte Methoden und Ergebnisse.....	32

AP 4.3 – Prüfung der Ergebnisse	33
Beschreibung	33
Angewandte Methoden und Ergebnisse	33
AP 5 – Feldtest des „PlasmAdd“ Lacksystems	35
Beschreibung	35
Angewandte Methoden und Ergebnisse	35
AP 6 – Fertigstellung eines Demonstrators	36
Beschreibung	36
Angewandte Methoden und Ergebnisse	36
AP 7 – CO ₂ -Bilanzierung des „PlasmAdd“	37
Beschreibung	37
Energiebilanz und CO ₂ -Fußabdruck	37
Nachwachsende Rohstoffe	38
AP 8 – Projektbegleitende Arbeiten	38
Beschreibung	38
Ergebnisse	38
Fazit	39
Literaturverzeichnis	40
Anhänge	40
Prüfbericht für die Standardbeize nach DIN EN 71 Teil 3:	1
Product Carbon Footprint (PFC) eines wässrigen Acrylat-Bindemittels:	8
Product Carbon Footprint (PFC) eines wässrigen Polyvinylacetat-Bindemittels:	9
Product Carbon Footprint (PFC) eines wässrigen Alkyd-Bindemittels:	10
Product Carbon Footprint (PFC) eines wässrigen, hydroxylgruppenhaltigen Acrylat-Bindemittels:	11

Verzeichnis von Abbildungen und Tabellen

Abbildungen

Abbildung 1: Schematische Darstellung der Projektidee.....	10
Abbildung 2: Struktur eines Silikontensids, Einfluss auf die Oberflächenglätte einer Beschichtung (vorne ohne Additiv) und Benetzungsstörungen eines Lackfilms (v.l.n.r.) [5], [6].	11
Abbildung 3: Darstellung der vielfältigen Prozesse innerhalb eines Plasmas und der daran beteiligten Komponenten.	13
Abbildung 4: Balkenplan des gesamten Vorhabens. Grün: Planung; Gelb: IST-Zustand.	15
Abbildung 5: Eindringverhalten von Wasser/Diodmethan auf Buche (direkte Entladung, Luft-Plasma).	16
Abbildung 6: Prinzipskizzen der in Frage kommenden Entladungskonzepte.	19
Abbildung 7: Volumenentladung des verwendeten, patentierten Disc-Jet-Konzepts.	20
Abbildung 8: Ablaufplan des Vorhabens.	21
Abbildung 9: Vergleich der Oberflächenenergie nach dem Auftragen der Beize. Jeweils links die unbehandelte Referenz, rechts die vor Beschichtung mit Plasma behandelte Probe. Nullprobe = 896-W5029-00 (Standard).....	28
Abbildung 10: Quellenhalterung inklusive Absaugungskonzept.	31
Abbildung 11: Förderbandkonzept mit planparalleler Anordnung.....	31
Abbildung 12: DSA100-System am Standort der HAWK in Göttingen.....	33
Abbildung 13: Beispielhafte Ergebnisse einer Versuchsreihe zur Ermittlung der Kontaktwinkel der Beizen (Lacke, Lackbestandteile) auf behandelten und unbehandelten Holzoberflächen.....	34
Abbildung 14: Gegenüberstellung der Oberflächenenergien (Polar, Dispers, Gesamt) von Ahorn und Buche in Abhängigkeit der eingespeisten Leistung.....	35
Abbildung 15: Fertiges Funktionsmuster.	36

Tabellen

Tabelle 1: Grundsätzlich geeignete Bindemittel.....	18
Tabelle 2: Weitere, grundsätzlich geeignete Rohstoffe.	18
Tabelle 3: Zusammensetzung der Formulierung AK046-AL03.....	22
Tabelle 4: Zusammensetzung der Formulierung AU019-AS01.	22
Tabelle 5: Zusammensetzung der Formulierung AU015-EC03.....	22
Tabelle 6: Zusammensetzung der Formulierung AY010-ST01.	22
Tabelle 7: Zusammensetzung der Formulierung AK023-SY01.....	22
Tabelle 8: Zusammensetzung der Formulierung OH024-SY02.....	22
Tabelle 9: Zusammensetzung der Formulierung PU028-SY05.	22
Tabelle 10: Zusammensetzung der Formulierung AU053-SY07.	22
Tabelle 11: Zusammensetzung der Formulierung AU039-WO01.....	23
Tabelle 12: Zusammensetzung der Formulierung AU041-WO02.....	23
Tabelle 13: Zusammensetzung der Formulierung AK043-WO03.	23
Tabelle 14: Zusammensetzung der Formulierung NC025-CO02.....	23
Tabelle 15: Zusammensetzung der Formulierung OH068-SY02.....	23
Tabelle 16: Zusammensetzung der Formulierung AK063-AL03.....	24
Tabelle 17: Zusammensetzung der Formulierung AY064-AL05.	24
Tabelle 18: Zusammensetzung der Formulierung HY065-AL06.	24
Tabelle 19: Zusammensetzung der Formulierung PU066-AL07.....	24
Tabelle 20: Zusammensetzung der Formulierung AK071-EC04.	24
Tabelle 21: Zusammensetzung der Formulierung ST067-DY01.....	24
Tabelle 22: Zusammensetzung der Formulierung AU072-SY06.	24
Tabelle 23: Zusammensetzung der Formulierung AU073-WO01.....	24
Tabelle 24: Zusammensetzung der Formulierung AY074-AL05.	25
Tabelle 25: Zusammensetzung der Formulierung AY075-AL05.	25
Tabelle 26: Zusammensetzung der Formulierung AY076-AL05.	25
Tabelle 27: Zusammensetzung der Formulierung AY077-AL05.	25
Tabelle 28: Zusammensetzung der Formulierung AY078-AL05.	25
Tabelle 29: Zusammensetzung der Formulierung AY079-AL05.	25
Tabelle 30: Zusammensetzung der Formulierung AY080-AL05.	26
Tabelle 31: Zusammensetzung der Formulierung AY081-AL05.	26
Tabelle 32: Zusammensetzung der Formulierung AY082-AL05.	26
Tabelle 33: Zusammensetzung der Formulierung AY083-AL05.	26
Tabelle 34: Zusammensetzung der Formulierung AY084-AL05.	26
Tabelle 35: Gegenüberstellung der Formulierungen hinsichtlich des Ansprechens auf die Plasmavorbereitung.....	27
Tabelle 36: Prozessparameter der direkten und indirekten Entladung.....	33

Verzeichnis von Begriffen und Definitionen

°	Grad (Winkel)
µL	Mikroliter (Volumen)
1K	einkomponentig
2K	zweikomponentig
2K-PUR	zweikomponentiges Lacksystem, bestehend aus Stammlack und Härter
Alkyd	oxidativ trocknendes, d.h. mit Sauerstoff unter Vernetzung der Molekülketten reagierendes Bindemittel
AP	Arbeitspaket
Ar	Argon
Argon 4.6	Argon mit einer Reinheit von 99,996%
Auslaufbecher	genormter Becher zur Bestimmung der Viskosität einer Flüssigkeit, indem die Zeit gemessen wird, in der die Flüssigkeit durch ein Loch abfließt
Basislack	meist farbloser oder weißer Lack, der zum Einfärben mit Pigmentpasten bestimmt ist und bereits alle übrigen relevanten Rohstoffe wie bspw. Füllstoffe, Lösungsmittel und Additive enthält
cm ²	Quadratcentimeter (Fläche)
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
COOH-Gruppe	Carboxyl-Gruppe
DBD	Dielectric Barrier Discharge (dielektrisch behinderte Entladung)
Delaminationstest	Testverfahren zur Bestimmung der Haftzugsfestigkeit, bei dem ein auf eine Beschichtung geklebter Dolly mechanisch wieder abgezogen wird, wobei die Beschichtung vom Werkstück abgelöst wird
DIN	Deutsches Institut für Normung; DIN-Norm
DI-Wasser	deionisiertes Wasser
DOE	Design of Experiment (statistische Versuchsplanung)
EN	Europäische Norm
FARBE UND LACK	Anwenderzeitschrift, verlegt von Vincentz Network, www.farbeundlack.de
Farbechtheit	Maß für die Eigenschaft eines Pigments, seine Farbe und Intensität über die Zeit zu behalten, ohne zu verblassen oder sich zu verändern
Farblässigkeit	Maß für das Abfärben von lackierten oder anderweitig eingefärbten Objekten; Prüfung nach DIN 53160 mit Speichel- und Schweißsimulanz
Farbtiefe	Maß für die Intensität einer Farbwahrnehmung
Fe	Eisen
Festkörper	nichtflüchtiger Anteil eines Lackes oder einer Beize, der nach Trocknung auf dem Werkstück verbleibt

Fe-Trockenstoff	eisenhaltiger Katalysator zur Beschleunigung der Vernetzungsreaktion von Alkyd-Systemen
g	Gramm (Masse)
Haftzugsfestigkeit	Maß für die Haftung, z.B. zwischen Beschichtung und Werkstück
Härter	in der Lackkunde: Bindemittel, welches funktionelle Gruppen enthält (hier: NCO-Gruppen), die mit anderen Bindemitteln unter Vernetzung der Molekülketten reagieren können
HAWK	Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst
hydrophil	wasserliebend
hydrophob	wasserabweisend
Isocyanathärter	in der Lackkunde: Bindemittel, welches NCO-Gruppen enthält, die mit OH-funktionellen Bindemitteln unter Vernetzung der Molekülketten reagieren können, wobei ein Polyurethan entsteht
kg	Kilogramm (Masse)
Kontaktwinkel	Winkel zwischen der Oberfläche eines Flüssigkeits-Tropfens und der Oberfläche des Werkstücks, auf dem der Tropfen aufgebracht wurde
kWh	Kilowattstunde (elektrische Energie)
L/min	Liter pro Minute (Volumenstrom)
m/min	Meter pro Minute (Geschwindigkeit)
mm	Millimeter (Länge, Abstand, Dicke)
mN/m	Millinewton pro Meter (Grenzflächenspannung, Oberflächenspannung, Oberflächenenergie)
MV	Mischungsverhältnis
N ₂ O	Distickstoffmonoxid, Lachgas
NaWaRo	Nachwachsende Rohstoffe
NCO-Gruppe	Isocyanat-Gruppe
NO	Stickstoffmonoxid
NO ₂	Stickstoffdioxid
NO _x	Stickoxide, nitrose Gase, z.B. N ₂ O, NO, NO ₂
O ₃	Ozon
Oberflächenenergie (freie)	Maß für die Energie, die zum Vergrößern einer Oberfläche aufgewendet werden muss, bei Flüssigkeiten spricht man auch von Oberflächenspannung; mit steigender Oberflächenenergie wird das Werkstück besser benetzt, der Kontaktwinkel wird kleiner
Oberflächenspannung	Maß für die ziehende Kraft, die an der Oberfläche einer Flüssigkeit lokalisiert ist und parallel zur Flüssigkeitsoberfläche wirkt; mit steigender Oberflächenspannung wird die Oberfläche zunehmend minimiert, der Kontaktwinkel wird größer
OE	Oberflächenenergie
OH-funktionell	Bindemittel, welches Hydroxylgruppen enthält, die mit NCO-Gruppen reagieren können

OH-Gruppe	Hydroxyl-Gruppe
OWRK	Methode nach Owens, Wendt, Rabel und Kaelble zur Bestimmung der polaren und dispersen Anteile der Oberflächenenergie von Festkörpern
P	Formelzeichen für Leistung (physikalische Größe)
PCF	Product Carbon Footprint (CO ₂ -Fußabdruck des Produkts)
PDI	Pentamethylendiisocyanat
PEEK	Polyetheretherketon
Photometrie	Messverfahren, bei dem die Abschwächung eines Lichtstrahls bei Durchtritt durch eine farbige Flüssigkeit gemessen wird
Pigmentpaste	Vorgefertigtes flüssiges bis zähflüssiges Produkt, in welchem das Pigment bereits vermahlen enthalten ist, zur einfachen Einarbeitung in Lackformulierungen
Polyol	in der Lackkunde: OH-funktionelles Bindemittel
PTFE	Polytetrafluorethylen
PU/PUR	Polyurethan
PVAc	Polyvinylacetat
Q	Formelzeichen für Volumenstrom
Ref.	Referenz
s	Sekunde (Zeit)
Schweißsimulanz	gemäß DIN 53160 standardisiert hergestellte Lösung aus Wasser, Salzen, Harnstoff und Milchsäure zur Simulation von menschlichem Schweiß
Speichelsimulanz	gemäß DIN 53160 standardisiert hergestellte Lösung aus Wasser und Salzen zur Simulation von menschlichem Speichel
Stammlack	bindemittelhaltige Komponente bei mehrkomponentigen Lacksystemen, in die je nach Verwendungszweck alle relevanten Rohstoffe wie bspw. Pigmente, Füllstoffe, Lösungsmittel und Additive eingearbeitet sind
TRL	Technological Readiness Level (technologische Reifegrad); dienen der Bewertung des technischen Fortschritts während einer Entwicklung und reichen von der Grundlagenforschung (TRL 1) bis zur Marktreife (TRL 9)
Trockenstoff	in der Lackkunde: Katalysator zur Beschleunigung der Vernetzungsreaktion von Alkyd-Systemen, meist kobalthaltig
U/min	Umdrehungen pro Minute (Drehzahl)
UV	ultraviolett
W	Watt (elektrische Leistung)
Zwischenhaftung	Haftung zwischen einzelnen Lackschichten bei einem mehrschichtigen Aufbau

Zusammenfassung

Zielsetzung und Projektarbeit

Im Hinblick auf die aktuelle ökonomische, ökologische, politische und gesellschaftliche Situation soll ein nachhaltiges, wässriges Lacksystem für die industrielle Beschichtung von Kleinteilen für Holz und Holzwerkstoffe entwickelt werden, welches ohne chemische Additive auskommt. Der Verzicht auf Additive soll durch den Einsatz von Atmosphärendruck-Plasmatechnologie kompensiert werden. Zudem sollen die verwendeten Bindemittel aus nachwachsenden Rohstoffen bestehen.

In der Projektarbeit wurde zunächst Grundlagenforschung in Bezug auf die Oberflächenenergie von Holzoberflächen in Zusammenhang mit der Oberflächenspannung von wässrigem Lacksystem in Kombination mit einer Plasmavorbereitung betrieben. Von besonderer Bedeutung war die Bestimmung der Kontaktwinkel von Wasser und Diiodmethan zur Ermittlung der Oberflächenenergie der Holzoberflächen sowie von Einzelrohstoffen und Lackformulierungen zur Bewertung des Benetzungsverhaltens. Im weiteren Verlauf wurden Trommelversuche mit Versuchsbeizen und -klarlacken sowie Beständigkeitstests durchgeführt. Begleitend wurden diverse Standard-Qualitätsprüfungen vorgenommen.

Ergebnisse

Eine Entwicklung allein auf Grundlage von Messwerten der Oberflächenenergie bzw. Oberflächenspannung war aufgrund der Komplexität des chemischen Aufbaus von Bindemitteln und anderen Lackrohstoffen und der daraus resultierenden präferenziellen Adsorption von bestimmten Substanzen an messrelevanten Grenzflächen nicht möglich. Mithilfe der üblichen Qualitätsprüfung, der Bewertung von Eindringtiefe, Materialverbrauch und Oberflächengüte wurde ein additivfreies Lacksystem bestehend aus einer Beize, einem Alkyd-basierten, einkomponentigen Klarlack sowie einem zweikomponentigen Polyurethan-Klarlack entwickelt. Aufbauend auf einem bestehenden, patentierten Disc-Jet-Konzept wurde ein Funktionsmuster (Plasmaanlage) zur Vorbehandlung von Holzkleinteilen im Labormaßstab konstruiert und aufgebaut.

Ausblick

Das PlasmAdd-Lacksystem weist einen technologischen Reifegrad (TRL) von 4-5 auf. Zur Erreichung der Marktreife ist eine Weiterentwicklung in Folgeprojekten erforderlich. Aufbauend auf den vorliegenden Ergebnissen liegt der Schwerpunkt dabei auf der Skalierung des Plasmavorbereitungsprozesses und der Bewältigung der damit verbundenen verfahrenstechnischen Herausforderungen.

Projektpartner und Aktenzeichen

Bewilligungsempfänger:

Zuelch Industrial Coatings GmbH, Friedrich-Ebert-Straße 204-206, 37520 Osterode-Lerbach.

Kooperationspartner:

HAWK Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst,
Hildesheim/Holzminde/Göttingen, Hohnsen 4, 31134 Hildesheim.

Projektförderung:

Das Projekt wurde gefördert unter dem Aktenzeichen 38039/01 von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU).

Einleitung

Übergeordnetes Projektziel ist die Entwicklung eines nachhaltigen Lacksystems für die industrielle Beschichtung von Kleinteilen, ohne die Verwendung von chemischen Additiven, welche durch plasmatechnologische Verfahren substituiert werden (Abbildung 1).

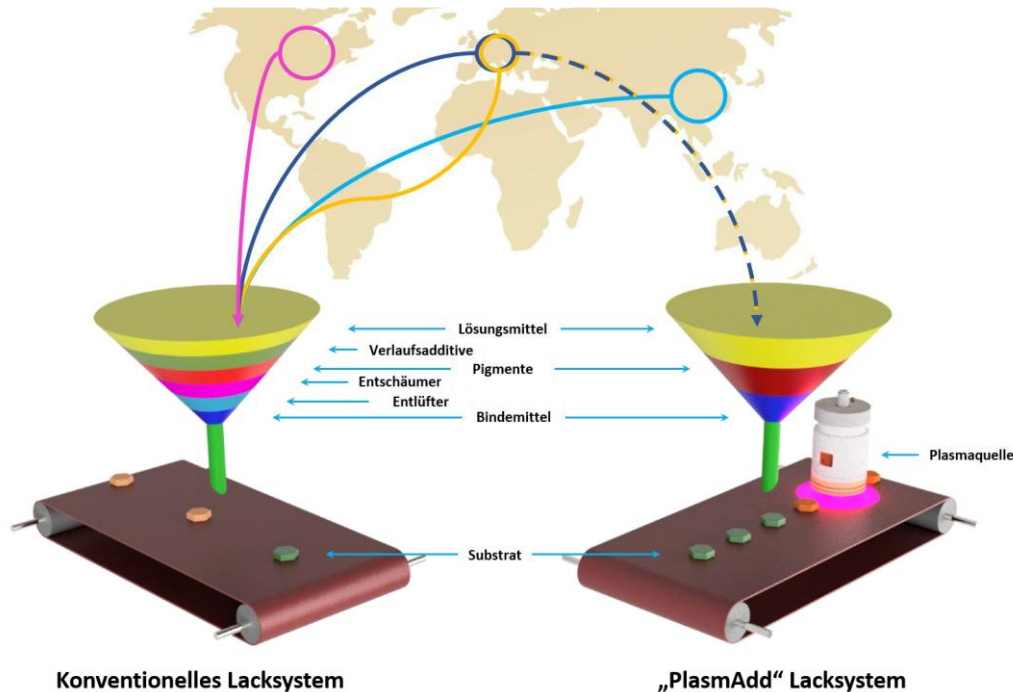


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Projektidee.

Die Firma Zuelch beabsichtigt innerhalb des Projektes ein nachhaltiges, wässriges Lacksystem für Holz und Holzwerkstoffe zu entwickeln, welches aufgrund der aktuellen Marktsituation und des aktuellen politischen Bestrebens (z.B. Green Deal der EU) **additivfrei** hergestellt wird und folglich lediglich aus Bindemittel, Wasser und Farbpigmenten besteht. Die Verwendung von Additiven wie Verlaufsmitteln soll durch den Einsatz von Atmosphärendruck-Plasmatechnologie kompensiert werden. Explizit soll durch die Plasmavorbereitung die Oberflächenenergie von Holzoberflächen so weit angepasst werden, dass ein zu entwickelndes wässriges Lacksystem ohne die Verwendung von etablierten Hilfsstoffen bzw. Additiven problemlos aufgetragen und diese somit substituiert werden können. Als weitere Innovation wird das Bindemittel dabei aus nachwachsenden Rohstoffen bestehen.

