

Plasma statt Additive



Quelle: M. Schuppich – stock.adobe.com

NACHHALTIGE BESCHICHTUNGEN // HÖHERE ANFORDERUNGEN, WELTPOLITISCHE EREIGNISSE UND KLIMATISCHE VERÄNDERUNGEN STELLEN AUCH DIE LACKINDUSTRIE VOR NEUE HERAUSFORDERUNGEN. MIT DEM EINSATZ VON PLASMA TECHNOLOGIE IN KOMBINATION MIT BIOBASIERTE ROHSTOFFEN LASSEN SICH ÖKOLOGISCHE UND ÖKONOMISCHE ZIELE REALISIEREN, INDEMN ABHÄNGIGKEITEN UND DER CO₂-FUSSABDRUCK VERRINGERT WERDEN.

Samuel Menacher, Zuelch und Richard Wascher,
Martin Bellmann, Rinat Ortmann und Henrik
Werner, Hochschule für angewandte
Wissenschaften und Kunst Göttingen (HAWK)

Das Thema Nachhaltigkeit ist mittlerweile nicht mehr wegzu-denken, zu stark sind die Auswirkungen des Klimawandels inzwischen spürbar. Doch was ist Nachhaltigkeit und wie lassen sich klimafreundliche Produkte realisieren? Maßstab ist dabei immer die Qualität und Funktionalität des Produkts. In Anbetracht der aktuellen weltpolitischen Verhältnisse, der prekären Wirtschaftslage, der Handelskonflikte und der steigenden regulatorischen Anforderungen rückt die Erreichbarkeit von Klimaneutralität in scheinbar endlose Ferne.

In einem Entwicklungsprojekt haben sich die Firma Zuelch Industrial Coatings und die Hochschule für angewandte Wissenschaften und Kunst (HAWK) in Göttingen der Herausforderung gestellt und sich der Entwicklung eines nachhaltigen und additivfreien Lacks für Holz und Holzwerkstoffe verschrieben. Die Zusammenarbeit zwischen Industrie und Wissenschaft kombiniert traditionelle Lackentwicklung mit innovativer Forschung. Die beiden Partner arbeiten seit Ende 2022 an innovativen Lösungen für ein umweltfreundlicheres Beschichtungsverfahren. Eine zentrale Rolle spielt dabei die Plasmatechnologie. Das Projekt mit dem Titel „PlasmAdd – Entwicklung eines innovativen Lacksystems mit Hilfe einer Plasmavorbehandlung zur Substitution konventioneller Additive“ wurde von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) gefördert. Der Einsatz von Bindemitteln mit hohen Anteilen nachwachsender Rohstoffe in Kombination mit dem Verzicht auf Additive wirkt sich nicht nur positiv auf die CO₂-Bilanz aus, sondern erhöht auch die Akzeptanz durch die Endverbraucher in Anbetracht der Gesundheitsbelastungen, die von einigen Additiven ausgehen können. Die verwendeten Rohstoffe werden aus dem europäischen Raum, größtenteils aus Deutschland, bezogen, was enorme logistische Vorteile bietet und zusammen mit der geringeren Anzahl der benötigten Rohstoffe die Abhängigkeit von (markt)politischen Einflüssen drastisch verringert (Abb. 1).

Wasser und die Oberflächenspannung

Ganz im Sinne der Nachhaltigkeit werden lösemittelhaltige Systeme mehr und mehr von wasserverdünnbaren Lacken abgelöst. Auch in diesem Projekt soll der Lack auf wässriger Basis formuliert werden. Dies stellt eine Herausforderung dar, da Wasser aufgrund seiner hohen Oberflächenspannung Werkstoffoberflächen schlechter benetzt. Bei Wasserlacken kommen spezielle Verlaufsadditive zum Einsatz,