Aktuelle Problemstellung

Aktuell befindet sich die Lackindustrie neben anderen Industriezweigen Deutschlands in einer prekären Wirtschaftslage. Viele einzelne bzw. voneinander abhängige Veränderungen in den Ausgangsbedingungen einzelner Wirtschaftsprozesse (z.B. Rohstoffknappheit, Preissteigerungen, Logistikprobleme etc.) haben einen großen Einfluss auf komplexe und dynamische Produktionsprozesse. Farbausgangsstoffe, wie z.B. Titanoxid als Weißpigment, Bindemittel für Farben und Lacke, wie z.B. Epoxidharze, die einen Großteil der Produktionskosten für Farben und Lacke ausmachen, sowie Lösungsmittel erfahren derzeit eine enorme Lieferknappheit und daraus resultierende Preissteigerungen. Hinzu müssen logistische Hürden bei den Ausgangsstoffen, die größtenteils aus dem asiatischen Raum importiert werden, überwunden werden: Lieferengpässe (u.a. aufgrund des schnellen Aufschwungs der asiatischen Binnenmärkte) und drastische Erhöhungen der Lieferkosten. Größere Unternehmen in diesem Wirtschaftssegment weisen oft besser ausgebaute infrastrukturelle bzw. logistische Netzwerke auf. Weitaus dramatischer wirkt sich die geschilderte Gesamtsituation auf kleine und mittelständische Unter-

nehmen aus und zwingt die lackherstellenden und lackverarbeitenden Betriebe zusätzlich zur Umstellung etablierter Herstellungsprozesse und Verfahren. Außerdem entsprechen die in den Lacken eingesetzten Stoffe, insbesondere Bindemittel, Lösungsmittel und Additive, oftmals nicht der heutigen Erwartungshaltung der Endkunden hinsichtlich Gesundheitsbelastung, Nachhaltigkeit oder CO₂-Bilanz. Durch den zunehmenden gesellschaftlichen und politischen Druck (z.B. Green Deal) sollen Anpassungen in der Produktion zur Verwendung ökologisch nachhaltiger Rohstoffe vorgenommen werden. Notwendige Anpassungen können bzw. müssen beispielsweise Änderungen von Rezepturen durch die Verwendung von alternativen, regional verfügbaren Ausgangsmaterialien beinhalten.

Stand des Wissens und Technik

Lackzusammensetzung

Die Zusammensetzung eines Lackes sieht nach aktuellem Stand der Technik wie folgt aus:

Bindemittel: Als Bindemittel kommen für Trommellacke alle gängigen auf dem Markt verfügbaren Bindemittel in Betracht. Vorrangig werden Polymere aus der Klasse der Polyurethane, der Polyester oder Polyacrylate bzw. Copolymerisate dieser Stoffklassen verwendet. In Abhängigkeit von der Erwartungshaltung des Kunden bspw. hinsichtlich der Beständigkeit gegenüber Chemikalien oder mechanischer Belastungen werden entweder rein physikalisch trocknende Formulierungen gewählt oder 2-Komponenten-Ansätze mit Härtern eingesetzt.

Die Herstellung wasserdispergierbarer Polymere gelingt durch die Einführung hydrophiler Einheiten in die Polymerketten [1], [2]. Die Polymere werden zu kleinen Kügelchen dispergiert und zeigen dementsprechend ein anderes Trocknungs- und Filmbildungsverhalten als lösungsmittelhaltige Lacke. Die Polymerkügelchen lagern sich während der Trocknung zunächst auf der Oberfläche an. Durch das Verdunsten des Lösungsmittels kommen sich die Kügelchen immer näher, bis sie miteinander verschmelzen und einen geschlossenen Lackfilm bilden [2].

Verlaufsadditive: Verlaufsadditive erfüllen zwei wichtige Aufgaben innerhalb von Lacksystemen. Sie verbessern die Untergrundbenetzung und somit die Haftung des Lackes auf dem Substrat und sorgen gleichzeitig dafür, dass die Oberfläche glatt und gleichmäßig erscheint (vgl. Abbildung 2). Diese Effekte werden vorrangig durch eine Reduzierung der Oberflächenspannung des Lackes ermöglicht. In Abhängigkeit von der Struktur des Additivs sind diese Eigenschaften stärker oder schwächer ausgeprägt. Im Allgemeinen handelt es sich chemisch um Moleküle mit Tensidstruktur (ein Teil hydrophil, ein Teil hydrophob) oftmals besteht der unpolare Teil der Moleküle aus Silikonderivaten, während der polare Teil aus Polyethergruppen besteht, wie in Abbildung 2 gezeigt [3], [4].

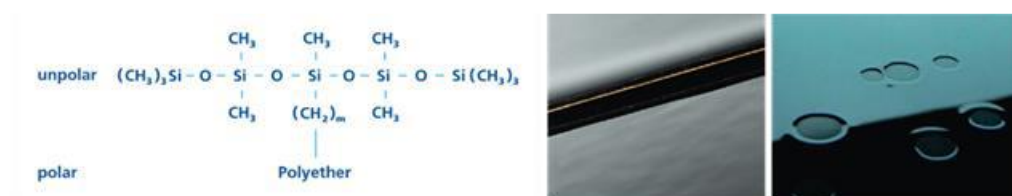


Abbildung 2: Struktur eines Silikontensids, Einfluss auf die Oberflächenglätte einer Beschichtung (vorne ohne Additiv) und Benetzungsstörungen eines Lackfilms (v.l.n.r.) [5], [6].

Anhand der Tenside lässt sich exemplarisch zeigen, welche Risiken die Verwendung vermeintlich harmloser Verbindungen mit sich bringen kann. Die Gruppe der Alkylphenylethoxylate wurde beispielsweise als Tensid in Reinigungsmitteln und Lacken verwendet. Es stellte sich später heraus, dass diese Stoffe schlecht in der Natur abgebaut werden und zugleich als endokrine Disruptoren wirken. Diese Stoffe lassen sich bis heute in vielen Bereichen, beispielsweise in Lebensmitteln nachweisen [7].

Entschäumer: Besonders durch die Verwendung von Verlaufsadditiven steigt das Risiko für Schaumbildung während der Verarbeitung oder Applikation. Schaum in Lacksystemen wird dabei in zwei Kategorien, den Mikro- und den Makroschaum unterteilt. Mikroschaum ist sehr feinteilig und besitzt nur eine geringe Auftriebskraft, Makroschaum ist gröber und bildet besonders an der Grenzfläche Flüssigkeit/Gas Schaum. Mit Molekülen, die teilweise oder nicht im Lösungsmittel des Lackes löslich sind, wird versucht die Tensid-Schicht der Schaumblasen zu stören und/oder ein Auftreiben des Schaums an die Oberfläche zu bewirken. Nachteilig ist, dass diese Moleküle oftmals die Benetzung verschlechtern (Kraterbildung) [3], [4].

Dispergieradditive: Diese Moleküle werden verwendet, wenn Pigmente, bspw. Farbpigmente gleichmäßig im Lack verteilt werden sollen. Entsprechend der chemischen Natur des jeweiligen Pigmentes ausgewählt, lagern sich beispielsweise anionische Dispergieradditive an sauren Pigmenten an und verhindern aufgrund der attraktiven Wechselwirkungen des restlichen Moleküls mit der flüssigen Phase ein Absetzen der Pigmente sowie einen ungleichmäßigen Farbeindruck nach der Trocknung des Lackfilms [3], [4], [8].

Verdicker: Zur Einstellung einer Viskosität, die für die gewünschte Applikationsform passend ist, gibt es Viskositäts-Additive. Diese Moleküle können organischen oder anorganischen Ursprungs sein. Sie wirken vorrangig durch ein Aufquellen in der Lackmatrix. Teilweise treten diese Moleküle miteinander in Wechselwirkung (bspw. Schichtsilikate) und sorgen für thixotrope Lackeigenschaften, was beispielsweise eine hohe Standfestigkeit bewirkt. Assoziativ-Verdicker besitzen Tensidcharakter und sind in der Lage verdickende Micellen sowie mit dem Bindemittel Wechselwirkungen auszubilden [3], [4], [8].

Gleitadditive/Poliermittel (speziell für Trommellacke): Für Trommellacke werden verschiedene Wachse und Tenside eingesetzt, diese verhindern das die Teile aneinander kleben bleiben und sorgen für einen optimalen Glanz sowie eine erhöhte Abrieb- und Kratzfestigkeit [3], [4], [8], [9].

Pigmente: Vorrangig werden in farbigen Systemen anorganische Pigmentvermahlungen eingesetzt, diese sind beständiger als organische Farbstoffe [4].

Plasmabehandlung von Holz und Holzwerkstoffen

Plasmen: Plasmen oder auch Gasentladungen kennzeichnen in der Physik ionisierte Gase und werden auch als 4. Aggregatzustand der Materie betrachtet. In der Natur treten Plasmen in vielfältiger Form in Erscheinung und machen 99% der sichtbaren Materie des Universums aus. Beispiele für solche, natürlich vorkommende Plasmen sind Flammen, Blitze, Polarlichter oder die Sonne. Technisch erzeugte Plasmen werden heute in einer stetig wachsenden Zahl von Anwendungen eingesetzt und sind nicht mehr aus der modernen Technik wegzudenken. Mit Plasmen werden Oberflächen gereinigt oder sterilisiert, kratzfeste und entspiegelnde Schichten auf Optiken, wie z.B. Brillengläsern, aufgebracht, diamantähnliche Schichten erzeugt, Werkzeugoberflächen gehärtet oder Licht erzeugt.

Technische Plasmen werden erzeugt, indem einem Gas, z.B. elektrische Energie zugeführt wird, wodurch Atome und Moleküle des Gases Elektronen ihrer Hülle verlieren und dadurch ionisiert werden. Die Elektronen befinden sich in diesem Zustand als frei bewegliche Ladungsträger im Gas. Zusätzlich entstehen hochreaktive Radikale, angeregte Moleküle und Molekülfragmente. In diesem Zustand reagiert das Gas in einer Vielzahl von chemischen und physikalischen Prozessen mit der Werkstückoberfläche (Abbildung 3) [10], [11]. Diese Eigenschaften machen das Plasma zu einem leistungsstarken und flexiblen Werkzeug, das in den unterschiedlichsten Industriebereichen Anwendung findet.

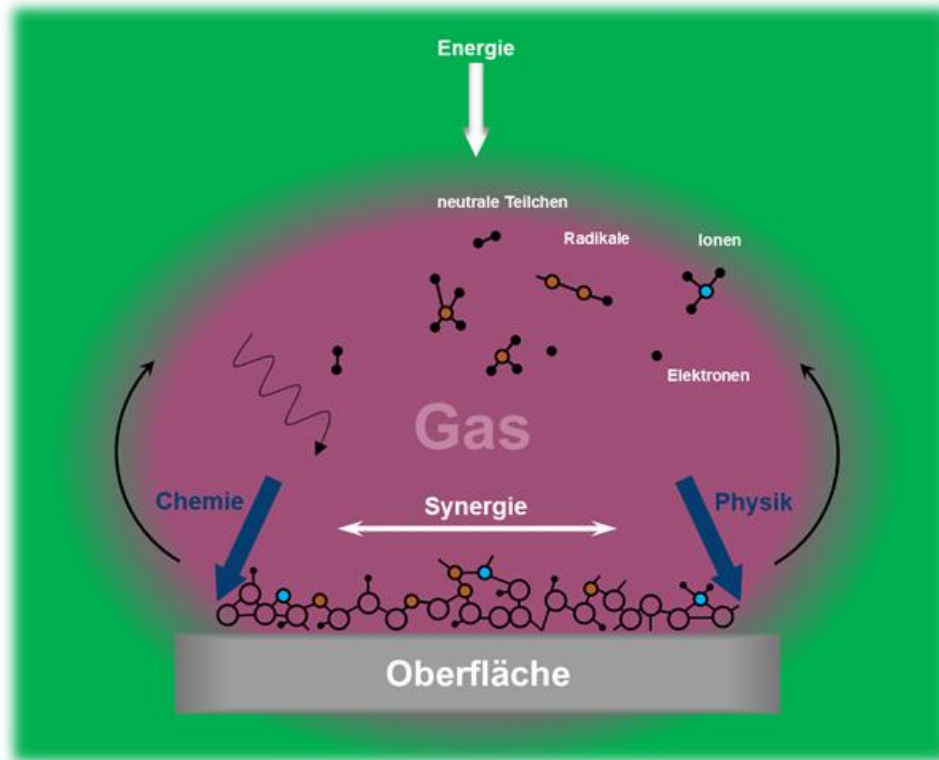


Abbildung 3: Darstellung der vielfältigen Prozesse innerhalb eines Plasmas und der daran beteiligten Komponenten.

Eine Vielzahl von Plasmen wird technisch eingesetzt, die aufgrund unterschiedlicher Kriterien, wie zum Beispiel Druck, Temperatur oder Ionisierungsgrad, klassifiziert werden können. Bezüglich des Drucks unterscheidet man zwischen Hoch-, Normal- und Niederdruckplasmen, wobei Normaldruckplasmen bei Atmosphärendruck erzeugt werden. Bei der Plasmabehandlung im Atmosphärendruckbereich ist die Teilchenzahl und damit die Anzahl reaktiver Teilchen in der Entladung durch den hohen Druck deutlich größer als in einer Niederdruckentladung. Durch diesen Umstand steigt die Wirksamkeit bzw. sinkt die Behandlungszeit des Substrates um ein Vielfaches. Die Behandlungstemperatur bei der Plasmabehandlung unter Atmosphärendruck lässt sich im Vergleich zum Niederdruck besser regulieren. Zudem sind teure Vakuumaufbauten zur Realisierung eines Niederdruckplasmas nötig, was zu einem eingeschränkten Durchsatz und eingeschränkter Skalierbarkeit des Systems führt. Die Implementierung in bestehende Produktionsabläufe ist bei Niederdruckanlagen nicht ohne zusätzliche Investitionen möglich. In der Industrie wird das Niedertemperatur-Atmosphärendruckplasma zur Entfettung und Reinigung von Metallen und Kunststoffen, zur Aktivierung von Oberflächen, zum Ätzen, Kleben und zur Beschichtung genutzt [12]. Besonders im Bereich der kunststoffverarbeitenden Industrie ist die Plasmatechnik seit vielen Jahrzehnten ein wichtiger Bestandteil, um Kunststoffoberflächen bedruckbar und verklebbar zu machen. Dabei erhöht die Plasmabehandlung die Hydrophilität der Oberfläche und verbessert ihre Benetzungseigenschaften. So kann die Plasmabehandlung nass-chemische Prozesse ersetzen und benötigt selbst nur elektrische Energie.

Plasmabehandlung von Holz und Holzwerkstoffen: Das für die Modifikation von Holz und Holzwerkstoffen eingesetzte Plasma beruht auf dem Prinzip der dielektrisch behinderten Entladung (Dielectric Barrier Discharge - DBD). Dabei werden, ähnlich wie bei einem Kondensator, metallische Leiter durch ein Dielektrikum, wie z.B. Glas oder Keramik, getrennt [13]. Durch Anlegen einer Hochspannung an die Elektroden entsteht im dazwischenliegenden Luftspalt ein elektrisches Feld, welches das Plasma zündet. Das zu behandelnde Material befindet sich dabei im direkten Kontakt zum Plasma und wird im Durchlauf durch die Entladungszone behandelt. In einer Reihe von Studien konnte gezeigt werden, dass eine Plasmabehandlung unter Atmosphärendruck den polaren Anteil der Oberflächenenergie von Holz- und Holzwerkstoffober-

flächen signifikant erhöht und dadurch die Benetzung und Haftung von Leimen verbessert wird. Ursache hierfür ist eine Anlagerung polarer Gruppen an bestimmte Bestandteile des Holzes (Lignin, Hemicellulosen): Sauerstoff aus der Luft wird während der Plasmabehandlung an die Oberfläche angelagert und es bilden sich polare Hydroxyl(OH)- und Carboxyl(COOH)-Gruppen [14], [15]. Untersuchungen an Span- und Faserplatten haben gezeigt, dass eine Plasmabehandlung ebenfalls die Oberflächenenergie erhöht und damit auch die Benetzungseigenschaften der Oberfläche verbessert [16]. Eine verbesserte Haftung von PVAc-Leimen auf den plasmabehandelten Span- und Faserplatten konnte nachgewiesen werden. Die Untersuchung der zeitabhängigen Festigkeitszunahme von PVAc-Leim zeigte, dass die Plasmabehandlung die Trocknungsgeschwindigkeit des Leimes merklich steigert. Diese beschleunigte Zunahme der Festigkeit oder Beschleunigung der Trocknung nach der Plasmabehandlung ist Folge eines beschleunigten Wasserentzugs aus dem Leim in das Material [17], [18]. Untersuchungen an thermisch modifiziertem Buchenholz konnten zeigen, dass die Plasmabehandlung, bezüglich Oberflächenenergie und Benetzungseigenschaften, die Charakteristika der originalen, unbehandelten Buche wiederherstellt und sogar verbessert [19]. Auf diese Weise wirkt die Plasmabehandlung mit der Erzeugung polarer Gruppen und Steigerung der Hydrophilität dem Verlust an Polarität und damit gesteigener Hydrophobität nach der Thermobehandlung entgegen. Der Effekt der Plasmabehandlung, also die gesteigerte Hydrophilität und Benetzung, ist dabei nicht von Dauer und zeigen ein (wenn auch langsames) Abklingverhalten. Die durch die Plasmabehandlung verbesserte Benetzung ist lediglich temporär vorhanden, sodass die Postprozesse (Lackierung, Trocknung, Beleimung) im Idealfall direkt nachgeschaltet appliziert werden sollten.

Industriell verwendete Plasmasysteme: Gängige, in der Industrie eingesetzte, Plasmavorbehandlungen basieren auf Plasma-Jet bzw. Plasma-Remote Systemen, um sowohl flächige Bauteile (Bsp. rotierende Düsen von Plasmatrete), als auch schwer zugängliche Bauteile bzw. Oberflächen (Bsp. Tigres, bdtronic, Plasmatrete) zu aktivieren bzw. zu funktionalisieren. Die genannten Hersteller nutzen bei ihren Remote-Systemen hauptsächlich Bogenentladungen, bei denen die reaktiven Spezies über hohe Prozessgasströme auf die Substratoberfläche geblasen werden. Bei Bogenentladungen entstehen aufgrund des hohen elektrischen Stroms hohe Temperaturen, die die Behandlung von temperaturempfindlichen Substraten nur über den Einsatz von hohen Prozessgasströmen (Kühlgasströmen) ermöglichen. Zudem nimmt die Behandlungseffektivität mit größerer Entfernung von der Substratoberfläche ab. Ferner entsteht bei dieser Art der Plasmaerzeugung Elektrodenabbrand, welcher sich auf den behandelten Oberflächen abscheidet und zu unerwünschten Nebeneffekten führen kann.

Hauptteil

Die geplante Laufzeit des Projekts betrug 2 Jahre. Geplanter Projektbeginn: 01.09.2022. Die Bewilligung und damit der tatsächliche Projektstart erfolgte am 30.11.2022. Das Projekt wurde in Arbeitspakete eingeteilt, der Zeitplan wurde im Laufe des Projekts aufgrund verschiedenartiger Gründe angepasst. Außerdem wurde eine kostenneutrale Verlängerung um sechs Monate beantragt und bewilligt. Der zeitliche Verlauf der Arbeitsschritte ist in Abbildung 4 dargestellt.

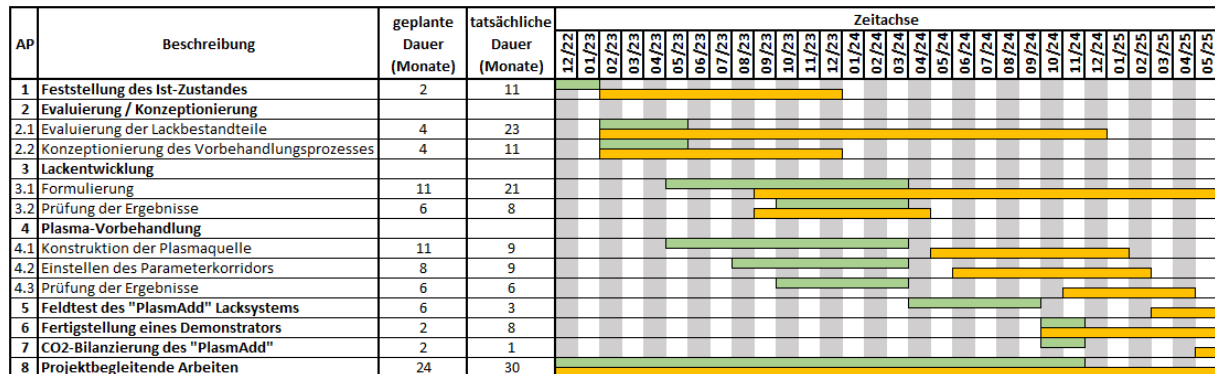


Abbildung 4: Balkenplan des gesamten Vorhabens. Grün: Planung; Gelb: IST-Zustand.

AP 1 – Feststellung des Ist-Zustandes

Beschreibung

Zu Beginn des Vorhabens sollen zunächst anhand der wässrigen Standardtrommellacke (1K- und 2K-Trommellacke, Beize) der Firma Zuelch sowohl relevante Oberflächenkennwerte von Ahorn- und Buchensubstraten als auch Kennwerte der Lacksysteme erfasst werden. Mit einem an der HAWK vorhandenen Laboraufbau zur Plasmavorbehandlung werden die minimalen und maximalen Grenzen der Oberflächenenergie auf den zu beschichtenden Substraten unter Beachtung der Temperaturempfindlichkeit der Hölzer eruiert. Die Firma Zuelch wird anhand des ausgewählten Lacksystems die Oberflächenspannung mittels Kontaktwinkelmessgerät, die Chemikalienbeständigkeit nach DIN EN ISO 2812 Teil 3, das Trocknungsverhalten, die Schaumbildung, die Haftung, die Beständigkeit gegen UV-Licht und Sauerstoff sowie ggf. die Farblässigkeit nach DIN 53160 ermitteln. Das Trocknungsverhalten sowie Beständigkeitsprüfungen werden zur einheitlichen Erfassung durch Rakelaufzüge bestimmt. Dieser Datensatz gibt erste Informationen über die Möglichkeiten der Parametrisierung des Plasmavorbehandlungsprozesses sowie über einen möglichen Rezepturenkorridor.

Angewandte Methoden und Ergebnisse

Die Oberflächenkennwerte von Ahorn- und Buchensubstraten wurden mittels Kontaktwinkelmessgerät (OWRK) mit Wasser/Diiodmethan erfasst. Die Werte sind allerdings fehlerbehaftet: Die Holzoberflächen sind porös und die Struktur ist heterogen, Buche gleichmäßiger als Ahorn, gerade bei Ahorn starke Unterschiede wegen u.a. Kern-/Splintholzanteilen. V.a. Wasser und hohe Verdünnungen von Rohstoffen sowie andere Lösungsmittel verhalten sich oft sehr dynamisch, d.h. ziehen binnen Sekundenbruchteilen ins Holz ein, sodass kein Kontaktwinkel messbar ist.

Die Kennwerte (Oberflächenspannung) der Lacksysteme (wässrige Standardtrommellacke) wurden mittels Wilhelmy-Methode (Tensiometer), Blasendruck-Methode und Kontaktwinkelmessgerät erfasst. Die Oberflächenspannung bewegt sich in einem relativ kleinen Rahmen. Auf Ahorn sind die Kontaktwinkel durchweg größer als auf Buche, bei vergleichbaren Verhältnissen. Die Werte sind allerdings stark fehlerbehaftet: Lacke sind per se sehr komplexe heterogene Flüssig-flüssig-fest-Gemische mit diversen oberflächenaktiven Substanzen, v.a. Emulgatoren

und Netzmittel. Dazu kommt eine mögliche präferenzielle Adsorption von bestimmten Substanzen an den Grenzflächen und der Dreiphasengrenze, welche den Kontaktwinkel und die Oberflächenspannung an sich verfälschen können. Die Methoden und insbesondere die Wilhelmy-Methode sind sehr anfällig für Verunreinigungen. Viele Messwerte waren nicht plausibel (negative polare Anteile). Es konnten keine eindeutigen Zusammenhänge von einzelnen Lackrohstoffen, insbesondere Bindemitteltypen, und dem resultierenden Kontaktwinkel hergestellt werden. Klar ist aber, dass die Viskosität für die Anwendung in diesem Projekt sehr niedrig (etwa wasserdünn) sein muss. Außerdem wurde eine pH-Wert-Abhängigkeit beobachtet. Der größte Einflussfaktor ist das Holz als solches, Inhomogenitäten und Richtung der Maserung führen zu großen Abweichungen, weswegen vergleichende Versuche schwierig zu interpretieren sind. Eindeutig ist aufgrund der Kapillardurchmesser die Abhängigkeit der Eindringtiefe von der Schnittrichtung: Entlang der größeren, vertikalen Poren (Tracheen) dringt Lack schneller und tiefer ein als entlang der kleineren, horizontalen Strahlen, was aber nicht direkt mit der Korngrößenverteilung der Pigmentpasten in Verbindung gebracht werden kann. Die Korngrößenverteilung trifft aber keine Aussage zu einer möglichen Aggregationsneigung der unterschiedlichen Pigmenttypen. Außerdem ist eine Tendenz erkennbar, dass die Zugabe von hydrophiliertem Isocyanat-Härter, welcher für sich allein ein sehr dynamisches Eindringverhalten zeigt, den Kontaktwinkel des Lacksystems erhöht.

Die minimalen und maximalen Grenzen der Oberflächenenergie durch Plasmavorbehandlung wurden eruiert. Bei indirekter Entladung (Ar-Plasma) wurde bereits bei 150 W eine signifikante Erhöhung der Oberflächenenergie festgestellt, wobei sich sowohl der polare als auch der disperse Anteil erhöht, der polare jedoch deutlich stärker. Bereits bei 250 W ist die Holzoberfläche mit Sauerstoff abgesättigt, eine weitere Erhöhung der Oberflächenenergie durch Leistungssteigerung, Verlängerung der Verweilzeit oder Vergrößerung des Entladungsspalts ist nicht zu beobachten. Die Standardabweichung bei Buchenholz ist gering, bei Ahorn hoch, die Tendenz stimmt aber überein. Bei direkter Entladung (Luft-Plasma) gelingt ein ähnliches Ergebnis mit geringerem Entladungsspalt. Bei Direktentladung kann Luft als Prozessgas angewandt werden, da die Entladungsfilamente einen deutlich kürzeren Weg zur Masseelektrode zurücklegen müssen. Aufgrund dessen sind deutlich geringere Spannungen notwendig. Das Prozessgas Luft beinhaltet deutlich mehr Sauerstoff, als es bei Argon 4.6 der Fall ist. Hier sind lediglich geringe Mengen an Sauerstoffrückständen vorhanden. Dementsprechend können auf der Oberfläche mit Luft als Prozessgas deutlich höhere Anteile an reaktiven Sauerstoffspezies erzeugt werden. Dies führt zu einer schnelleren Sättigung der Oberfläche. In der nachfolgenden Abbildung 5 ist das Eindringverhalten von Wasser/Diiodmethan-Tropfen über die Zeit dargestellt. Die behandelten Oberflächen wurden mittels direktem Luftplasma bei unterschiedlichen Leistungen aktiviert.

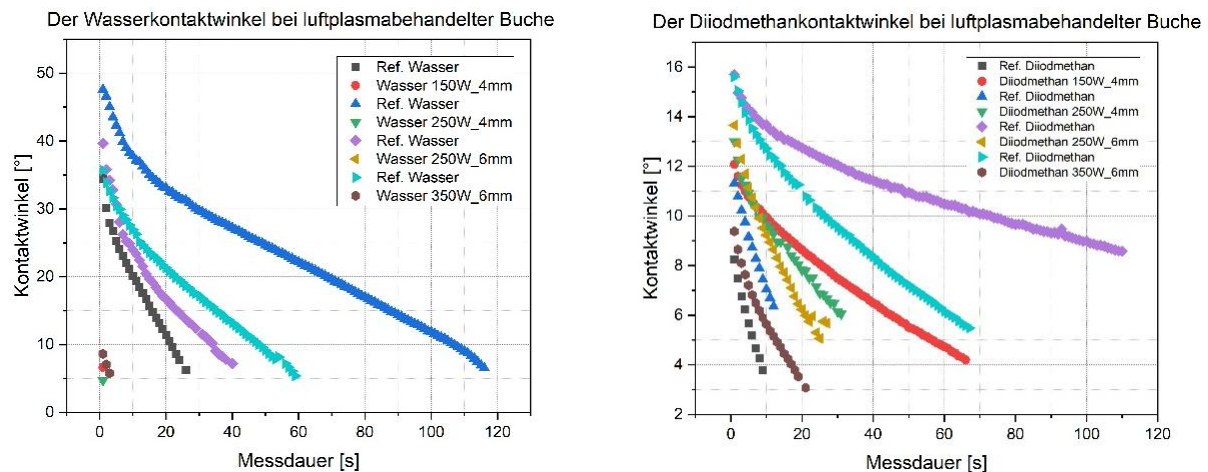


Abbildung 5: Eindringverhalten von Wasser/Diiodmethan auf Buche (direkte Entladung, Luft-Plasma).

Es ist eindeutig festzustellen, dass das Diiodmethan deutlich schneller in die unbehandelte Holzoberfläche eindringt, als es bei den Wassertropfen der Fall ist. Dies sieht man insbesondere an den steilen Verlaufskurven und den Kontaktwinkeln, die die Flüssigkeiten zum Zeitpunkt des Startes der Messung einnehmen (siehe Referenzwerte). Diese sind bei der dispersen Flüssigkeit deutlich geringer als es bei Wasser der Fall ist. Da die Wasserkontaktwinkel der behandelten Oberflächen alle direkt nach Applikation unter 10° liegen, ist hier bereits von einer vollständigen Sättigung der Oberfläche mit reaktiven Sauerstoffgruppen auszugehen.

Im Übrigen genügen die Eigenschaften der Standardlacke (Chemikalienbeständigkeit, Trocknungsverhalten, Schaumbildung, Haftung, Beständigkeit gegen UV-Licht und Sauerstoff, Farblässigkeit) den Erfordernissen für die Verarbeitung und für den Einsatz in Spielzeug. Vergleichende Prüfungen mit den zu entwickelnden Lacken sind naturgemäß noch nicht möglich.

Zur einheitlichen Datenerfassung durch Rakelaufzüge wurde ein halbautomatisches Applikationsverfahren entwickelt.

AP 2 – Evaluierung / Konzeptionierung

AP 2.1 – Evaluierung der Lackbestandteile

Beschreibung

Innerhalb dieses Arbeitspaketes wird Firma Zuelch den Markt an verfügbaren Polymerdispersionen, welche den oben beschriebenen Ansprüchen grundsätzlich genügen (DIN EN 71 Teil 3, basierend auf nachwachsenden Rohstoffen) gezielt untersuchen und Muster anfordern. Dabei werden die in AP 1 beschriebenen Parameter erfolversprechender Dispersionen bestimmt, sodass in AP 3 Experimente, welche mittels statistischer Versuchsplanung (DOE) geplant werden, in Richtung der Zielparameter erfolgen können. In diesem Arbeitspaket werden weitere in Frage kommende Rohstoffe auf Basis nachwachsender Rohstoffe evaluiert, die zur Verbesserung der Oberflächeneigenschaften beitragen, sofern sie dazu benötigt werden, und dabei in die Lackmatrix eingebunden werden können. Zu derartigen Rohstoffen können z.B. Bienenwachs, Schellack, ungesättigte Fettsäuren oder Cellulose zählen (vgl. AP 3).

Angewandte Methoden und Ergebnisse

Da die Vorversuche aus AP 1 keinen Zusammenhang der Performance mit den Bindemitteltypen hervorbrachten, wurden hier die sonst für Holzbeschichtung üblichen Systeme angefragt. Die Anfragen enthielten stets die Anforderung, dass die Bindemittel grundsätzlich den Anforderungen der Europäischen Norm für Spielzeugsicherheit DIN EN 71 Teile 3 bis 9 genügen. Außerdem wurde der Produktionsort angefragt, wobei nicht alle Hersteller und Distributoren Informationen lieferten. Jedenfalls wurden keine Anfragen an Firmen gesendet, die keinen Standort in Europa haben. Generell wurden allgemeine technische Daten berücksichtigt, beispielsweise eine hohe Blockfestigkeit der getrockneten Beschichtung, um ein flächiges Zusammenkleben der Kleinteile bei Lagerung und Transport zu verhindern. Bei Acrylaten und Polyurethandispersionen wurde besonders auf eine niedrige Mindestfilmbildetemperatur geachtet, um auch ohne Koaleszenzmittel eine rissfreie Trocknung des Lackes zu gewährleisten. Die Rohstoffe (Bindemittel), welche in der engeren Auswahl stehen, sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1: Grundsätzlich geeignete Bindemittel.

Lieferant	Produkt
Alberdingk Boley GmbH	Alberdingk CUR 920
	Alberdingk CUR 991
	Alberdingk LUR 3
	Alberdingk LUR 10
	Alberdingk Ren AC 8025
	Alberdingk Ren UC 9044
	Alberdingk U 8500
C.H.Erbslöh	SharkDispersionSX2
CSC JÄKLECHEMIE GmbH & Co. KG	Decovery SP-6400
	Bayhydur CQ U 701-90
KRAHN Chemie Deutschland GmbH	Inokem UR 3301
	Inokem UR 3308
	Inokem UR 3309
	Secoia 4487
	SymBio GT 14-335
Nordmann, Rassmann GmbH	Necowel 2329
Robert Kraemer GmbH & Co. KG	ROKRALUX LE 158 W
	Bremascope SmartDry 1, 30% in Wasser
Stahl Holdings B.V.	NuVera AC-69
Synthopol Chemie Dr. rer. pol. Koch GmbH & Co. KG	Synthalat QWL 6076
	Synthalat WA TH 3358
	Liopur PFL 3046
	Liopur PFL 4177
	Liopur PFL 4466
	Synthalat PWM 883
	Synthalat PWK 1646
Worlée-Chemie GmbH	WorléeSol E 150 W
	WorléeSol E 530 W
	WorléeSol VP NW 437

Weitere Rohstoffe (allgemein) in engerer Auswahl sind in Tabelle 2 aufgeführt:

Tabelle 2: Weitere, grundsätzlich geeignete Rohstoffe.

Lieferant	Produkt	Verwendung
Gustav Grolman GmbH & Co. KG	Valida S231C	Stabilisator, Verdicker
IMCD Deutschland GmbH	Borchi OXY-Coat 1101	Fe-Primärtrockner
	Borchers Deca Zirconium 15	Zr-Sekundärtrockner
	Ascinin Anti Skin 0445	Ketoximfreies Hautverhinderungsmittel
Lehmann&Voss&Co. KG	LUVOTIX ATUR L 200	PU-Verdicker

AP 2.2 – Konzeptionierung des Vorbehandlungsprozesses

Beschreibung

Am Beispiel von für dieses Projekt ausgewählte Substrate (z.B. Spielzeugrohling) werden technisch anwendbare Elektrodenkonfigurationen zur Plasmabehandlung auf ihre prinzipielle Eignung im Hinblick auf Substrat-Plasma-Interaktionen getestet. Grundsätzlich kommen für eine flächige Anwendung zwei mögliche Konfigurationen in Frage: Direkte DBD-Entladungen sowie koplanar angeordnete Gleitentladungen (Abbildung 6). Dabei werden grundlegende Randbedingungen wie die Entladungsgeometrie, der Elektrodenabstand, die Dicke des Dielektrikums oder die notwendige Leistung experimentell ermittelt. Die genannten Variablen können einen signifikanten Einfluss auf die uniforme Behandlung des geometrisch komplexen Substrats aufweisen. Neben der Konzeptionierung der Elektrodenkonfiguration werden in diesem Arbeitsschritt Konzepte zum Transport der Substrate durch die Entladungszone erarbeitet, denn die Transportmethoden sowie Materialien weisen eine direkte Abhängigkeit von den verwendeten Plasmaquellen auf. Eine direkte DBD-Entladung (Abbildung 6, links) zeichnet sich zwar durch eine einfachere Integration in bestehende Produktionsabläufe aus, ist allerdings durch die Dicke des Behandlungsgutes dabei begrenzt.

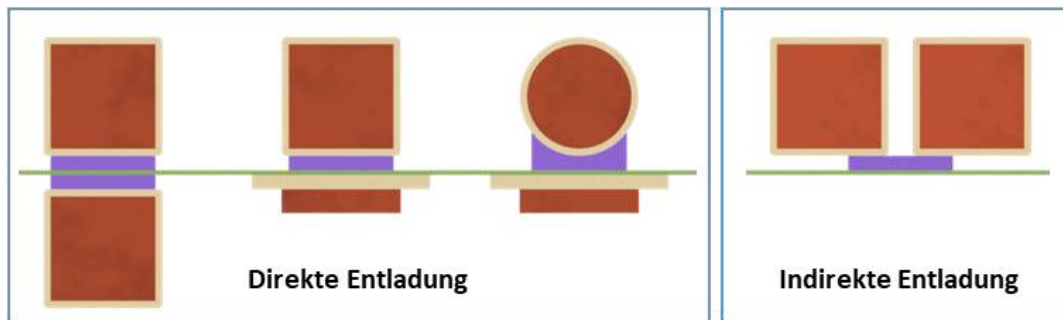


Abbildung 6: Prinzipskizzen der in Frage kommenden Entladungskonzepte.

Im Falle von koplanar angeordneten Gleitentladungen (Abbildung 6, rechts) ist die Behandlung von der Materialstärke unabhängig. Diese Entladungsform ist allerdings in ihrer effektiven Behandlungsfläche deutlich begrenzter als eine direkte Entladung. Zudem weist diese Entladungsform einen weiteren Nachteil auf: Die Unterseiten der Bauteile, die auf dem Transportband aufliegen, werden nicht behandelt.

Die in diesem Arbeitspaket gewonnenen Erkenntnisse bilden die Basis für die Konzeption des Behandlungsprozesses in AP 4.

Angewandte Methoden und Ergebnisse

Bei der Konzeptionierung der Vorbehandlungsprozesses waren besonders die unterschiedlichen Geometrien der einzelnen Substrate sowohl bei der Auslegung der Plasmaquellen als auch der Fördertechnik zu berücksichtigen. Dabei wurden verschiedenste Plasmaquellen und Förder-techniken so teils ineinander integriert, um eine omnidirektionale Plasmabehandlung zu ermöglichen.

Im Rahmen der Konzeptionierungsmaßnahmen wurde für die Versuche ein Quellenkonzept herangezogen, welches alle relevanten Entladungskonfigurationen in sich vereint. Eigentliches Ziel dieser Entladungsform ist es, homogene Entladungsprozesse unter Ausschluss von Umgebungsluft durchzuführen. Angewendet wurde das rotationssymmetrische Prinzip der Jet-induzierten Gleitentladungsquelle (siehe Abbildung 7). Idee war, diese Volumenentladung derart zu optimieren, dass eine allseitige, homogene Behandlung von Spielzeugrohlingen ermöglicht wird. Dazu wurde auf den bestehenden, patentierten Disc-Jet als Plasmaquelle zurückgegriffen [20].

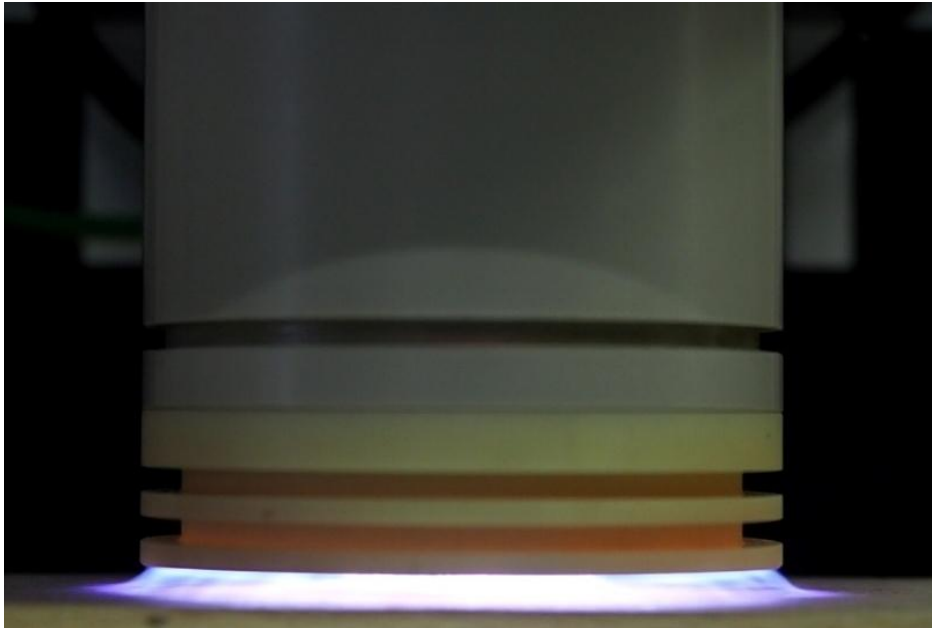


Abbildung 7: Volumenentladung des verwendeten, patentierten Disc-Jet-Konzepts.