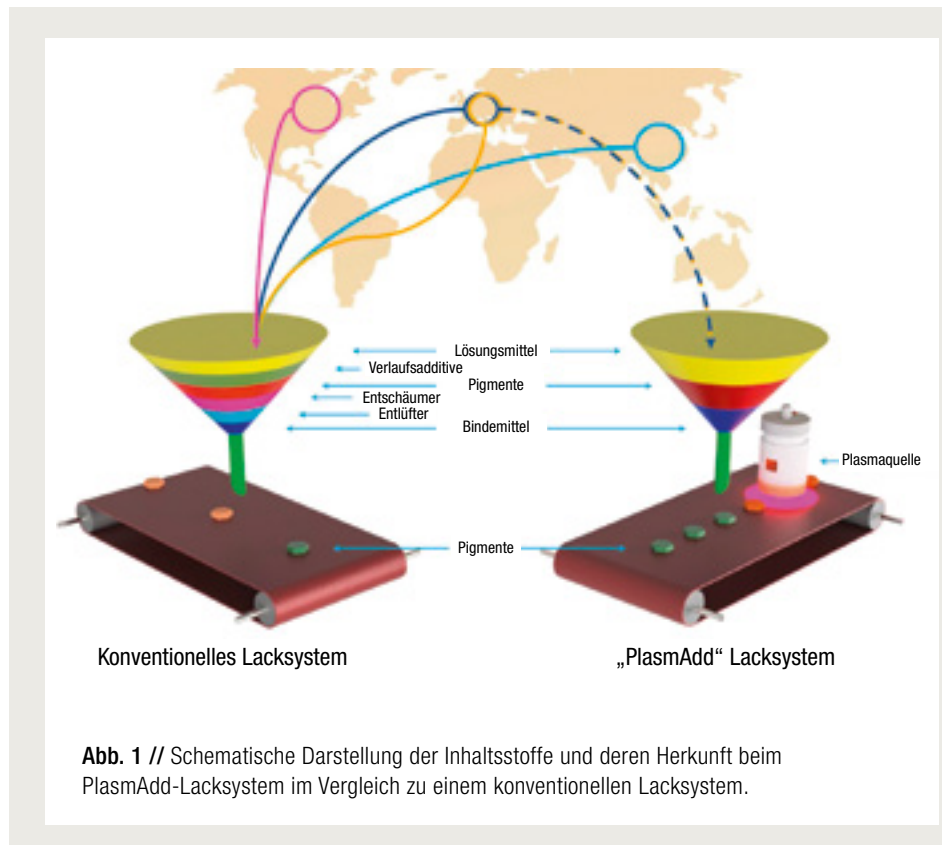


Abb. 1 // Schematische Darstellung der Inhaltsstoffe und deren Herkunft beim PlasmAdd-Lacksystem im Vergleich zu einem konventionellen Lacksystem.

sog. wetting agents, die die Oberflächenspannung des Lacks herabsetzen [1]. Es handelt sich dabei um Tenside, d. h. um Moleküle, die einen hydrophilen, polaren Teil und einen hydrophoben, unpolaren Kohlenwasserstoff-Rest besitzen und sich an der Grenzfläche so anordnen können, dass der hydrophile Teil mit dem wässrigen Beschichtungsstoff und der hydrophobe Teil mit der unpolaren Substratoberfläche oder der Luft interagiert [2]. Nachteilig ist dabei, dass es beim Einsatz von Tensiden verstärkt zur Schaumbildung kommt, die sowohl in der Lackherstellung als auch bei einigen Applikationstechniken unerwünscht ist.

Klassischerweise wird diesem Problem mit Entschäumern begegnet. Dabei werden Substanzen verwendet, die die Ausbildung der Tensid-Schicht der Schaumblasen stören. Dies kann zu Oberflächenstörungen wie Kraterbildung führen [3, 4].