Dabei wurden Elektrodenabstand, elektrische Leistung, Verfahrensgeschwindigkeit und Volumenstrom unter Verwendung der beiden unterschiedlichen Entladungsformen variiert. Der Elektrodenabstand von 2 mm, elektrische Leistung $P = 250 \text{ W}$ und der Volumenstrom (Druckluft als Prozessgas) bei $Q = 50 \text{ L/min}$ wurden als optimal eingestuft, sodass eine gleichmäßige Plasmaentladung über eine Fläche von ca. 50 cm^2 realisiert werden konnte. Da bei der indirekten Entladungsform nur die Oberseite und Randbereiche der Substrate behandelt werden kann, war hierbei eine zweite Behandlung der Rückseite erforderlich.

Bei ersten Konzeptionierungsansätzen zur Fördertechnik wurde das Prinzip einer Gleitbahn, auf welcher die Substrate allein durch Schwerkraft durch die Entladung und anschließend in die Lackiertrommel geführt werden sollten, erprobt. Da runde Substrate wie Zylinder oder auch Kugeln bei dieser Art der Materialförderung den Bereich der Plasmabehandlung jedoch zu schnell passieren würden und flächige Substrate ggf. durch zu viel Reibung gebremst werden könnten, wurde diese Idee wieder verworfen. Als geeignetes Förderkonzept wurde schließlich eine Anordnung von Förderbändern mit strukturierten Oberflächen gewählt, welche ein Wegrollen der runden Substrate verhindern und bei direkter Entladung eine Behandlung der Substratrückseite durch Plasmabildung in den Hohlräumen zwischen Substrat und Förderband ermöglichen sollte.

Die in diesem Arbeitspaket gewonnenen Daten konnten direkt im AP 4.1 weiterentwickelt werden und in die Konstruktion der Plasmaquelle bzw. des Plasmasystems einfließen.

AP 3 – Lackentwicklung

AP 3.1 – Formulierung

Beschreibung

Entsprechend der in AP 1 definierten Zielparameter und der in AP 2 bestimmten Eigenschaften der verfügbaren Rohstoffe, werden in AP 3 verschiedene Rohstoffe mittels statistischer Versuchsplanung (DOE) so miteinander kombiniert, dass die Zielparameter möglichst nahe der Zielsetzung erreicht werden. Wenn nicht anders erreichbar, können weitere nachwachsende Rohstoffe wie z.B. Bienenwachs etc. hinzugefügt werden. Es werden nach Möglichkeit mehrere unterschiedliche Lackvarianten entwickelt, damit diese dann für ein späteres „Fine Tuning“

(siehe AP 5) ebenfalls miteinander kombiniert werden können. Zusätzlich bieten unterschiedliche Varianten die Möglichkeit, noch flexibler auf Rohstoff-Engpässe reagieren zu können. Während des gesamten AP 3 findet ein ständiger Austausch mit der HAWK hinsichtlich sich ggf. ändernder Rahmenbedingungen aufgrund experimenteller Ergebnisse statt (vgl. Abbildung 8). Sofern Anpassungen notwendig sind, werden diese bei der Entwicklung berücksichtigt.

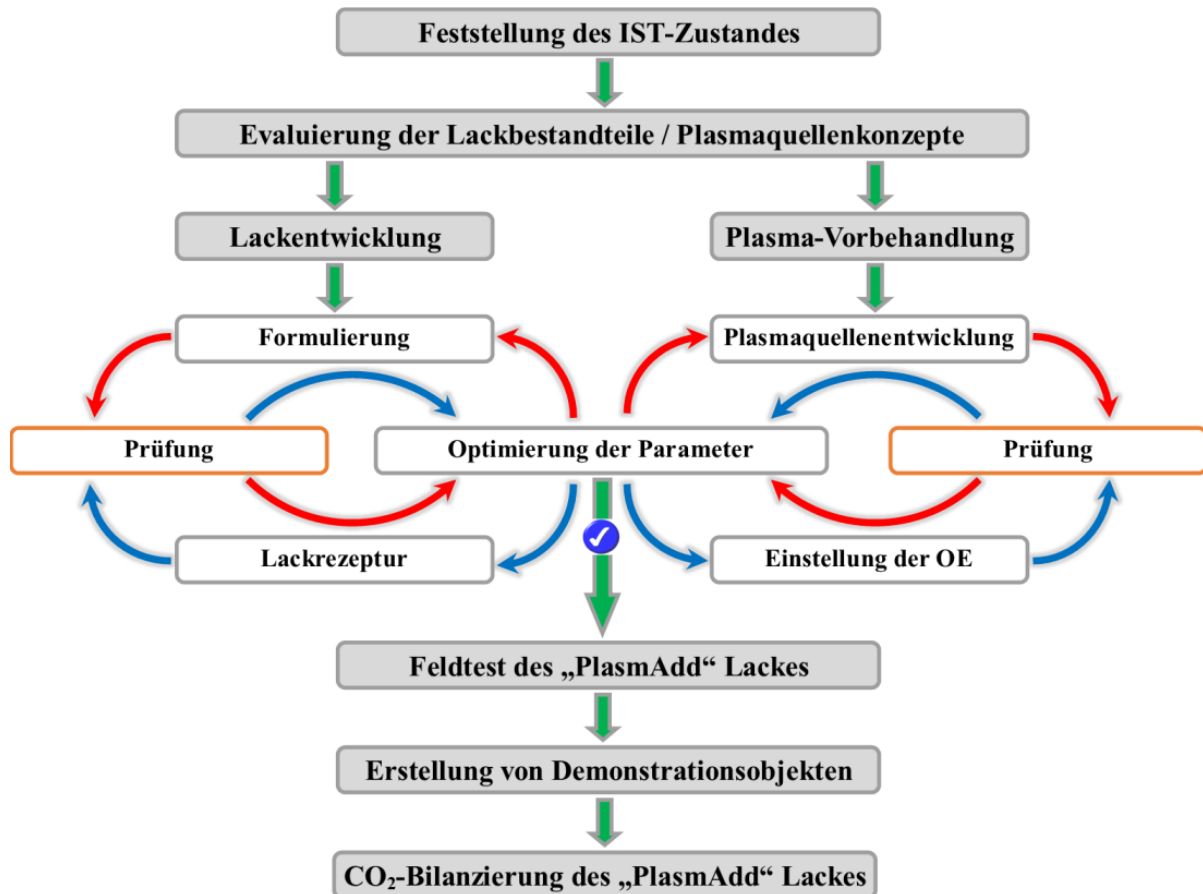


Abbildung 8: Ablaufplan des Vorhabens.

Angewandte Methoden und Ergebnisse

Zu allen Bindemitteln aus AP 2.1 wurden ab Eintreffen die jeweiligen Erstformulierungen, bestehend aus Bindemittel und Wasser sowie Borch OXY-Coat 1101 bei oxidativ trocknenden Systemen in variierenden Zugabemengen (Nullprobe, geringe und maximale Zugabemenge) produziert. Dabei sind die Verhältnisse von Wasser zu Bindemittel so gewählt, dass der Festkörper (bei 2K-Lacken in der Mischung mit dem jeweiligen Härter) 30% beträgt. Sofern die Viskosität so noch sehr hoch lag, wurden zusätzliche Formulierungen mit 15% Festkörper gefertigt.

Die Formulierungen wurden in Anlehnung an DIN EN 13523 Teil 11 auf Ihre Beständigkeit gegenüber Speichel- und Schweißsimulanz sowie gegen Isopropanol getestet. Anhand der Ergebnisse wurden die potenziellen Bindemittel mit mindestens guter Beständigkeit für den Decklack ausgesucht. Dabei wurde mit der Beständigkeit der Standardsysteme 844-W0138-00 (Acrylat-Dispersion), 836-W0276-00 (Alkyd-System) und 853-W0263-00 (2K-PUR-System) verglichen. Folgende Formulierungen (Tabelle 3 bis Tabelle 13) wiesen gute bis hervorragende Beständigkeiten auf:

Tabelle 3: Zusammensetzung der Formulierung AK046-AL03.

Rohstoff	Beschreibung	Menge
AL03	Bindemittel – Alkyd	85,71
RL1100	Wasser	13,69
Borchi OXY - Coat 1101	Trockenstoff	0,60

Tabelle 4: Zusammensetzung der Formulierung AU019-AS01.

Rohstoff	Beschreibung	Menge
AS01	Bindemittel – Alkyd, PU-modifiziert	68,18
RL1100	Wasser	31,22
Borchi OXY - Coat 1101	Trockenstoff	0,60

Tabelle 5: Zusammensetzung der Formulierung AU015-EC03.

Rohstoff	Beschreibung	Menge
EC03	Bindemittel – Alkyd, PU-modifiziert	76,92
RL1100	Wasser	22,78
Borchi OXY - Coat 1101	Trockenstoff	0,30

Tabelle 6: Zusammensetzung der Formulierung AY010-ST01.

Rohstoff	Beschreibung	Menge
ST01	Bindemittel – Acrylat-Dispersion	75,00
RL1100	Wasser	25,00

Tabelle 7: Zusammensetzung der Formulierung AK023-SY01.

Rohstoff	Beschreibung	Menge
SY01	Bindemittel – Alkyd	54,55
RL1100	Wasser	44,85
Borchi OXY - Coat 1101	Trockenstoff	0,60

Tabelle 8: Zusammensetzung der Formulierung OH024-SY02.

Rohstoff	Beschreibung	Menge
SY02	Bindemittel – OH-funktionelle Acrylat-Dispersion	50,13
RL1100	Wasser	49,87

Tabelle 9: Zusammensetzung der Formulierung PU028-SY05.

Rohstoff	Beschreibung	Menge
SY05	Bindemittel - Polyurethandispersion	85,71
RL1100	Wasser	14,29

Tabelle 10: Zusammensetzung der Formulierung AU053-SY07.

Rohstoff	Beschreibung	Menge
SY07	Bindemittel – Alkyd, PU-modifiziert	71,43
RL1100	Wasser	27,97
Borchi OXY - Coat 1101	Trockenstoff	0,60

Tabelle 11: Zusammensetzung der Formulierung AU039-WO01.

Rohstoff	Beschreibung	Menge
WO01	Bindemittel – Alkyd, PU-modifiziert	75,00
RL1100	Wasser	24,40
Borchi OXY - Coat 1101	Trockenstoff	0,60

Tabelle 12: Zusammensetzung der Formulierung AU041-WO02.

Rohstoff	Beschreibung	Menge
WO02	Bindemittel – Alkyd, PU-modifiziert	99,40
Borchi OXY - Coat 1101	Trockenstoff	0,60

Tabelle 13: Zusammensetzung der Formulierung AK043-WO03.

Rohstoff	Beschreibung	Menge
WO03	Bindemittel – Alkyd, PU-modifiziert	50,00
RL1100	Wasser	49,40
Borchi OXY - Coat 1101	Trockenstoff	0,60

Um die Versuchsmatrix nicht unnötig aufzublähen, wurde schließlich ein Alkyd-System (AK023-SY01, Tabelle 7) und ein 2K-PUR-System (OH024-SY02, Tabelle 8) mit jeweils hervorragender Beständigkeit für die weiteren Versuche ausgewählt. Als Härter für das 2K-PUR-System wurde ein PDI-basierter, hydrophiler Isocyanathärter verwendet (Tabelle 14).

Tabelle 14: Zusammensetzung der Formulierung NC025-CO02.

Rohstoff	Beschreibung	Menge
CO02	Bindemittel/Härter – Pentamethyldiisocyanat-Prepolymer	100,00

Zur besseren Einarbeitbarkeit des Härters wurde die Viskosität des Stammlackes mithilfe eines Verdickers auf ca. 45 s im 4-mm-Auslaufbecher erhöht. Für das Trommeln spielt dies keine Rolle, da hier wieder ausreichend verdünnt wird. Es wurden die beiden Versuchsrohstoffe LUVOTIX ATUR L 200 (PUR-Verdicker) und Valida S231C (Cellulose-Produkt) getestet. Folgende Rezeptur (Tabelle 15) erwies sich als zielführend:

Tabelle 15: Zusammensetzung der Formulierung OH068-SY02.

Rohstoff	Beschreibung	Menge
SY02	Bindemittel – OH-funktionelle Acrylat-Dispersion	60,0
RL1100	Wasser	39,5
LUVOTIX ATUR L 200	PUR-Verdicker	0,5

Für die Auswahl der Formulierungen, die für die Beize in Frage kommen könnten, wurde der Kontaktwinkel auf der Formulierung auf Buchen- und Ahornplatten gemessen, jeweils auf behandeltem und unbehandeltem Holz. Das Kriterium war, dass auf beiden Holzarten der Kontaktwinkel ohne Plasmabehandlung recht hoch sein sollte und nach der Plasmabehandlung möglichst klein bzw. mit hoher Dynamik (= zieht schnell ein). Die folgenden Rezepturen (Tabelle 16 bis Tabelle 23) wurden in pigmentierter Variante ausgeführt und in AP 3.2 und AP 5 gegen den Standard 896-W5029-00 geprüft:

Tabelle 16: Zusammensetzung der Formulierung AK063-AL03.

Rohstoff	Beschreibung	Menge
AL03	Bindemittel – Alkyd	36,79
RL1100	Wasser	60,66
RPA639	Pigmentpaste violett	2,55

Tabelle 17: Zusammensetzung der Formulierung AY064-AL05.

Rohstoff	Beschreibung	Menge
AL05	Bindemittel – Acrylat-Dispersion	26,28
RL1100	Wasser	71,17
RPA639	Pigmentpaste violett	2,55

Tabelle 18: Zusammensetzung der Formulierung HY065-AL06.

Rohstoff	Beschreibung	Menge
AL06	Bindemittel – Acrylat-Polyurethan-Hybrid	36,79
RL1100	Wasser	60,66
RPA639	Pigmentpaste violett	2,55

Tabelle 19: Zusammensetzung der Formulierung PU066-AL07.

Rohstoff	Beschreibung	Menge
AL07	Bindemittel – Polyurethandispersion	36,79
RL1100	Wasser	60,66
RPA639	Pigmentpaste violett	2,55

Tabelle 20: Zusammensetzung der Formulierung AK071-EC04.

Rohstoff	Beschreibung	Menge
EC04	Bindemittel – Alkyd	27,40
RL1100	Wasser	70,05
RPA639	Pigmentpaste violett	2,55

Tabelle 21: Zusammensetzung der Formulierung ST067-DY01.

Rohstoff	Beschreibung	Menge
DY01	Bindemittel – stärkebasiert	33,01
RL1100	Wasser	64,44
RPA639	Pigmentpaste violett	2,55

Tabelle 22: Zusammensetzung der Formulierung AU072-SY06.

Rohstoff	Beschreibung	Menge
SY06	Bindemittel – Alkyd, PU-modifiziert	28,62
RL1100	Wasser	68,83
RPA639	Pigmentpaste violett	2,55

Tabelle 23: Zusammensetzung der Formulierung AU073-WO01.

Rohstoff	Beschreibung	Menge
WO01	Bindemittel – Alkyd, PU-modifiziert	32,20
RL1100	Wasser	65,25
RPA639	Pigmentpaste violett	2,55

Als Resultat der Prüfungen in AP 3.2 und 5 erwies sich das Bindemittel AL05 (vgl. Tabelle 17) als am geeignetsten. In AP 6 wurden auf derselben Basis zusätzlich folgende Formulierungen (Tabelle 24 bis Tabelle 34) für die Herstellung von verschiedenfarbigen Demonstrator-Objekten genutzt:

Tabelle 24: Zusammensetzung der Formulierung AY074-AL05.

Rohstoff	Beschreibung	Menge
AL05	Bindemittel – Acrylat-Dispersion	18,37
RL1100	Wasser	65,13
899-W1303-HF	Pigmentpaste weiß	16,50

Tabelle 25: Zusammensetzung der Formulierung AY075-AL05.

Rohstoff	Beschreibung	Menge
AL05	Bindemittel – Acrylat-Dispersion	24,97
RL1100	Wasser	71,03
RPA636-10	Pigmentpaste gelb	4,00

Tabelle 26: Zusammensetzung der Formulierung AY076-AL05.

Rohstoff	Beschreibung	Menge
AL05	Bindemittel – Acrylat-Dispersion	22,51
RL1100	Wasser	72,06
RPA636-10	Pigmentpaste gelb	3,68
RPA635	Pigmentpaste orange	1,75

Tabelle 27: Zusammensetzung der Formulierung AY077-AL05.

Rohstoff	Beschreibung	Menge
AL05	Bindemittel – Acrylat-Dispersion	23,72
RL1100	Wasser	67,03
RPA634	Pigmentpaste rot	9,25

Tabelle 28: Zusammensetzung der Formulierung AY078-AL05.

Rohstoff	Beschreibung	Menge
AL05	Bindemittel – Acrylat-Dispersion	22,73
RL1100	Wasser	72,27
RPA646	Pigmentpaste rosa	5,00

Tabelle 29: Zusammensetzung der Formulierung AY079-AL05.

Rohstoff	Beschreibung	Menge
AL05	Bindemittel – Acrylat-Dispersion	23,21
RL1100	Wasser	69,49
RPA654	Pigmentpaste blau	7,13
RPA639	Pigmentpaste violett	0,17

Tabelle 30: Zusammensetzung der Formulierung AY080-AL05.

Rohstoff	Beschreibung	Menge
AL05	Bindemittel – Acrylat-Dispersion	20,15
RL1100	Wasser	65,98
899-W1303-HF	Pigmentpaste weiß	10,00
RPA654	Pigmentpaste blau	3,77
RPA639	Pigmentpaste violett	0,10

Tabelle 31: Zusammensetzung der Formulierung AY081-AL05.

Rohstoff	Beschreibung	Menge
AL05	Bindemittel – Acrylat-Dispersion	22,81
RL1100	Wasser	69,53
RPA641	Pigmentpaste grün	7,60
RPA636-10	Pigmentpaste gelb	0,06

Tabelle 32: Zusammensetzung der Formulierung AY082-AL05.

Rohstoff	Beschreibung	Menge
AL05	Bindemittel – Acrylat-Dispersion	22,70
RL1100	Wasser	70,48
RPA641	Pigmentpaste grün	4,21
RPA636-10	Pigmentpaste gelb	2,61

Tabelle 33: Zusammensetzung der Formulierung AY083-AL05.

Rohstoff	Beschreibung	Menge
AL05	Bindemittel – Acrylat-Dispersion	23,50
RL1100	Wasser	73,01
RPA663-10	Pigmentpaste oxidrot	3,14
RPA646	Pigmentpaste rosa	0,27
RPA642-10	Pigmentpaste schwarz	0,08

Tabelle 34: Zusammensetzung der Formulierung AY084-AL05.

Rohstoff	Beschreibung	Menge
AL05	Bindemittel – Acrylat-Dispersion	21,17
RL1100	Wasser	66,98
RPA642-10	Pigmentpaste schwarz	11,85

AP 3.2 – Prüfung der Ergebnisse

Beschreibung

Jede Formulierung durchläuft dabei in einem iterativen Prozess die gängigen Prüfmethode(n) (z.B. Lagerstabilität, mikrobieller Befall, DIN EN 71- und Beständigkeitsprüfungen, Farblässigkeit) und erweitert dadurch den Kenntnisstand für darauffolgende Verbesserungen. Abschließend werden für die fertigen Rezepturen Prüfvorschriften zur Qualitätssicherung erarbeitet.

Angewandte Methoden und Ergebnisse

Die Erstformulierungen aus AP 3.1 wurden auf ihren Kontaktwinkel auf Ahorn- und Buchensubstraten, jeweils mit Plasma behandelt und unbehandelt, hin untersucht. Das Kriterium war, dass auf beiden Holzarten der Kontaktwinkel ohne Plasmabehandlung recht hoch sein sollte und

nach der Plasmabehandlung möglichst klein bzw. mit hoher Dynamik (= zieht schnell ein). In Tabelle 35 sind die Formulierungen in Bezug auf dieses Kriterium bewertet: Dunkelgrün – erfüllt das Kriterium sehr; Dunkelrot – erfüllt das Kriterium überhaupt nicht.

Tabelle 35: Gegenüberstellung der Formulierungen hinsichtlich des Ansprechens auf die Plasmavorbereitung.

Buche	Ahorn	Buche	Ahorn	Buche	Ahorn
PU032-AL01	PU032-AL01	AU056-EC02		PU026-SY03	
PU033-AL02	PU033-AL02	AU006-EC03		HY027-SY04	
AK034-AL03	AK034-AL03	AU014-EC03		PU028-SY05	
AK044-AL03	AK044-AL03	AU015-EC03		AU060-SY06	AU060-SY06
AK045-AL03	AK045-AL03	ST007-DY01		AU061-SY06	AU061-SY06
AK046-AL03	AK046-AL03	ST016-DY01	ST016-DY01	AU062-SY06	AU062-SY06
AU035-AL04		AU008-AS01	AU008-AS01	AU051-SY07	
AU047-AL04		AU017-AS01	AU017-AS01	AU052-SY07	
AU048-AL04		AU018-AS01	AU018-AS01	AU053-SY07	
AY001-AL05	AY001-AL05	AU019-AS01	AU019-AS01	AU029-WO01	AU029-WO01
HY002-AL06	HY002-AL06	AK009-RO01	AK009-RO01	AU038-WO01	AU038-WO01
PU036-AL07	PU036-AL07	AK020-RO01	AK020-RO01	AU039-WO01	AU039-WO01
VB003-RB1020-10		AK021-RO01	AK021-RO01	AU030-WO02	
AY004-CO01	AY004-CO01	AK057-RO02		AU040-WO02	
NC025-CO02		AK058-RO02		AU041-WO02	
CO02 50% in MPA		AK059-RO02		AU037-WO02	AU037-WO02
AU005-EC01		AY010-ST01		AU049-WO02	AU049-WO02
AU012-EC01		AK011-SY01		AU050-WO02	AU050-WO02
AU013-EC01		AK022-SY01		AK031-WO03	AK031-WO03
AU054-EC02		AK023-SY01		AK042-WO03	AK042-WO03
AU055-EC02		OH024-SY02		AK043-WO03	AK043-WO03

Gemäß obiger Auswertung wurden folgende Formulierungen (rechts die pigmentierte Variante, siehe AP 3.1) hergestellt und gegen den Standard 896-W5029-00 getestet, wobei AU061-SY06/ AU062-SY06 und AU038-WO01 wegen Dopplung des Bindemitteltyps zunächst nicht getestet wurde zur Reduktion der Versuchsmatrix:

AK034-AL03 → AK063-AL03
 AY001-AL05 → AY064-AL05
 HY002-AL06 → HY065-AL06
 PU036-AL07 → PU066-AL07
 ST016-DY01 → ST067-DY01

Die Pigmentierung ist jeweils identisch mit der von 896-W5029-00. Es wurden die Oberflächenenergien der mit diesen Beizen beschichteten Platten überprüft (vgl. nachfolgende Grafik, Abbildung 9). Außerdem wurden die Kontaktwinkel von potenziellen Decklacken auf den gebeizten Oberflächen gemessen, die das Ergebnis der Messung der Oberflächenenergien bestätigen: Mit Ausnahme von HY065-AL06 wiesen die Decklacke alle jeweils sehr ähnliche Kontaktwinkel unabhängig von der Plasmavorbereitung (vor Applikation der Beize) auf. Es wurden dabei folgende Formulierungen (siehe AP 3.1) getestet:

AK046-AL03, AU019-AS01, AU015-EC03, AY010-ST01, AK023-SY01, OH024-SY02, PU028-SY05, AU053-SY07, AU039-WO01, AU041-WO02, AK043-WO03

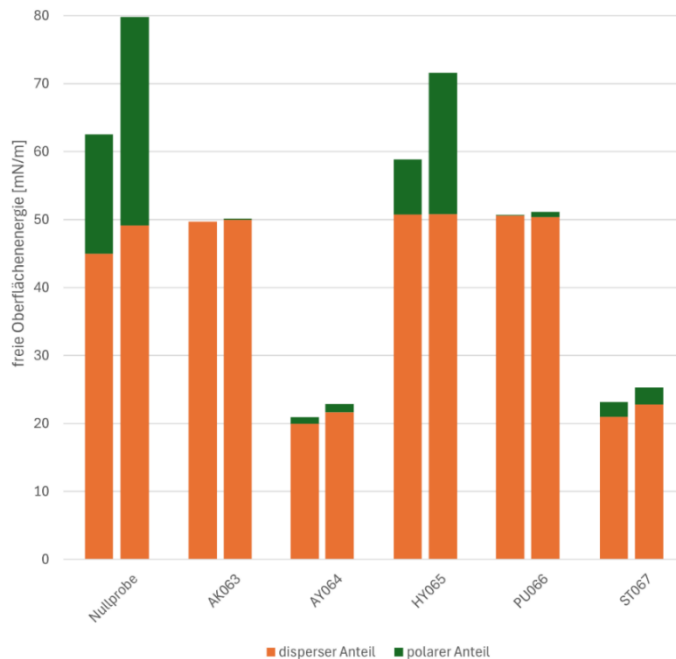


Abbildung 9: Vergleich der Oberflächenenergie nach dem Auftragen der Beize. Jeweils links die unbehandelte Referenz, rechts die vor Beschichtung mit Plasma behandelte Probe. Nullprobe = 896-W5029-00 (Standard).

Durch das Beizen wird der Großteil der polaren Gruppen, die durch die Plasmabehandlung erzeugt worden sind, „abgedeckt“, bei den meisten Beizen (4 von 6) sinkt der polare Anteil auf nahezu 0. Eine Ausnahme bilden das Referenzlackssystem 896-W5029-00 sowie die Versuchsbeize HY065-AL06, die von der vorherigen Plasmabehandlung einen deutlichen polaren Anteil „übriglassen“, welcher für eine Decklacksschicht nutzbar bleibt. Es ist davon auszugehen, dass die Beize so gut ins Holz eindringt, dass sie das Werkstück kaum laminiert. Entsprechend höher ist auch der Wert bei HY065-AL06 bei vorheriger Behandlung. Der erniedrigte Wert bei 896-W5029-00 hängt vermutlich mit der Inhomogenität des Holzes zusammen. HY065-AL06 wurde für die weiteren Versuche bevorzugt getestet, da hier die Möglichkeit bestand, ohne weitere Behandlung eine verbesserte Spreitung eines Decklackes zu erreichen, wohingegen bei der Verwendung der anderen Beizen die Substrate vor der Decklackierung erneut behandelt werden müssten.

Mit der Versuchsbeize HY065-AL06 wurden im Vergleich mit dem Standard Trommeltests durchgeführt. Dabei wurde jeweils mit behandelten als auch mit unbehandelten Holzkleinteilen folgender Schichtaufbau durchgeführt:

- Beize
 - o 1x HY065-AL06, unverdünnt
 - o 1x 896-W5029-00, 1:1 verdünnt, als Referenz
- Klarlack auf mit HY065-AL06 gebeizten Teilen nach ca. 3-stündiger Trocknung
 - o 1x AK023-SY01, 1:1 verdünnt
 - o 1x OH068-SY02, MV 5,6:1 mit NC025-CO02, 1:1,5 verdünnt
- Klarlack auf mit 896-W5029-00 gebeizten Teilen nach ca. 3-stündiger Trocknung
 - o 1x 836-W0276-00, 1:1 verdünnt, als Referenz zu HY065-AL06/AK023-SY01
 - o 1x 853-W0263-00, MV 5:1 mit 810-00136-00, 1:1,5 verdünnt, als Referenz zu HY065-AL06/OH068-SY02
- 2. Schicht Klarlack (jeweils derselbe Klarlack wie die erste Schicht)
 - o 1x AK023-SY01, 1:1,5 verdünnt
 - o 1x OH068-SY02, MV 5,6:1 mit NC025-CO02, 1:2 verdünnt
 - o 1x 836-W0276-00, 1:1,5 verdünnt
 - o 1x 853-W0263-00, MV 5:1 mit 810-00136-00, 1:2 verdünnt

Im Rahmen der Trommeltests zeigt sich eine mangelhafte Abriebbeständigkeit von HY065-AL06, sobald mit Klarlack übertrommelt wird, was eine inakzeptable Oberflächengüte zur Folge hat. Da alle anderen Beizen hinsichtlich der Nachnutzbarkeit des Plasma-Effekts vergleichbar sind, wurden all diese ebenfalls Trommeltests unterzogen. Dies betrifft auch die zunächst nicht getesteten Formulierungen AU062-SY06 (pigmentierte Formulierung: AU072-SY06) und AU038-WO01 (pigmentierte Formulierung: AU073-WO01). Zusätzlich wurde ein weiteres Bindemittel bemustert, welches ohne die Vorversuche ebenfalls getestet wurde (AK071-EC04). Nicht getestet wurde ST067-DY01, da zuvor bei der Applikation eine sehr schlechte Penetration von Holz mit zu starker Filmbildung (hohe Schichtstärke) beobachtet worden war. AK063-AL03 und PU066-AL07 wiesen ebenfalls eine zu schlechte Abriebbeständigkeit auf und auch mit AU072-SY06 und AU073-WO01 konnte keine zufriedenstellende Oberflächenbeschaffenheit erreicht werden. AK071-EC04 konnte wegen der fehlenden Vorversuche nicht ausreichend bewertet werden. In etwaigen Folgeprojekten ist das Nachholen der Versuche und ein Einsatz denkbar. AY064-AL05 hat von allen Versuchsbeizen die beste Performance, wenngleich sie noch etwas hinter dem Standardsystem zurückbleibt, was vor allem bei einzelnen Pigmenten auffällt. In der Spritzapplikation fällt die hohe resultierende Hydrophobie auf, was einen zusätzlichen Behandlungsschritt vor der Decklackierung zwingend nötig macht.

Im Rahmen des Arbeitspakets wurden folgende Feststellungen gemacht:

1. Der entwickelte Alkyd-Decklack hat eine längere Trocknungszeit als der Standard (836-W0276-00), wobei berücksichtigt werden muss, dass der Standard eine Abmischung mit einem Acrylat ist.
2. Der 2K-PUR-Decklack ist matt. Weitere Trommelgänge haben keinen glanzerhöhenden Effekt. Im Rahmen von etwaigen Folgeprojekten könnten Versuche mit (biobasierten) Wachsen durchgeführt werden.
3. Einige Versuchsbeizen haben eine längere Trocknungszeit als der Standard.
4. Durch das Weglassen der Additive ist der Lack deutlich günstiger als der Standard, die Beize befindet sich auf einem vergleichbaren Niveau mit dem Standard. Der Preisunterschied ist derart groß, dass die Betriebskosten einer Plasmavorbehandlungsanlage vergleichsweise unerheblich sind.
5. Im Rahmen der Trommelversuche spielt der Kontaktwinkel eine eher untergeordnete Rolle, Lediglich der Beize-/Lackverbrauch und ggf. auch die Farbtiefe stehen damit im Zusammenhang (kleinerer Kontaktwinkel = Beize/Lack zieht mehr ein). Bei der Spritzapplikation hingegen werden Benetzungstörungen durch hohe Kontaktwinkel stark sichtbar, vgl. AY064-AL05 mit sehr niedriger Oberflächenenergie der getrockneten Oberfläche.
6. Die Delaminationstests haben keine richtungsweisenden Erkenntnisse gebracht: Die Haftzugfestigkeit war in allen Fällen sehr hoch, unabhängig von Beize/Lack und Plasmabehandlung, es wurde dabei auch immer ein Teil des Holzes herausgerissen, sodass keine Anhaltspunkte für etwaige Schwierigkeiten in der Zwischenhaftung bestanden. Zudem war die Streuung der Messwerte sehr hoch.
7. Die Beständigkeiten wurden mithilfe von Photometrie ermittelt. Die Messwerte streuen aufgrund der Inhomogenitäten im Holz sowie in der Beschichtung im Rahmen der Laborversuche stark, dennoch lässt sich ein Trend ablesen: Beide Klarlacke scheinen die Oberfläche vergleichbar zum Standard zu versiegeln, wobei der 2K-PUR-Lack erwartungsgemäß eine bessere Beständigkeit aufweist als das Alkyd-System. Beide Systeme können mit den Standards mithalten.
8. Die Plasmavorbehandlung hat in der Regel einen deutlich höheren Verbrauch an Beize zur Folge, wohingegen eine erneute Plasmabehandlung nach der ersten Klarlackschicht den Verbrauch an Klarlack für die zweite Klarlackschicht reduziert. Grund dafür ist wahrscheinlich, dass durch die Behandlung die gebeizte Oberfläche geglättet wird und somit weniger Lack anhaften kann. In den Versuchen zeigte sich eine Korrelation mit den Beständigkeiten dahingehend, dass die Beständigkeit maßgeblich von der Schichtdicke abhängt, das heißt,

dass durch geringeren Lackverbrauch aufgrund der Plasmabehandlung eine schlechtere Beständigkeit resultiert. Der Effekt, dass durch den Energieeintrag eine höhere Vernetzung erfolgt, wurde im Rahmen der Beständigkeitstest nicht sichtbar. Allerdings wurde beobachtet, dass der Klarlack-Überschuss nach dem Tauchen der Trommelteile deutlich weniger gefärbt war, wenn nach dem Beizen eine zweite Behandlung erfolgte.

AP 4 – Plasmavorbehandlung

AP 4.1 – Konstruktion der Plasmaquelle

Beschreibung

Anhand der Datensätze aus AP 2.2 soll im Rahmen dieses Arbeitspakets ein auf die Anwendung zugeschnittenes Plasmasystem konstruiert und aufgebaut werden. Das innerhalb dieses Arbeitspakets zu fertigende Elektrodenmodul muss in erster Linie die Grundfunktion des Behandlungsprozesses gewährleisten und die grundlegenden Anforderungen an eine Elektroden-einheit wie homogenes Entladungsbild, ein optimaler Abstand zwischen dem Substrat und der Elektrode, Überschlags- und Bedienungssicherheit erfüllen. Neben der Gewährleistung der Grundfunktionen liegt der Fokus auf der Uniformität der Behandlung von allen Substratoberflächen in einem Behandlungsdurchgang. Dies soll über eine innovative Anordnung der Elektrodenmodule im Behandlungsbereich, eine intelligente Prozessgasführung und die Verwendung eines porösen und somit durchdringbaren Förderbandes oder auch eines Förderbandes aus einem weitmaschigen Gewebe realisiert werden. Kernherausforderung ist der homogene und reproduzierbare Transport der Plasmafilamente an die relevanten Objektoberflächen. Hierbei muss darauf geachtet werden, das Plasma möglichst ohne nennenswerte Effizienzverluste über eine Kombination aus leitfähigen und nicht leitfähigen Bauteilen an den Ort der Modifikation zu steuern. Je nach Entscheidung über das Entladungskonzept kann dies über spezifische Strömungskonzepte wie etwa Laval-Düsen oder aber elektrisch über Gleitentladungsoberflächen erfolgen, die eine Repeater-Funktion aufweisen. Hierbei ist eine geeignete Materialauswahl der Elektrodenbauteile von entscheidender Wichtigkeit. Je nach Bauteilgeometrie können unter Umständen übliche Materialien (z.B. Dielektrika wie Keramik oder Glas) nicht verwendet werden, was einen großen Einfluss auf die Materialbeständigkeit hat. Alternativen sind hier beispielsweise Silikone oder andere Polymere (z.B. PTFE oder PEEK) welche eine deutlich geringere Verschleißbeständigkeit aufweisen und demnach in regelmäßigen Abständen ausgetauscht werden müssen. Gestützt werden soll dieser Konzeptionsprozess von Simulationsaufgaben im Bereich der Strömungs- und Elektrotechnik mithilfe von der an der HAWK vorhandenen Multiphysik-Software von COMSOL. Anhand der somit erarbeiteten Erkenntnisse werden die daraus resultierenden Komponenten der Plasmaquelle in der hausinternen Fertigungswerkstatt gefertigt und montiert.

Angewandte Methoden und Ergebnisse

Die Konstruktion der Plasmaquelle und der zugehörigen Vorrichtung zur Behandlung der Holzsubstrate wurde, unter Berücksichtigung der in der Konzeptionsphase generierten Daten, in Form eines Förderbandsystems realisiert, welches je nach Substratform an die jeweiligen Bedingungen angepasst werden kann. Das Förderband wird dabei mittels Gleichstromgetriebemotor angetrieben, welcher durch eine pulsweitenmodulierte Spannungsversorgung in der Drehzahl eingestellt werden kann. Diese Steuerung erlaubt es, den Motor ab nahezu 0 U/min anzu steuern zu können, ohne dass der Motor dabei an Drehmoment verliert. Außerdem zeigte sich dieses Ansteuerungsverfahren in vorherigen Tests als betriebssicher, gerade in Verbindung mit Plasmaanwendungen, welche aufgrund der eingesetzten Spannungen und Frequenzen zu elektromagnetischen Störungen führen können.

Am Förderband wurde eine höhenverstellbare Quellenhalterung angebracht, an welcher verschiedene Plasmaquellen mit unterschiedlichen Geometrien und Entladungscharakteristiken montiert werden können. Die Halterung ist dabei so gestaltet worden, dass die Plasmaquelle im Zweifelsfall vom Band weg ausgelenkt werden kann, um ggf. einem Materialstau oder Teilen mit zu großen Abmessungen ausweichen zu können, ohne den Aufbau zu verstopfen oder gar zu zerstören. Durch diesen Mechanismus können die jeweiligen Plasmaquellen zudem werkzeuglos innerhalb weniger Sekunden getauscht werden, um andere Prozessbedingungen einzustellen. In die Quellenhalterung wurde des Weiteren eine Luftführung zur Absaugung der entstehenden reaktiven Gase (bspw. O_3 oder NO_x) außerhalb der Behandlungszone integriert, um eine unnötige Verbreitung dieser zu verhindern und diese gezielt abführen zu können (Abbildung 10).



Abbildung 10: Quellenhalterung inklusive Absaugungskonzept.

Ein zweites aufgebautes Quellenkonzept sah die planparallele Anordnung eines weiteren Förderbandes zum ersten vor, welches gleichzeitig als Plasmaquelle verwendet werden konnte, wodurch sich weitere Behandlungsoptionen für die omnidirektionale Oberflächenbehandlung realisieren ließen (vgl. Abbildung 11). Durch die unabhängige Ansteuerung der Förderbänder (z.B. oberes Förderband gegenläufig zum unteren) können bestimmte Substrate in eine Rotationsbewegung versetzt werden, wodurch eine umlaufende Plasmabehandlung erfolgen kann. Dabei wurden die beiden Förderbänder federbelastet miteinander verbunden, um einen bestmöglichen Anpressdruck zum Substrat und damit konstante Fortbewegung zu erreichen. Im Test zeigten sich bei diesem Aufbau jedoch Probleme mit der Integration der Plasmaquelle in das Förderband, welche durch zu viele Störfaktoren, wie zum Beispiel Kurzschlüsse bei höheren Behandlungsabständen aufgrund der direkten Entladung zwischen den Förderbändern, nicht prozessstabil betrieben werden konnte, weshalb dieses Konzept nicht weiterentwickelt wurde.



Abbildung 11: Förderbandkonzept mit planparalleler Anordnung.

Um bei der indirekten Entladung eine umlaufende Behandlung zu erzielen war es erforderlich, zwei Förderbandssysteme mit je einer Plasmaquelle nacheinander zu schalten, bei welchem die Substrate beim Übergang vom einen auf das andere Förderband gewendet werden können. Dies wurde durch einen Höhenversatz der Förderbänder zueinander umgesetzt, wobei der Abstand der Bänder experimentell auf ein bestmögliches Umwälzen der Bauteile optimiert wurde. Außerdem mussten an den Förderbändern seitliche Begrenzungen angebracht werden, die die Bauteile mittig auf den Förderbändern und somit auch zentrisch zu den Plasmaquellen platzieren und zudem am Verlassen des Förderbandes hindern sollen, um möglichst homogene

Behandlungsergebnisse zu erzielen. Die Bandgeschwindigkeit lässt sich stufenlos bis auf ca. 10 m/min einstellen, sodass genügend Geschwindigkeitsreserve für weitere Parametereinstellungen vorhanden ist.

AP 4.2 – Einstellen des Parameterkorridors

Beschreibung

Nach erfolgtem Aufbau des Labormusters werden sowohl statische als auch dynamische Versuche zur Ermittlung des Parameterkorridors durchgeführt. Dabei werden mittels DOE die plasmaspezifischen Parameter variiert, um die minimal und maximal möglichen Bereiche der Oberflächenkennwerte auf den ausgewählten Substraten zu bestimmen. Dabei werden folgende Parameter untersucht:

- Elektrodenabstand: Mit Vergrößerung des Elektrodenabstands und damit Vergrößerung des Luft- bzw. Plasmaspaltes steigt die zur Ausbildung des Plasmas notwendige Hochspannung. Das erschwert den technischen Aufbau bezüglich elektrischer Isolierungen und Betriebssicherheit. Die Luftspaltgröße kann sich aber auch auf die Effektivität auswirken, wodurch eine Reduzierung der Behandlungszeit möglich ist.
- Plasmaleistung: Eine Erhöhung der Leistung kann die notwendigen Behandlungszeiten verkürzen, kann jedoch in einer höheren Gastemperatur und evtl. Entladungsinhomogenität resultieren. Hier ist die Temperaturempfindlichkeit der Holz-Substrate limitierend.
- Gastemperatur und Luftströmung werden bei der Behandlung kontrolliert und untersucht, um deren Einfluss auf den Behandlungserfolg beurteilen zu können. Dabei dient die Luft einerseits zur Kühlung der Hochspannungselektroden und andererseits verbessert sie gleichzeitig entscheidend die Homogenität der Entladung, die für eine gleichmäßige und effektive Behandlung notwendig ist.
- Behandlungszeit: Mit den optimalen Parametern für die Hochspannungsquelle wird die Plasmabehandlungszeit variiert, um deren Einfluss auf die Behandlungsqualität zu untersuchen.