Plasmabehandlung für polarere Holzoberflächen

Für eine gute Benetzung eines Substrats durch eine Flüssigkeit sollte der Kontaktwinkel möglichst klein sein. Ist die Oberflächenspannung der Flüssigkeit höher als die Oberflächenenergie

Ergebnisse auf einen Blick

- Plasma erzeugt hochreaktive Sauerstoffspezies, die sich an Oberflächen anlagern und polare funktionelle Gruppen ausbilden.
- Die Plasmabehandlung erhöht die Oberflächenenergie von Holz und Holzwerkstoffen, sodass auf Additive im Lack weitgehend verzichtet und so der ökologische Fußabdruck verkleinert werden kann.
- Die eingesetzten biobasierten Rohstoffe sind für Kinderspielzeug zugelassen.
- Das entwickelte System eignet sich für verschiedene Applikationsarten und ist wirtschaftlich attraktiv.

gie des Substrats, bildet die Flüssigkeit eine kleine Oberfläche aus und benetzt das Substrat nicht. Anders herum strebt die Substratoberfläche nach einer möglichst geringen Grenzfläche zur Luft – sie wird von der Flüssigkeit benetzt. Entscheidend ist also, dass das Substrat eine höhere Oberflächenenergie als die Flüssigkeit hat (Abb. 2). In der Regel wird dazu die Oberflächenspannung eines Lackes durch Verlaufsadditive (s. o.) entsprechend stark **herabgesetzt**. Im Gegensatz dazu sieht das Projekt-Konzept vor, die Oberflächenenergie des Werkstücks soweit zu **erhöhen**, dass sie größer ist als die Oberflächenspannung des Lackes. Dies gelingt durch eine Behandlung mit Plasma. Plas-

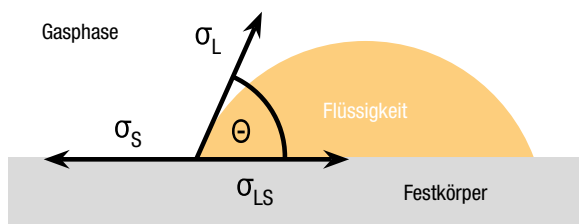


Abb. 2 // Benetzung, Kräftegleichgewicht an der Dreiphasengrenze.

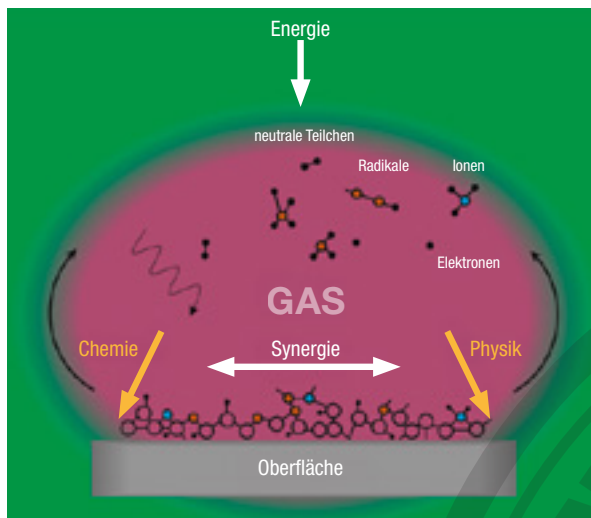


Abb. 3 // Schematische Darstellung der vielfältigen Prozesse innerhalb eines Plasmas und der daran beteiligten Komponenten.

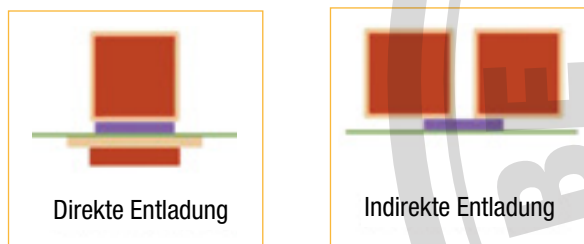


Abb. 4 // Prinzipskizzen der in Frage kommenden Entladungskonzepte (rot: Elektrode, gelb: Dielektrikum, grün: Behandlungsgut, lila: Plasma).

men kennzeichnen in der Physik ionisierte Gase und werden auch als vierter Aggregatzustand der Materie betrachtet. Technische Plasmen werden erzeugt, indem einem Gas z. B. elektrische Energie zugeführt wird, die Atome und Moleküle des Gases ionisiert. 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 (Abb. 3) [5, 6]. Das für die Modifikation von Holz und Holzwerkstoffen eingesetzte Plasma beruht auf dem Prinzip der dielektrisch behinderten Entladung (Dielectric Barrier Discharge, DBD). Durch Anlegen einer Hochspannung an die Elektroden entsteht im dazwischenliegenden Luftspalt ein elektrisches Feld, welches das Plasma zündet. Am Säulenpaar „Ohne Beize“ in Abb. 6 wird deutlich, dass die Plasmabehandlung unter Atmosphärendruck den polaren Anteil (grün dargestellt) der Oberflächenenergie von Holzoberflächen signifikant erhöht.

Ursache hierfür ist unter anderem eine Anlagerung funktioneller Gruppen an bestimmte Bestandteile des Holzes (Lignin, Hemicellulosen): Sauerstoff aus der Luft wird während der Plasmabehandlung an die Oberfläche angelagert, und es bilden sich beispielsweise polare Hydroxyl- und Carboxyl-Gruppen [7, 8].

Lackentwicklung

Der Markt für biobasierte Bindemittel ist überschaubar, bietet aber schon eine große Vielfalt. Alkydharz-Systeme weisen große Anteile nachwachsender Rohstoffe auf, müssen aber in der Regel mit Sikkativen formuliert werden. Sie werden beispielsweise aus Nebenprodukten der Holzindustrie hergestellt und konkurrieren meist nicht mit der Nahrungsmittelproduktion. Daneben gibt es auch stärkebasierte Produkte, die aus Kartoffelschalen gewonnen werden, sowie vereinzelt Acrylate und Hydroxy-funktionelle Bindemittel für 2K-PUR-Lacke. Sogar ein Isocyanathärter auf Pentamethylen-Diisocyanat (PDI)-Basis mit einem hohen Anteil biobasierten Kohlenstoffs steht zur Verfügung.

Die Bestimmung der Oberflächenspannung mittels Tensiometrie ist problematisch, da es sich bei Lacken um sehr komplexe Stoffgemische handelt. Der Fokus lag daher zunächst auf der Messung der Kontaktwinkel. Geprüft wurden die reinen Bindemittel, die auf einheitlich 30 % Festkörper-Anteil verdünnt wurden. Alkydsysteme wurden mit einem Fe-Katalysator getrocknet. Für die Versuche wurden rund 30 Bindemittel untersucht. Die Plasmavorbereitung sorgte hier jedoch nicht grundsätzlich für eine verbesserte Benetzung. Einige Produkte fielen außerdem durch starke Schaumbildung negativ auf, andere zeigten sich nicht ausreichend beständig gegenüber Schweiß, Speichel und Alkoholen. Eine kleine Auswahl wurde dann als Beize – in pigmentierter Form ohne Zugabe von Additiven – Applikationstests unterzogen. Als schützender, additivfreier Klarlack wurden ein 2K-PUR-System und ein Langöl-Alkyd getestet, welche sehr gute Beständigkeiten aufwiesen und zuvor auf den gebeizten Teilen die beste Performance gezeigt hatten. Vordergründig wurden die Holzteile im Trommelverfahren beschichtet.

Die Plasmabehandlung

Es gibt unterschiedliche Elektrodenkonfigurationen für eine Plasmaerzeugung. Für flächige Anwendung kommen grundsätzlich zwei mögliche Konfigurationen technisch in Frage: direkte DBD-Entladungen sowie koplanar angeordnete Gleitentladungen (indirekte Entladung). Randbedingungen, wie die Entladungsgeometrie, der Elektrodenabstand, die Dicke des Dielektrikums oder die notwendige Leistung, können einen signifikanten Einfluss auf die uniforme Behandlung des geometrisch komplexen Substrats haben. Geeignete Parameter wurden experimentell ermittelt. Eine direkte DBD-Entladung (Abb. 4, links) ist konstruktiv einfacher umzusetzen, allerdings durch die Dicke des Behandlungsgutes begrenzt. Im Falle von indirekten Entladungen (Abb. 4, rechts) ist die Behandlung von der Materialstärke unabhängig. Diese

Entladungsform ist allerdings in ihrer Skalierbarkeit begrenzter als eine direkte Entladung. Im Rahmen des Projekts wurde auf den patentierten Disc-Jet [9] zurückgegriffen, der beide Entladungsformen ermöglicht [10]. Das Funktionsmuster ist in Abb. 5 zu sehen.