Angewandte Methoden und Ergebnisse

Zum Einstellen des Parameterkorridors des Behandlungsprozesses wird auf einen Tantec HV-X 20 Generator samt zugehörigem Transformator zurückgegriffen. Dieser erlaubt durch seine automatische Spannungs- und Frequenzregelung eine optimale Anpassung der Plasmaparameter an das jeweilige Substrat, selbst bei variierender Probenstärke. Zusätzlich dazu sucht der Generator den optimalen Arbeitspunkt für jede Prozessänderung, um zu jederzeit mit höchster Effizienz und Prozessstabilität zu arbeiten. Des Weiteren wird die Plasmaentladung kontinuierlich überwacht, um eventuelle Kurzschlüsse erkennen zu können und ggf. die Entladung zu unterbrechen, wodurch eine ungewollte Zerstörung der Substrate und auch der Plasmaquelle vermieden werden sollen.

Für die Ermittlung der geeigneten Prozessparameter wurden zuerst, wie auch bei der Konzeptionierung des Vorbehandlungsprozesses, plane, ca. 10 mm starke Holzproben aus Rotbuche und Ahorn genutzt, die durch ihre Form sowohl eine direkte als auch indirekte Plasmabehandlung zulassen, aufgrund der ebenen Oberfläche reproduzierbare Prozessbedingungen ermöglichen und die Prozessparameter aus der Konzeptionierungsphase anwenden ließen. Anhand der ermittelten Daten konnten im Folgenden die Prozessparameter auf andere Substratformen mit unterschiedlichen Abmessungen und Oberflächenbeschaffenheiten adaptiert werden, um das Behandlungsverfahren für möglichst viele Substrate und Anwendungen nutzen zu können.

Durch die Aufteilung der Plasmabehandlung bei der indirekten Behandlung in zwei Stufen (vgl. Förderbandkonzepte in AP 4.2) war es erforderlich, beide Entladungen zeitgleich einstellen und überwachen zu können. Hierfür wurde zuerst zwischen Tantec HV-X 20 Generator und den

beiden Hochspannungstransformatoren (einer je Plasmaquelle) ein Switch installiert, welcher es erlaubt, mehrere Plasmaquellen mit identischen Parametern zeitgleich und mit nur einem Generator betreiben zu können. Dadurch war es möglich, die zuvor generierten Parameter weiter zu nutzen und den Einfluss zweier aufeinander folgender Behandlungen zu untersuchen. Anstelle des Switches kann außerdem auch ein zweiter Generator installiert werden, durch welchen an beiden Behandlungsstationen auch unterschiedliche Parameter eingestellt werden können, um ggf. verschiedene Prozessgase nutzen oder unterschiedliche Entladungsabstände einzustellen zu können.

Insgesamt erwiesen sich die in Tabelle 36 aufgeführten Parameter für die jeweiligen Behandlungsarten am effektivsten:

Tabelle 36: Prozessparameter der direkten und indirekten Entladung.

Parameter	Direkte Entladung	Indirekte Entladung
Leistung	250 W	500 W
Prozessgasstrom (Druckluft)	50 L/min	50 L/min
Behandlungsabstand	2 mm	2 mm
Substratstärke	0 – 10 mm	(0*)10 mm – 30 mm
Behandlungsgeschwindigkeit	2 m/min	2 m/min

**unter 10mm Materialstärke ist die direkte Entladung effizienter*

AP 4.3 – Prüfung der Ergebnisse

Beschreibung

In diesem Arbeitspaket wird die Einstellung der Oberflächenenergie auf dem Substrat anhand der Oberflächenenergien des Lackes (siehe AP 3) in einem iterativen Prozess mittels Plasmavorbehandlung vorgenommen. Nach Einstellung der geforderten Oberflächenenergien wird die jeweilige Lackformulierung auf der Substratoberfläche appliziert. Die darauffolgende Trocknungszeit, Haftzugfestigkeit, Farbechtheit, Glanzgrad und Witterungsbeständigkeit wird gemäß festgelegten Prüfmethoden erfasst und in einem engen Austausch mit AP 3 angepasst.

Angewandte Methoden und Ergebnisse

Im Rahmen dieses Arbeitspakets wurden die Wasser- und Lackkontaktwinkel und Oberflächenenergien mittels des Kontaktwinkelmessgeräts DSA100 der Firma Krüss (Abbildung 12) durchgeführt.

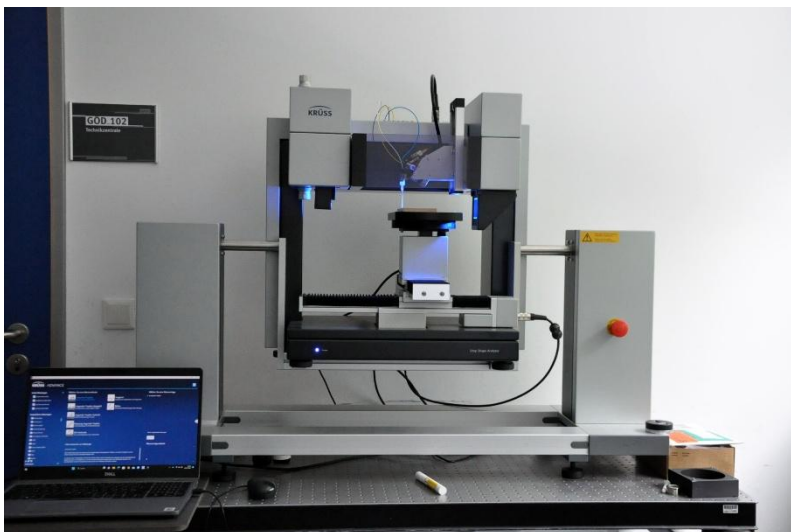


Abbildung 12: DSA100-System am Standort der HAWK in Göttingen.

Die Analytik-Abläufe stellten sich wie folgt dar:

Wasserkontaktwinkel: Automatisierte Applikation von 10 DI-Wassertropfen ($2\ \mu\text{L}$) über die Holzoberfläche verteilt. Aus den 10 Messwerten wird anschließend automatisch der Mittelwert und die Standardabweichung gebildet.

Lackkontaktwinkel: Das DSA100 besitzt die Möglichkeit automatisch unterschiedliche Flüssigkeiten auf der Prüfoberfläche zu applizieren. Ermöglicht wird dies durch ein Positioniersystem, was die Flüssigkeit über ein komplexes Schlauchsystem aus dem Reservoir auf die Oberfläche pumpt. Lack ist jedoch ein System, welches dafür konzipiert ist auszuhärten. Das würde es auch in dem erwähnten Schlauchsystem. Aus diesem Grund wurde der Lack manuell über eine einstellbare Mikroliter-Pipette ($10\ \mu\text{L}$) auf der zu prüfenden Holzoberfläche appliziert, um ein langwieriges Austauschen des Schlauchsystems zu verhindern. Die Menge unterscheidet sich aufgrund der unterschiedlichen Viskositäten zu den automatisiert aufgetragenen Flüssigkeiten Wasser und Diiodmethan. In Abbildung 13 sind beispielhaft die unbehandelten und behandelten Oberflächen mit den applizierten Beiz- und Lackkomponenten gegenübergestellt. Bei nahezu allen Versuchen konnte eine signifikante Reduzierung des Kontaktwinkels erreicht werden.

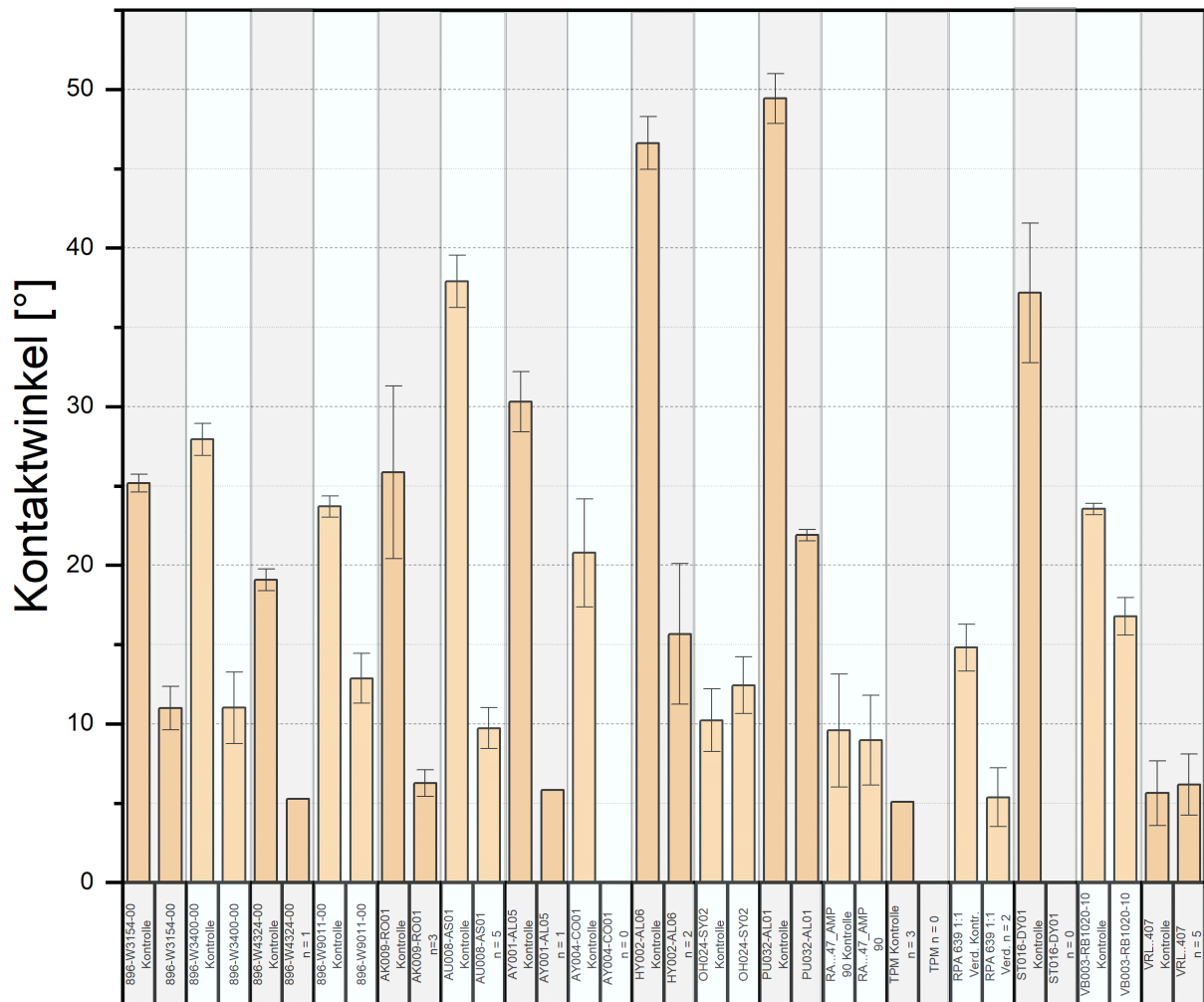


Abbildung 13: Beispielhafte Ergebnisse einer Versuchsreihe zur Ermittlung der Kontaktwinkel der Beizen (Lacke, Lackbestandteile) auf behandelten und unbehandelten Holzoberflächen.

Oberflächenenergie: Zu diesem Zweck wird sowohl eine polare Flüssigkeit (DI-Wasser) als auch eine disperse Flüssigkeit (Diiodmethan) auf der Prüfoberfläche appliziert. Hierzu werden jeweils 5 Flüssigkeitspaare der beiden Flüssigkeiten auf die Oberfläche in Tropfenform ($2\ \mu\text{L}$) aufgebracht. Die Kontaktwinkel beider Flüssigkeiten werden erfasst und jeweils der Mittelwert und

die Standardabweichung gebildet. Über die OWRK-Methode wird anschließend automatisch die Oberflächenenergie berechnet, welche in mN/m angegeben wird. In Abbildung 14 sind die Leistungsstudien in Form der jeweils erreichten Oberflächenenergie (Polar, Dispers, Gesamt) zur unbehandelten Referenz gegenübergestellt. Insbesondere am polaren Anteil ist die Sättigung bereits bei 150 W eingespeister Leistung festzustellen. Eine Erhöhung der Leistung führt bestenfalls zu gleichbleibenden polaren Anteilen.

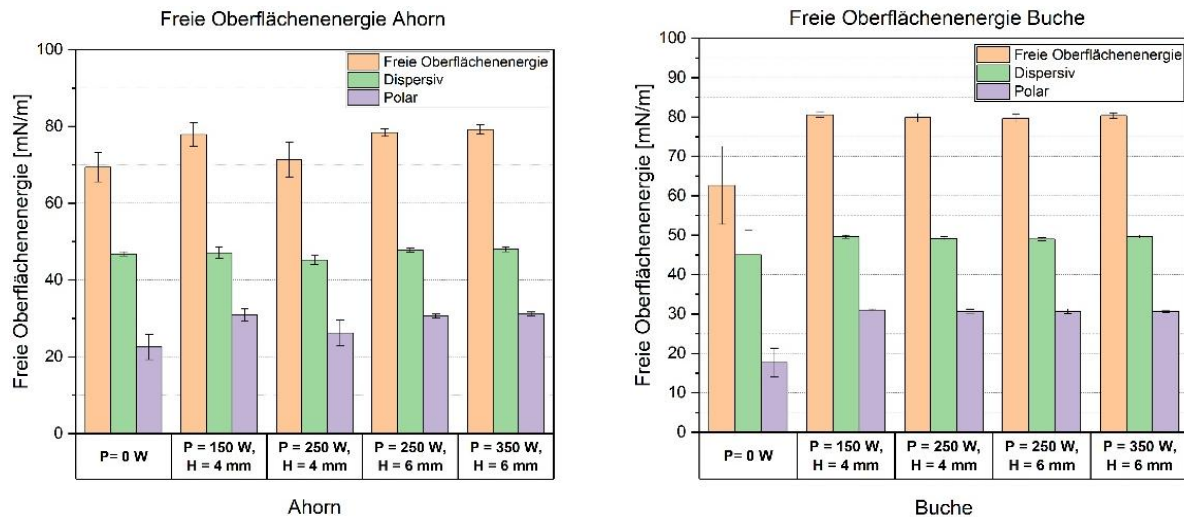


Abbildung 14: Gegenüberstellung der Oberflächenenergien (Polar, Dispers, Gesamt) von Ahorn und Buche in Abhängigkeit der eingespeisten Leistung.

AP 5 – Feldtest des „PlasmAdd“ Lacksystems

Beschreibung

Der PlasmAdd-Lack wird nun auf den plasmavorbehandelten Standardsubstraten appliziert. Die Beschichtung erfolgt hierbei mittels Trommelverfahren. Bewertet wird hier das Verhalten des Lackes auf der vorbehandelten Oberfläche im Vergleich mit Standardtrommellacken, welche in AP 1 evaluiert wurden. Neben der Verarbeitbarkeit und der Oberflächengüte wird die Trocknungszeit als zu anzupassender Parameter bewertet. Obligatorisch, wie bei allen Lackformulierungen für den Spielzeubereich der Fa. Zuelch (siehe Prüfbericht im Anhang), wird das neu zu entwickelnde Lacksystem nach der DIN EN 71 Teil 3 (Spielzeugsicherheit) geprüft. Ggf. durchläuft diese Formulierung eine weitere Anpassung unter Zuhilfenahme weiterer in AP 3 entwickelten Formulierungen.

Angewandte Methoden und Ergebnisse

Dieses Arbeitspaket überschneidet sich in großen Teilen mit AP 3, 4 und 6: Insbesondere die Fertigstellung eines Demonstrators, d.h. sowohl der Bau des Funktionsmusters als auch die Herstellung von beschichteten Holzteilen mit dem entwickelten Lacksystem unter Zuhilfenahme des Funktionsmusters (Plasmaanlage) lässt sich als Feldversuch einordnen.

Energieverbrauch (Plasmaanlage, Luft-Plasma): Die gesamte Anlage (Trafos, Frequenzgeneratoren, Switches, Steuerungsgeräte, Förderbänder, Behandlungsgut-Vereinzelner, Kompressor und Absaugung) weist einen Verbrauch von ca. 0,11 kWh elektrischer Energie pro kg Holzkleinteile pro Durchgang auf.

AP 6 – Fertigstellung eines Demonstrators

Beschreibung

Am Ende des Vorhabens wird ein Demonstrator für Messen (z.B. Spielwarenmesse Nürnberg) sowie das Technikum der Firma Zuelch fertiggestellt werden, damit das entwickelte „PlasmAdd“-Lacksystem den potenziellen Kunden präsentiert werden kann.

Angewandte Methoden und Ergebnisse

Bau des Funktionsmusters:

Nachdem das im AP 4.1 entwickelte System aufgebaut und erprobt wurde, konnte für das Gesamtsystem ein Gehäuse hergestellt werden, in welchem die Steuerungstechnik für die Förderbänder, die Prozessgasregelung und die komplette Stromversorgung integriert wurde und welches durch die Umhausung der Plasmaentladung ein noch effektiveres Absaugen der bei der Behandlung entstehenden Abgase erlaubt. Das Gehäuse wurde dabei im Wesentlichen aus Konstruktionsprofilen aufgebaut und mit Aluminium und Acrylglasplatten verkleidet. Zur Bedienerseite erhielt der Aufbau zum Einstellen der Anlage und für Wartungszwecke Schiebetüren. Des Weiteren wurde der Aufbau durch einen Vibrationsförderer zur Materialzuführung erweitert, welcher sich in seiner Schwingamplitude auf verschiedene Substrate einstellen lässt. Dieser erlaubt zudem die Vereinzelung der jeweiligen Holzproben und verteilt diese möglichst gleichmäßig auf dem Förderband. Außerdem dient die auf dem Vibrationsförderer montierte Schütte gleichzeitig als Vorratsbehälter zur Beschickung der Anlage, um bis zu 2 kg Probenmaterial vorhalten zu können. Das fertige Funktionsmuster ist in Abbildung 15 dargestellt:



Abbildung 15: Fertiges Funktionsmuster.

Auf der Oberseite der Anlage befinden sich direkt oberhalb der Plasmaquellen die Montagehalterungen für die Hochspannungstransformatoren, wobei deren Hochspannungsseiten ins Innere der Anlage zeigen und somit nicht von außen zugänglich sind. Dabei sind die Transformatoren außerhalb der Behandlungskammer gehalten worden, damit deren Kühlsystem keinen Holzstaub ansaugt, welcher durch die Plasmabehandlung aufgewirbelt werden kann.

Herstellung von beschichteten Holzteilen mit dem entwickelten Lacksystem unter Zuhilfenahme des Funktionsmusters:

Substrat: je Farbe ca. 90 g Holzwürfel und ca. 90 g Holzoliven mit Loch (für Perlenkette)

Beizen:

- AY074-AL05 (weiß)
- AY075-AL05 (gelb)
- AY076-AL05 (orange)
- AY077-AL05 (rot)
- AY078-AL05 (rosa)
- AY064-AL05 (violett)
- AY079-AL05 (dunkelblau)
- AY080-AL05 (hellblau)
- AY081-AL05 (dunkelgrün)
- AY082-AL05 (hellgrün)
- AY083-AL05 (braun)
- AY084-AL05 (schwarz)

Klarlack: OH068-SY02 MV 5,6:1 mit NC025-CO02

Vorgehen (sortenrein):

1. Plasmabehandlung
2. Trommeln mit Beize unverdünnt
3. Trocknung
4. Trommeln mit Klarlack 1:1,5 verdünnt
5. Trocknung
6. Trommeln mit Klarlack 1:2 verdünnt

AP 7 – CO₂-Bilanzierung des „PlasmAdd“

Beschreibung

Im Rahmen des Vorhabens erfolgt eine detaillierte Bewertung der Nachhaltigkeit und der Ressourceneffizienz für das zu entwickelnde PlasmAdd-Lacksystem (Lacksystem + Plasmavorbehandlung) sowie für das ausgewählte konventionell hergestellte Lacksystem, um CO₂-Bilanzen der beiden Lacksysteme vergleichen zu können. Am Beispiel des Treibhauspotenzials soll gegen Projektende das Gesamtwirkungspotenzial vom zu entwickelnden PlasmAdd-Lacksystem in Addition mit dem Plasmavorbehandlungsprozess als „Primer“ unter Berücksichtigung von aktuellen Ökobilanzen und Marktzahlen abgeschätzt werden. Im Rahmen der Nachhaltigkeitsbewertung der gewählten Kreislaufkonzepte sollen auch weitere Wirkungskategorien wie z.B. Wasserverbrauch, fossiler Ressourcenverbrauch, sozioökonomische Auswirkungen sowie Indikatoren zur Bewertung der Kreislauffähigkeit betrachtet werden.