Gebeizt und lackiert

Sieben Beizen – drei Alkyd-Bindemittel, ein Acrylat, eine Polyurethandispersion (PUD), ein stärkebasiertes Produkt sowie ein Hybrid-Bindemittel – standen in direktem Vergleich zum Standardprodukt. Der Standard wurde mit einer Polyvinylacetat (PVAc)-Dispersion formuliert. Mit Plasma vorbehandelte und unbehandelte Proben wurden gebeizt und der polare Anteil ihrer Oberflächenenergie verglichen (Abb. 6).

Nur bei Formulierung HY065 wiesen die Proben, die vor dem Auftragen der Beize mit Plasma vorbehandelt worden waren, einen signifikant höheren polaren Anteil der Oberflächenenergie auf. Das bedeutet, dass in diesem Fall für die anschließende Klarlackbeschichtung kein weiterer Behandlungsschritt erforderlich ist (Abb. 6). Für die Tauch- und Spritzapplikation sind alle getesteten Beizen grundsätzlich geeignet. Im Trommelverfahren konnte dagegen nur das Acrylat (AY064) überzeugen, die anderen Beizen rieben sich beim zweiten Trommelgang mit dem Klarlack ab (Tab. 1). Unter dem Mikroskop sind deutliche Unterschiede erkennbar (Abb. 7): Die schollenartige Struktur des Hybridbindemittels (HY065) erklärt die schlechte Abriebbeständigkeit. Die beiden Klarlack-Systeme sind für das Trommelverfahren geeignet. Dabei kamen ebenfalls keine Oberflächenadditive zum Einsatz. Abgesehen von einer langsameren physikalischen Trocknung des Alkyd-Lackes (AK023) ist die Qualität der Lackoberfläche beider Systeme mit entsprechenden Standard-Formulierungen vergleichbar (Tab. 1). In der Spritzapplikation sind Benetzungsprobleme visuell erkennbar, im Trommelverfahren im Verbrauch: Gebeizte Oberflächen mit geringer resultierender Oberflächenenergie (hier AY064) werden nicht ausreichend benetzt, wenn kein zusätzlicher Vorbehandlungsschritt erfolgt. Zusätzliche Klarlackschichten zur Erhöhung von Glanz und Beständigkeit sind möglich, wobei eine erneute Plasmabehandlung einen signifikanten Einfluss auf den Lackverbrauch haben kann (Tab. 2).

Blockfest oder nicht?

Zur Überprüfung der Blockfestigkeit wurden die Klarlacke zweischichtig mit Zwischenschliff auf Holzplatten aufgebracht. Je zwei Platten wurden mit der lackierten Seite zueinander gestapelt, beschwert und für 24 h bei 50 °C gelagert. Der 2K-PUR-Lack (OH068) zeigte sich blockfest, während der oxidativ trocknende Klarlack (AK023) in Kombination mit der Standard-Beize und der Versuchsbeize AY064 durch die

Tab. 1 // Vergleich der Bindemittel in der Trommelapplikation.

		Standard ohne Plasmavorbehandlung	HY065 mit Plasmavorbehandlung	AY064 mit Plasmavorbehandlung
1. Klarlack- schicht	Ahorn			
	Buche			
	Ahorn			
	Buche			
	Ahorn			
	Buche			
2. Klarlack- schicht	Ahorn			
	Buche			



Abb. 5 // Funktionsmuster mit Vereinzeler (rechts), kaskadisch angeordneten Förderbändern und jeweils in der Mitte platzierten Disc-Jet-Elektroden mit Prozessgaszuführung (gelb) und Absaugung.

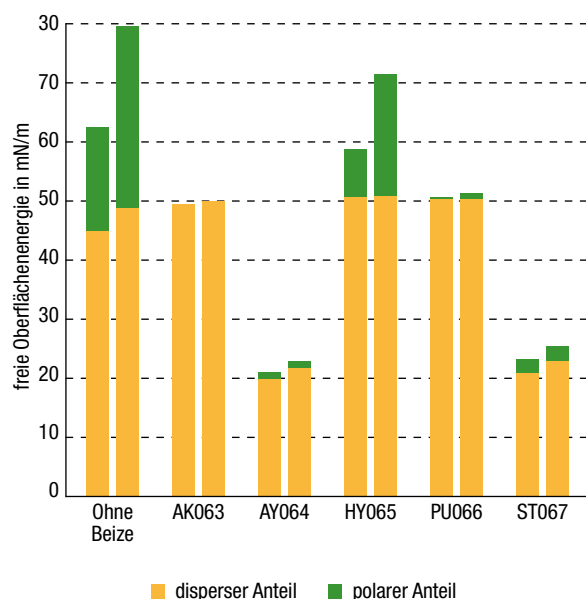


Abb. 6 // Vergleich der Oberflächenenergie von Holz mit verschiedenen Versuchsbeizen im Vergleich zur unbeizten Oberfläche. Jeweils links die unbehandelte Referenz, rechts die vor der Beschichtung mit Plasma behandelte Probe.

Druck- und Wärmebelastung zusammenklebt. Abb. 8 zeigt die beim Lösen der Platten beschädigten Oberflächen.

Beständig im Speicheltest

Die Beständigkeiten wurden anhand der getrommelten Teile bestimmt. Dazu wurden diese für 24 h in Speichelsimulanz eingelegt und anschließend die überstehende Lösung photometrisch vermessen. Die gemessene Extinktion ist eine dimensionslose, relative Größe für die Menge absorbierten Lichts. Gemäß dem Lambert-Beer-Gesetz ist die Extinktion proportional zur Konzentration gelöster farbiger Stoffe. Somit eignet sich die Photometrie zur Abschätzung der Beständigkeit der getesteten Versuchslacke gegenüber Flüssigkeiten. Die Messwerte streuen aufgrund der Inhomogenitäten im Holz sowie in der Beschichtung im Rahmen der Laborversuche stark, dennoch lässt sich ein Trend ablesen (Abb. 9): Beide Klarlacke scheinen die Oberfläche vergleichbar zum Standard zu versiegeln, wobei der 2K-PUR-Lack erwartungsgemäß eine bessere Beständigkeit aufweist als das Alkyd-System.

Ergiebigkeit variiert

Im Rahmen der Trommelapplikation wurden die Holzkleinteile zunächst in die Beize bzw. den Klarlack getaucht, überschüssiges Material abgegossen und anschließend in die Trommel gegeben. Durch Differenzwägung wurde der Verbrauch bestimmt (Tab. 2). Die Beizen haben eine vergleichbare Ergiebigkeit, die Klarlacke reagieren unterschiedlich auf Beize und Zwischenbehandlungen. Die Verbrauchsbestimmung ist insbesondere im Labormaßstab sehr fehleranfällig. Eine Einordnung der Ergebnisse gestaltet sich daher schwierig und bedarf noch einiger Versuche.

FARBEUNDLACK // BIBLIOTHEK



**Jetzt neu
und vollständig
überarbeitet!**

Handbuch der Bewitterung

Florian Feil

2., überarbeitete Auflage, erschienen in 2024
364 Seiten, 165 x 260 mm

erhältlich als

- gedrucktes Hardcover
- eBook

Jetzt
bestellen!



Handbuch der Bewitterung

Künstliche und natürliche Bewitterung an Beschichtungen

VON FLORIAN FEIL // 2., ÜBERARBEITETE AUFLAGE

Für zuverlässige Aussagen über die Lebensdauer und