Energiebilanz und CO₂-Fußabdruck

Die Datenlage zu Energiebilanz und Product Carbon Footprint (PCF) ist derzeit noch dürrtig. Von Rohstoffen der entwickelten Beizen und Lacke sowie der zu vergleichenden Standardsysteme liegen die PCF-Datenblätter nur vereinzelt vor, der Vergleich mit den Standardsystemen gelingt daher überwiegend mithilfe von Analogieschlüssen. Grundsätzlich ist eine solche Bewertung fehleranfällig, beispielsweise liegen den vorliegenden PCF-Datenblättern weitere Analogieschlüsse und Rückgriffe auf Datenbanken zugrunde, wenn (einzelne) Rohstofflieferanten keine Daten zur Verfügung stellen können/wollen. Auch ist nicht ersichtlich und nicht mit vertretbarem Aufwand ermittelbar, inwieweit bereits in der Vorkette (Produktion und Transport von Rohstoffen)

erneuerbare oder fossile Energieträger eine Rolle spielen. Somit korreliert der PCF nicht zwangsläufig mit der Energiebilanz.

Die entwickelte Beize besteht aus Bindemittel, Wasser und Pigmenten. Als Bindemittel wird eine Acrylatdispersion genutzt. Deren Herstellung basiert auf radikalischer Polymerisation, ebenso wie die Herstellung der Polyvinylacetatdispersion (Bindemittel der Standardbeize), wobei im Allgemeinen die PVAc-Herstellung einen höheren Carbon Footprint aufweist, was auf die Herstellung der Edukte Acrylsäure bzw. Vinylacetat zurückzuführen ist (vgl. PCF-Datenblätter im Anhang). Im Vergleich zum Standard entfallen sämtliche Additive, die naturgemäß in der Herstellung sehr energieintensiv sind. Ebenso entfallen die Emissionen durch den Transport der Additive und deren Ausgangsstoffe. Insgesamt ist von einer deutlich besseren Energiebilanz der PlasmAdd-Beize gegenüber dem Standardsystem auszugehen.

Der entwickelte Alkyd-Decklack besteht aus Bindemittel, Wasser und Fe-Trockenstoff. Im Vergleich zum Standard wird keine Abmischung mit einem Acrylat verwendet. Da Acrylate in der Herstellung deutlich energieintensiver sind als Alkyde (v.a.: Synthese von Acrylsäure), liegt bei gleichem Festkörper hier bereits eine Verkleinerung des CO₂-Fußabdrucks vor. Im Vergleich zum Standard entfallen sämtliche Additive, die naturgemäß in der Herstellung sehr energieintensiv sind. Ebenso entfallen die Emissionen durch den Transport der Additive und deren Ausgangsstoffe. Insgesamt ist von einer deutlich besseren Energiebilanz des PlasmAdd-Alkyd-Decklacks gegenüber dem Standardsystem auszugehen.

Der entwickelte 2K-PUR-Decklack besteht aus Bindemittel (Polyol + Härter), Wasser und Verdicker. Bzgl. ihres chemischen Aufbaus unterscheiden sich die Bindemittel kaum von denen des Standardsystems. Im Vergleich zum Standard entfallen sämtliche Additive, die naturgemäß in der Herstellung sehr energieintensiv sind. Ebenso entfallen die Emissionen durch den Transport der Additive und deren Ausgangsstoffe. Insgesamt ist von einer deutlich besseren Energiebilanz des PlasmAdd-Alkyd-Decklacks gegenüber dem Standardsystem auszugehen.

Die Plasmabehandlung (Druckluft als Prozessgas) trägt mit 0,11 kWh elektrischer Energie pro kg Holzkleinteile pro Durchgang in der Gesamtbetrachtung nicht nennenswert zur Energiebilanz bzw. zum CO₂-Fußabdruck bei.

Nachwachsende Rohstoffe

Die entwickelte Beize enthält 35% NaWaRo in Bezug auf den nichtflüchtigen Anteil. Der entwickelte Alkyd-Decklack enthält 64% NaWaRo, ebenfalls auf die Trockenmasse bezogen. Der entwickelte 2K-PUR-Decklack enthält 43% NaWaRo im getrockneten Lackfilm (inkl. Härter).

AP 8 – Projektbegleitende Arbeiten

Beschreibung

Über die gesamte Laufzeit des Projektes werden begleitende Tätigkeiten ausgeführt. Zu diesen zählen Projektkoordination, Organisation und Teilnahme an Projekttreffen, Verfassen der Zwischenberichte und administrative Aufgaben. Zusätzlich sollen gewonnene Ergebnisse in Berichtsform dokumentiert und anschließend publiziert werden, um sie der Öffentlichkeit zugänglich zu machen. Ferner sind Vorbereitungen für die zukünftige Vermarktung sowie allgemeine Öffentlichkeitsarbeit geplant.

Ergebnisse

Die Projektkoordination erfolgte primär in physischen und virtuellen Zusammenkünften, einzelne Absprachen erfolgten telefonisch, per E-Mail und Chat. Die Zoom-Meetings wurden protokolliert. Es wurden Kurzberichte zum jeweiligen Halbjahr/Quartal sowie ein Abschlussbericht angefertigt und an die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) übermittelt.

Die Ergebnisse wurden in einem Interview sowie in einem Fachbeitrag (beide veröffentlicht in der FARBE UND LACK) sowie in einem Image-Film dargestellt und der Öffentlichkeit zugänglich gemacht. Die Vorbereitungen für eine zukünftige Vermarktung sind noch nicht möglich, da das PlasmAdd-Lacksystem noch nicht marktreif ist. Stattdessen werden ein Netzwerk und daraus resultierende Folgeprojekte, ggf. auch Folgeprojekte unabhängig vom Netzwerk vorbereitet.

Fazit

Die Projektziele wurden weitestgehend erreicht und teilweise übertroffen. Umfang, tatsächlicher Arbeitsaufwand und zeitliche Umsetzung der Arbeitspakete wichen teilweise stark von der Planung im Projektantrag ab. Die Abstimmung der Projektpartner und flexible Anpassung war zu jeder Zeit gegeben. Aufgrund der personellen Gegebenheiten und fachbezogenen Aufteilung der tatsächlich angefallenen Arbeit unter den Projektpartnern war es erforderlich, die Projektlaufzeit von ursprünglich 24 Monaten auf 30 Monate zu verlängern. Im Projekt konnte ein PlasmAdd-System, bestehend aus Plasmabehandlung und klassischem Schichtaufbau (Beize + Klarlack) bei Verzicht auf zusätzliche Additive entwickelt werden, wobei TRL 4-5 erreicht wurde. Zur Erreichung der Marktreife sind weiterführende Folgeprojekte erforderlich.

Literaturverzeichnis

- [1] Dodge, J., *Polyurethanes and Polyureas*, in *Synthetic Methods in Step-Growth Polymers* 2003. p. 197-263.
- [2] Rosthauser, J.W. and K. Nachtkamp, *Waterborne Polyurethanes*. Journal of Coated Fabrics, 1986. **16**(1): p. 39-79.
- [3] Heilen, W., et al. Additive für wässrige Lacksysteme 2013, Hannover, Germany: Vincentz Network.
- [4] Goldschmidt, A. and H.J. Streitberger, *BASF-Handbuch Lackiertechnik* 2002: Vincentz.
- [5] https://ebooks.byk.com/fileadmin/pdf/BYK_L-SI_1_DE_Online.pdf.
- [6] <https://coatings.evonik.com/product/coatings/downloads/the-big-tego-en.pdf>.
- [7] *Alkylphenole und Alkylphenolethoxylate: freiwillige Maßnahmen der Industrie führen zur Verminderung der Umweltbelastung*. Available from: https://www.umweltprobenbank.de/de/documents/selected_results/13760.
- [8] Müller, B. Lackadditive kompakt erklärt 2018, Hannover, Germany: Vincentz Network.
- [9] *DE19725507C2, Verwendung eines wässrigen Lacksystems für das Beschichten in einem Trommellackierverfahren*, 1997, Eckard Zuelch & Co Lackfa GmbH: Germany.
- [10] Hippler, R., *Low temperature plasma physics : fundamental aspects and applications* 2001, Berlin: Wiley-VCH.
- [11] Janzen, G., *Plasmatechnik: Grundlagen, Anwendungen, Diagnostik* 1992: Huethig GmbH.
- [12] Zielonka, A., *Jahrbuch Oberflächentechnik*. 2002. **58**. 23.
- [13] Kogelschatz, U., *Dielectric-Barrier Discharges: Their History, Discharge Physics, and Industrial Applications*. Plasma Chemistry and Plasma Processing, 2003. **23**(1): p. 1-46.
- [14] Klarhofer, L., W. Viol, and W. Maus-Friedrichs, *Electron spectroscopy on plasma treated lignin and cellulose*. Holzforschung, 2010. **64**(3): p. 331-336.
- [15] Avramidis, G., et al., *Plasma treatment of wood and wood-based materials to generate hydrophilic or hydrophobic surface characteristics*. Wood material science & engineering, 2009. **4**(1-2): p. 52-60.
- [16] Wolkenhauer, A., et al., *Investigation of Wood and Timber Surface Modification by Dielectric Barrier Discharge at Atmospheric Pressure*. Plasma Processes and Polymers, 2007. **4**: p. S470-S474.
- [17] Arndt Wolkenhauer, G.A., Holger Militz, Wolfgang Viöl, *Wood modification by atmospheric pressure plasma treatment*, in *Third European Conference on Wood modification* 2007: Cardiff.
- [18] Avramidis, G., et al., *Accelerated curing of PVAc adhesive on plasma-treated wood veneers*. European Journal of Wood and Wood Products, 2011. **69**(2): p. 329-332.
- [19] Wolkenhauer, A., et al., *Plasma treatment of heat treated beech wood - investigation on surface free energy*. Holzforschung, 2008. **62**(4): p. 472-474.
- [20] Patent Disc-Jet: Bellmann, M., Ochs, C., Harms, M., Viöl, W.: WO 2017/157975, 2017.

Anhänge

Prüfbericht für die Standardbeize nach DIN EN 71 Teil 3:



Ostthüringische Materialprüfgesellschaft
für Textil und Kunststoffe mbH
Breitscheidstraße 97
07407 Rudolstadt



Nach DIN EN ISO/IEC 17025 durch die Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH akkreditiertes Prüflaboratorium.
Die Akkreditierung gilt für die in der Urkunde aufgeführten Prüfverfahren.

Zuelch Industrial Coatings GmbH
Ms. Barke
Friedrich-Ebert-Str. 204-206
37520 Osterode-Lerbach

Seite 1 von 7 / Page 1 of 7

Ihre Nachricht vom /
Your letter of
14.10.2021

Ihre Zeichen /
Your ref.
Hanns-E. Zülch/ba

Unsere Zeichen /
Our ref.
2.5/CG

Teil. Durchwahl Bearbeiter /
Phone extension
379-252

Datum /
Date
04.11.2021

PRÜFBERICHT / TEST REPORT

Allgemeines / General

Prüfbericht-Nr. / Test report - No.:	2 1 2 5 0 - 1 5 2 8
Auftraggeber / Customer:	siehe oben / see above
Prüfgegenstände / Objects tested:	896-W0110-00 ENOLIT-Toy-Hydro-Basislack / ENOLIT-Toy-Hydro-Base Lacquer Details siehe Seite 2 / see page 2 for details
Probenahme / Sampling:	durch Auftraggeber / by customer
Prüfziel / Test:	Abprüfung / Checking for conformity
Eingangsdatum / Date received:	15.10.2021
Bearbeitungszeitraum / Test period:	18.10. – 01.11.2021
Bearbeiter / Processed by:	1) Herr Dr. Axthelm / Mr. Dr. Axthelm 2) Frau Kühler / Ms. Kühler Frau Hanisch / Ms. Hanisch
Prüfverfahren / Test procedure:	1) siehe Tabelle Seite 2 Nr. 1 – 2 / see table page 2 No. 1 – 2 2) siehe Tabelle Seite 2 Nr. 3 – 7 / see table page 2 No. 3 – 7
Bemerkung / Remarks:	2 Petrischalen / 2 petri dishes
Berichtsausfertigung / Report copies:	1 Exemplar für Auftraggeber / 1 copy for client 1 Exemplar für OMPG / 1 copy for OMPG

Die Ergebnisse der Messungen und Analysen beziehen sich ausschließlich auf die Prüfgegenstände. Dieser Prüfbericht ist nur mit Unterschrift des Laborleiters oder seines Vertreters rechts gültig. Er darf nur komplett vervielfältigt werden. Auszugsweise Vervielfältigungen bedürfen der schriftlichen Genehmigung des OMPG-Labors. Die Beurteilung der Ergebnisse erfolgt anhand der genannten Anforderungen, ohne Berücksichtigung etwaiger Messunsicherheiten, wenn in den Prüfnormen nicht anders angegeben. Bezüglich der Messunsicherheit erfüllen die durchgeführten Analyseverfahren die Leistungsfähigkeit analog der Richtlinie 2009/90/EG. Mit Stern (*) gekennzeichnete Verfahren sind nicht akkreditiert.
Results of measurements and analyses refer only to the tested samples. This test report is legally valid with the signature of the head of laboratory or his / her representative only. Copies must be done completely. Copies, even in extracts, require the written permission of OMPG Ltd.. Conclusions of test results are based on the relevant requirements. Unless otherwise stated in the test standards, the measurement uncertainties are not taken into account. In term of the measurement uncertainties, the efficiency of the analytical methods complies with the guideline 2009/90/EG. Processes marked with an asterisk (*) are not accredited.

Bitte beachten / Please note:

Werte unterhalb der Bestimmungsgrenze werden mit "< [BG]" angegeben. / Results below the limit of quantification are reported as "< [LOQ]"

Für die Bildung von Summen werden nur Messwerte oberhalb der jeweiligen Bestimmungsgrenze berücksichtigt. / Only results above the relevant limit of quantification are taken into account for the calculation of sums.

 Fatma Körfer
2021.11.04
13:58:23 +01'00'

Körfer
Stellv. Leiterin Analytik / Deputy Head of Analytics

Tele: 03672 / 379 - 0
Fax: 03672 / 379 - 379

E-Mail: info@ompg.de
<http://www.ompg.de>

Geschäftsführer: Benjamin Redlingshöfer, Ute Schubert
Amtsgericht Jena HRB 202727
Ust-ID: DE 150530258



Ostthüringische Materialprüfgesellschaft
für Textil und Kunststoffe mbH
Breitscheidstraße 97
07407 Rudolstadt



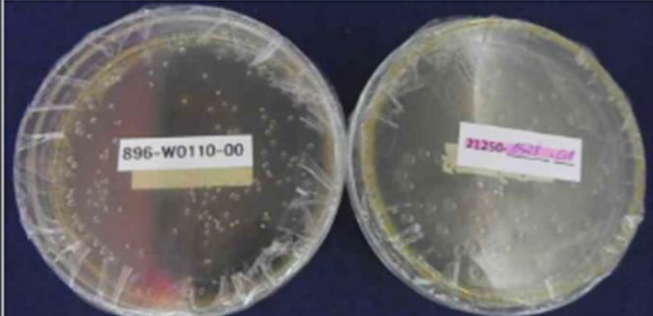
DAKKS
Deutscher
Akkreditierungsausschuss
D-PL 53118-Bonn
Tel. 0228 9494-0

Fortsetzung Prüfbericht / Continuation test report 21250-1528
Seite 2 von 7 / Page 2 of 7

Prüfverfahren und Anforderungen / Test standards and Requirements

Nr./ No.	Parameter / Anforderung / Requirements	Prüfverfahren / Test standards	Bewertung der Probe / Assessment of sample
1	Cadmium und Blei / Cadmium and Lead Regulation (EC) 1967/2006 (Reach)	Aufschluss gem. Hausverfahren / Digestion acc. to in-house method HV_250_002:2020-09 and ICP-OES acc. to DIN EN ISO 11885:2009-09 Pb: entspricht CPSC-CH-E1003-09.1 / Pb: conform to CPSC-CH-E1003-09.1	passed
2	Migration bestimmter Elemente / Migration of certain elements Directive 2009/45/EC	DIN EN 71-3:2021-06 ASTM F 963-17*	passed
3	Zinnorganische Verbindungen / Organic tin substances Regulation (EC) 1907/2006 (Reach) Annex XVII No 20 and Directive 2009/45/EC / market requirement	DIN EN 71-3:2021-06	passed
4	Primäre aromatische Amine / Primary aromatic amines Directive 2009/45/EC and Regulation (EC) 1907/2006 (Reach)	DIN EN 71-11:2006-01	passed
5	Flammschutzmittel Spielzeug / Flame retardants in toys Directive 2014/79/EU in connect. with Directive 2009/45/EC and Regulation (EC) 1967/2006 (Reach) Annex XIV No 13	DIN EN 71-11:2006-01	passed
6	Phthalate / Phthalates Regulation (EC) 1907/2006 (Reach) Annex XVII No 61 + 62 and Annex XIV No 4 - 7	SAA/SOP2.5.L144 (Extraktion mit Dichlormethan und GC-MS / Extraction with CH ₂ Cl ₂ and GC-MS)	passed
	Phthalate / Phthalates 16 CFR part 1307 (DEHP, DBP, BBP, DINP, DiBP, di-n-pentyl phthalate, di-n-hexyl phthalate, dicyclohexyl phthalate)		passed
7	PAK / PAH AFPS GS 2019:01 PAK	AFPS GS 2019:01 PAK	passed
	PAK / PAH Regulation (EC) 1907/2006 Annex XVII No 60 (Reach)		passed

Foto, Prüfgegenstände / Picture, Objects tested

Proben-Nr./Sample	Probenbezeichnung / Sample designation Foto / Picture
21250-1528-01	896-W0110-00 ENOLIT-Toy-Hydro-Basislack / ENOLIT-Toy-Hydro-Base Lacquer 



Ostthüringische Materialprüfgesellschaft
für Textil und Kunststoffe mbH
Breitscheidstraße 97
07407 Rudolstadt



Deutsche
Akademie
für Qualität
und Leistung
DIN EN ISO 9001
IDT 111111111111111111

Fortsetzung Prüfbericht / Continuation test report 21250-1528
Seite 3 von 7 / Page 3 of 7

Prüfergebnisse / Test results

Cadmiumgehalt / Total amount of Cadmium

Probenbezeichnung / Sample designation	Parameter	Cadmium / Cadmium [mg/kg]	Grenzwert / Limit	Bewertung / Assessment
21250-1528-01		< 1	100	passed

Bleigehalt / Total amount of Lead

Probenbezeichnung / Sample designation	Parameter	Blei / Lead [mg/kg]	Grenzwert / Limit *	Bewertung / Assessment
21250-1528-01		< 25	90	passed

*acc. to ASTM F963-17

Migration bestimmter Elemente / Migration of certain elements

1) Es wurde Gesamtchrom mittels ICP-OES bestimmt. (Berichtsgrenze 0,025 mg/kg) / The total amount of chromium was determined with ICP-OES.
(Reporting limit 0.025 mg/kg)

Probenbezeichnung / Sample designation		21250-1528-01	Grenzwerte / Limits ASTM F963-17	Grenzwerte / Limits DIN EN 71-3
Parameter				
Aluminium / Aluminium (Al)	mg/kg	< 10	-	28.130
Arsen / Arsenic (As)	mg/kg	< 10	25	47
Bor / Boron (B)	mg/kg	< 10	-	15.000
Barium / Barium (Ba)	mg/kg	< 10	1000	18.750
Cadmium / Cadmium (Cd)	mg/kg	< 3	75	17
Kobalt / Cobalt (Co)	mg/kg	< 10	-	130
Chrom III / Chromium III (Cr III)	mg/kg	< 0,025 ¹⁾	60	460
Chrom VI / Chromium VI (Cr VI)	mg/kg		-	0,053
Kupfer / Copper (Cu)	mg/kg	< 10	-	7.700
Quecksilber / Mercury (Hg)	mg/kg	< 10	60	94
Mangan / Manganese (Mn)	mg/kg	< 10	-	15.000
Nickel / Nickel (Ni)	mg/kg	< 10	-	930
Blei / Lead (Pb)	mg/kg	< 10	90	23
Antimon / Antimony (Sb)	mg/kg	< 10	60	560
Selen / Selenium (Se)	mg/kg	< 10	500	460
Zinn / Tin (Sn)	mg/kg	< 10	-	180.000
Strontium / Strontium (Sr)	mg/kg	< 10	-	56.000
Zink / Zinc (Zn)	mg/kg	75	-	46.000
Bewertung / Assessment		passed	passed	---



Ostthüringische Materialprüfgesellschaft
für Textil und Kunststoffe mbH
Breitscheidstraße 97
07407 Rudolstadt



DAkkS
Deutscher
Akreditierungsdienst
D-PL 11118-01-01
IABT-011118-01-01

Fortsetzung Prüfbericht / Continuation test report 21250-1528
Seite 4 von 7 / Page 4 of 7

Zinnorganische Verbindungen gemäß DIN EN 71-3 (Kat. 3) / Organotin compounds acc. to DIN EN 71-3 (Cat.3)

Probenbezeichnung / Sample designation		21250-1528-01	Grenzwerte / Limits DIN EN 71-3
Parameter			
MMT (Methyltin)	mg/kg	< 0,6	
MBT (Monobutyltin)	mg/kg	< 0,6	
DBT (Dibutyltin)	mg/kg	< 0,6	
TBT (Tributyltin)	mg/kg	< 0,6	
Di-n-Propylzinn / Di-n-Propyltin	mg/kg	< 0,6	
MOT (Monooctyltin)	mg/kg	< 0,6	
TeBT (Tetrabutyltin)	mg/kg	< 0,6	
DPhT (Diphenyltin)	mg/kg	< 0,6	
DOT (Dioctyltin)	mg/kg	< 0,6	
TcT (Tricyclohexyltin)	mg/kg	< 0,6	
TPhT (Triphenyltin)	mg/kg	< 0,6	
Σ Organozinn / Organotin	mg/kg	< 12	12
Bewertung / Assessment		passed	---

Primäre aromatische Amine (Tabelle 2 C) / Primary aromatic amines (table 2 C)

Probenbezeichnung / Sample designation		21250-1528-01	Grenzwerte / Limits DIN EN 71 Part 9-11
Parameter			
o-Toluidin / o-Toluidine	mg/kg	< 5	5
2-Methoxyanilin / 2-Methoxyaniline	mg/kg	< 5	5
4-Chloranilin / p-Chloraniline	mg/kg	< 5	5
2-Naphthylamin / 2-Naphthylamine	mg/kg	< 5	5
Benzidin / Benzidine	mg/kg	< 5	5
Anilin / Aniline	mg/kg	< 5	5
3,3'-Dimethylbenzidin / 3,3'-Dimethoxybenzidine	mg/kg	< 5	5
3,3'-Dichlorbenzidin / 3,3'-Dichlorbenzidine	mg/kg	< 5	5
3,3'-Dimethoxybenzidin / 3,3'-Dimethoxybenzidine	mg/kg	< 5	5
Bewertung / Assessment		passed	---



Ostthüringische Materialprüfgesellschaft
für Textil und Kunststoffe mbH
Breitscheidstraße 97
07407 Rudolstadt



DAkkS
Deutsche
Akademie
für
Kunststoffprüfung
DIN EN 71-1
DIN EN 71-2
DIN EN 71-3

Fortsetzung Prüfbericht / Continuation test report 21250-1528
Seite 5 von 7 / Page 5 of 7

Flammschutzmittel Spielzeug / Flame retardants toys

- 1) DIN EN 71 part 9-11
2) Directive 2014/79/EU in connection with Directive 2009/48/EG und Regulation (EC) 1907/2006 (Reach) Annex XIV No 13 (TCEP)
3) Regulation (EU) No 767/2010
4) Regulation (EC) 1907/2006 (Reach) Annex XVII No 48

Probenbezeichnung / Sample designation		21250-1528-01	Grenzwerte / Limits
Parameter			
Tri-o-kresylphosphat / Tri-o-cresylphosphate CAS 78-30-8	mg/kg	< 1,7	50 ¹⁾
Tris(2-chlorethyl)phosphat / Tris(2-chloroethyl)- phosphate (TCEP) CAS 115-96-8	mg/kg	< 1,7	5 ²⁾
Tris(2-chlorisopropyl) phosphat / Tris (2-chloroisopropyl) phosphate (TCPP) CAS 13674-84-5	mg/kg	< 1,7	5 ²⁾
Tris(1,3-dichlorisopropyl) phosphat / Tris (1,3-dichloroisopropyl) phosphate (TDCPP) CAS 13674-87-8	mg/kg	< 1,7	5 ²⁾
Pentabromdiphenylether / Pentabromdiphenylether (penta BDE) CAS 32534-81-9	mg/kg	< 20	1000 ³⁾
Octabromdiphenylether / Octabromdiphenylether (octa BDE) CAS 32536-52-0	mg/kg	< 20	1000 ⁴⁾
Bewertung / Assessment		passed	—



Ostthüringische Materialprüfgesellschaft
für Textil und Kunststoffe mbH
Breitscheidstraße 97
07407 Rudolstadt



DAkkS
Deutsche
Akademie
für
Kunststoffprüfung
DIN EN ISO 9001
DIN EN ISO 14001

Fortsetzung Prüfbericht / Continuation test report 21250-1528
Seite 6 von 7 / Page 6 of 7

Phthalate / Phthalates

- 1) VO (EG) 1907/2006 (Reach) Anh XVII Nr. 51 + 52 / Regulation (EC) 1907/2006 (Reach) Annex XVII No 51 + 52
- 2) VO (EG) 1907/2006 (Reach) Anh XIV Nr. 4 + 7 / Regulation (EC) 1907/2006 (Reach) Annex XIV No 4 + 7
- 3) kennzeichnungspflichtig ab 0,1 % gemäß VO (EG) 1907/2006 Kandidatenliste / labeling required from 0.1% according to Regulation (EC) 1907/2006 candidate list
- 4) 15 CFR Part 1307 - Prohibition of Children's Toys and Child Care Articles Containing Specified Phthalates

Probenbezeichnung / Sample designation		21250-1528-01	Grenzwerte / Limits
Parameter			
Di-2-ethylhexylphthalate (DEHP) CAS 117-81-7	%	< 0,03	$\Sigma 0,1^{1)}$ Je/Each 0,1 ^{2); 3); 4)}
Dibutylphthalate (DBP) CAS 84-74-2	%	< 0,03	
Benzylbutylphthalate (BBP) CAS 85-68-7	%	< 0,03	
Diisobutylphthalate (DIBP) CAS 84-69-5	%	< 0,03	
Di-n-octylphthalate (DNOP) CAS 117-84-0	%	< 0,03	$\Sigma 0,1^{1)}$
Diisodecylphthalate (DIDP) CAS 26761-40-0	%	< 0,03	
Diisononylphthalate (DINP) CAS 26553-12-0	%	< 0,03	
1,2-Benzene-dicarboxylic acid, di-C7-11-branched and linear alkyl esters (DHNUP) CAS 68515-42-4	%	< 0,03	0,1 ³⁾
1,2-Benzene-dicarboxylic acid, di-C6-8-branched alkyl esters, C7-rich (DIHP) CAS 71888-89-6	%	< 0,03	0,1 ³⁾
Bis (2-methoxyethyl) phthalate (DMEP) CAS 117-82-8	%	< 0,03	0,1 ³⁾
Diisopentylphthalate (DIPP) CAS 605-90-5 ≙ 1,2-Benzenedicarboxylic acid, dipentylester, branched and linear CAS 84777-06-0	%	< 0,03	0,1 ³⁾
N-pentyl-isopentylphthalate (nPIPP) CAS 775297-69-9	%	< 0,03	0,1 ³⁾
Dipentylphthalate (DPeP) CAS 131-18-0	%	< 0,03	0,1 ^{3); 4)}
Di-n-hexyl-phthalate (DnHP/DHEXP) CAS 84-75-3	%	< 0,03	0,1 ^{3); 4)}
Dicyclohexylphthalate (DCHP) CAS 84-61-7	%	< 0,03	0,1 ^{3); 4)}
1,2-Benzene-dicarboxylic acid, di-C6-10 alkyl ester CAS 68515-51-5 and 68648-93-1; Mix of 1,2-Benzene-dicarboxylic acid, mixed decyl and hexyl and octyl diesters with ≥ 0.3% dihexyl phthalate	%	< 0,03	0,1 ³⁾
Bewertung / Assessment		passed	---



Ostthüringische Materialprüfgesellschaft
für Textil und Kunststoffe mbH
Breitscheidstraße 97
07407 Rudolstadt



DAKKS
Deutscher Akkreditierungsausschuss
D-PL 11118-01-05
PL 11118-01-05

Fortsetzung Prüfbericht / Continuation test report 21250-1528
Seite 7 von 7 / Page 7 of 7

PAK / PAH acc. to AfPS GS 2019:01 PAK

- 1) Werte < 0,2 mg/kg werden zur Summenbildung nicht herangezogen / Values < 0,2 mg/kg are not used to form the sum
2) Werte < 0,2 mg/kg werden zur Summenbildung nicht herangezogen / Values < 0,2 mg/kg are not used to form the sum
3) PAK gemäß VO 1907/2006 Anh. XVII Nr. 50 / PAH acc. to Regulation 1907/2006 Annex XVII No 50
Cat. 1: Materialien, die dazu bestimmt sind, in den Mund genommen zu werden oder Materialien in Spielzeug nach RL 2009/48 EG oder Materialien in Artikeln für die Verwendung durch Kinder bis zu drei Jahren mit längerfristigem Hautkontakt (länger als 30s) bei bestimmungsgemäßer Verwendung / Materials intended to be taken into the mouth, or materials in toys acc. to DIR 2009/48/EC or materials in articles intended for the use by children up to 3 years of age having long-term skin contact (more than 30s) within intended use
Cat. 2 a/b: Materialien, die nicht in Kat. 1 fallen, mit längerfristigem Hautkontakt (länger als 30s) oder wiederholtem kurzfristigem Hautkontakt bei bestimmungsgemäßer oder vorhersehbarer Verwendung / Materials that do not fall into category 1, with long-term skin contact (more than 30s) or repeated short-term skin contact within intended or foreseeable use
Cat. 3 a/b: Materialien, die nicht in Kat. 1 oder 2 fallen, mit kurzfristigem Hautkontakt (bis zu 30 s) bei bestimmungsgemäßer oder vorhersehbarer Verwendung / Materials that do neither fall into category 1 nor 2, with short-term skin contact (up to 30s) within foreseeable use

Erläuterung / Explanation:

- a = Verwendung durch Kinder (schließt sowohl den aktiven sowie passiven Direktkontakt einer Person vor Vollendung des 14. Lebensjahr ein) / use by children (Note: includes both the active and passive direct contact of a persons under the age of 14)
b = sonstige Verbraucherprodukte / other consumer products

Probenbezeichnung / Sample designation		21250-1528-01	Grenzwerte Kategorie / Limit Category				
			1	2a	2b	3a	3b
Naphthalene ²⁾	mg/kg	< 0,1	< 1	< 2	< 2	< 10	< 10
Acenaphthylene	mg/kg	< 0,1	-	-	-	-	-
Acenaphthene	mg/kg	< 0,1	-	-	-	-	-
Fluorene	mg/kg	< 0,1	-	-	-	-	-
Phenanthrene ^{1, 2)}	mg/kg	< 0,1	-	-	-	-	-
Anthracene ^{1, 2)}	mg/kg	< 0,1	-	-	-	-	-
Fluoranthene ^{1, 2)}	mg/kg	< 0,1	-	-	-	-	-
Pyrene ^{1, 2)}	mg/kg	< 0,1	-	-	-	-	-
Benzo(a)anthracene ^{2, 3)}	mg/kg	< 0,1	< 0,2	< 0,2	< 0,5	< 0,5	< 1
Chrysene ^{2, 3)}	mg/kg	< 0,1	< 0,2	< 0,2	< 0,5	< 0,5	< 1
Benzo(b)fluoranthene ^{2, 3)}	mg/kg	< 0,1	< 0,2	< 0,2	< 0,5	< 0,5	< 1
Benzo(k)fluoranthene ^{2, 3)}	mg/kg	< 0,1	< 0,2	< 0,2	< 0,5	< 0,5	< 1
Benzo(j)fluoranthene ^{2, 3)}	mg/kg	< 0,1	< 0,2	< 0,2	< 0,5	< 0,5	< 1
Benzo(e)pyrene ^{2, 3)}	mg/kg	< 0,1	< 0,2	< 0,2	< 0,5	< 0,5	< 1
Benzo(a)pyrene ^{2, 3)}	mg/kg	< 0,1	< 0,2	< 0,2	< 0,5	< 0,5	< 1
Indeno(1,2,3-cd)pyrene ²⁾	mg/kg	< 0,1	< 0,2	< 0,2	< 0,5	< 0,5	< 1
Dibenz(a,h)anthracene ^{2, 3)}	mg/kg	< 0,1	< 0,2	< 0,2	< 0,5	< 0,5	< 1
Benzo(g,h,i)perylene ²⁾	mg/kg	< 0,1	< 0,2	< 0,2	< 0,5	< 0,5	< 1
Σ 4 PAK / PAH ¹⁾	mg/kg	< 0,2	< 1	< 5	< 10	< 20	< 50
Σ 15 PAK / PAH ²⁾	mg/kg	< 0,2	< 1	< 5	< 10	< 20	< 50
Kategorie gem. / Category acc. to AfPS GS 2019:01-PAK		1	---				
REACH Annex XVII No. 50 Spielzeug & Artikel f. Säuglinge/Kleinkinder Toys & Articles for Infants / toddlers		passed	PAK ³⁾ je < 0,5 mg/kg PAH ³⁾ each < 0,5 mg/kg				

Product Carbon Footprint (PFC) eines wässrigen Acrylat-Bindemittels:



Product Carbon Footprint

Alberdingk® AC 2025

1,8 kg CO₂/kg as supplied

Manufacturer

Alberdingk Boley GmbH
Zeißstr. 21
50171 Kerpen, Germany

21 March 2025

Accounting data	Accounting data	Data quality	☐ ☒ ☐
Accounting standard:	ISO 14067	Used data (material):	- PCF supplier - Energy supplier
PCF declaration:	cradle-to-Gate	Used databases (material):	- Ecoinvent - BAFA - cbam
Reporting year:	2023	Share database:	32%
Considered Scope3-categories (upstream):	3.1 purchased goods	Safety surcharge:	5%
Energy method:	market-based	Allocation principles:	Mass fraction
Functional unit:	1kg Product		
Unit:	kg CO ₂ / kg Product		

Alberdingk Boley GmbH | Düsseldorf Str. 53 | 47829 Krefeld | Germany
Phone +49 2151 528-0 | Fax+49 2151 573643 | info@alberdingk-boley.de | www.alberdingk-boley.de

Alberdingk Boley, Inc. | Greensboro, NC | USA | www.alberdingkusa.com
Alberdingk Resins (Zhuhai) Co., Ltd. | Zhuhai City | P. R. China | www.alberdingkresins.com

The details contained herein are based on our present state of technology and shall inform on our products and their application possibilities. A lawful binding assurance of certain attributes or a suitability for a concrete operation purpose cannot be derived from this information. Industrial property rights are to be considered if required

Product Carbon Footprint (PCF) eines wässrigen Polyvinylacetat-Bindemittels:



Product Carbon Footprint

Alberdingk® VA 294

2,0 kg CO₂/kg as supplied

Manufacturer

Alberdingk Boley GmbH
Düsseldorf Str. 53
47829 Krefeld, Germany

23 June 2025

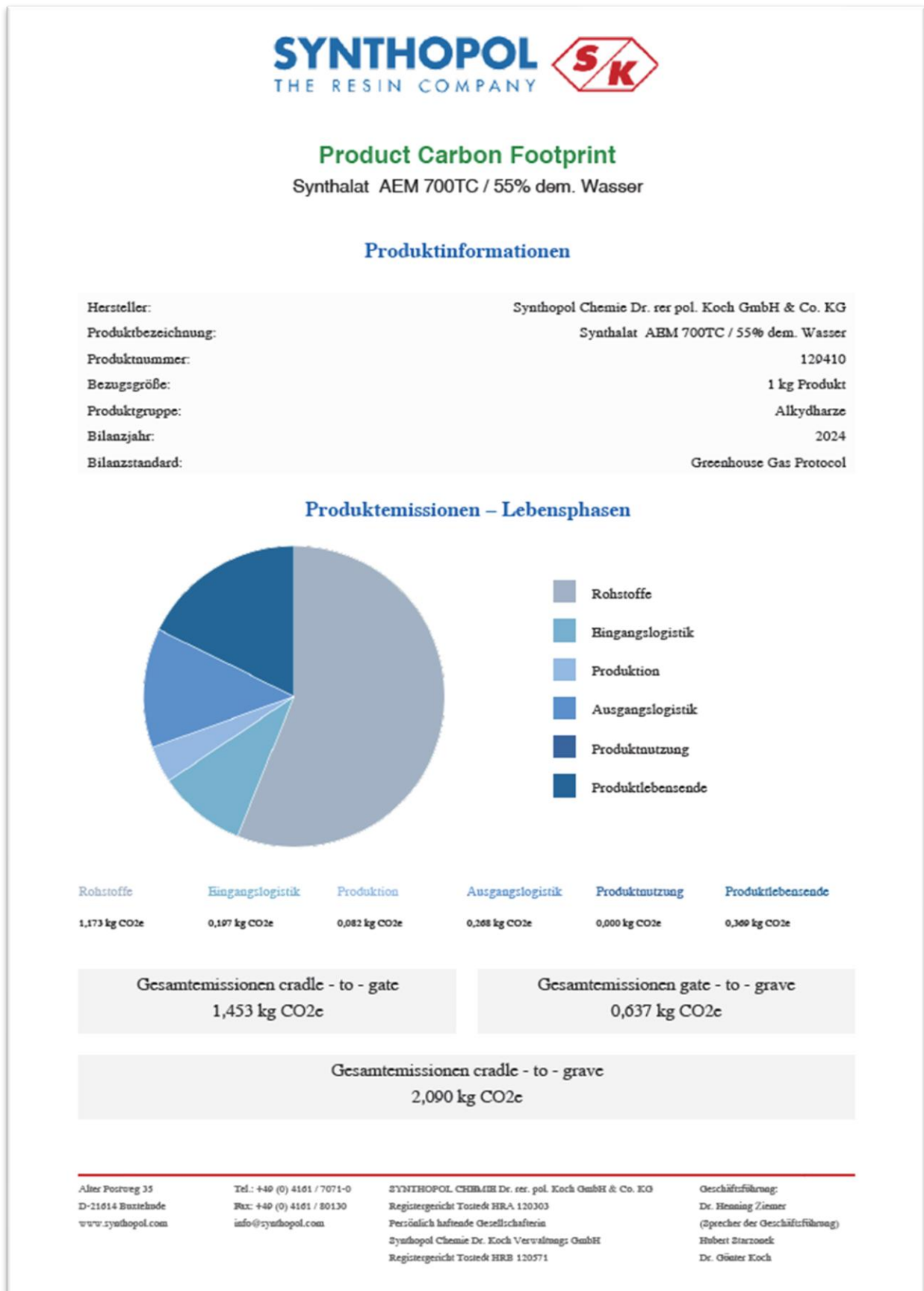
Accounting data		Data quality	
Accounting standard:	ISO 14067	Used data (material):	- PCF supplier - Energy supplier
PCF declaration:	cradle-to-Gate	Used databases (material):	- Ecoinvent - BAFA
Reporting year:	2023	Share database:	2%
Considered Scope3-categories (upstream):	3.1 purchased goods	Safety surcharge:	5%
Energy method:	market-based	Allocation principles:	Mass fraction
Functional unit:	1kg Product		
Unit:	kg CO ₂ / kg Product		

Alberdingk Boley GmbH | Düsseldorf Str. 53 | 47829 Krefeld | Germany
Phone +49 2151 528-0 | Fax+49 2151 573643 | info@alberdingk-boley.de | www.alberdingk-boley.de

Alberdingk Boley, Inc. | Greensboro, NC | USA | www.alberdingkusa.com
Alberdingk Resins (Zhuhai) Co., Ltd. | Zhuhai City | P. R. China | www.alberdingkresins.com

The details contained herein are based on our present state of technology and shall inform on our products and their application possibilities. A lawful binding assurance of certain attributes or a suitability for a concrete operation purpose cannot be derived from this information. Industrial property rights are to be considered if required

Product Carbon Footprint (PFC) eines wässrigen Alkyd-Bindemittels:



Product Carbon Footprint (PFC) eines wässrigen, hydroxylgruppenhaltigen Acrylat-Bindemittels:

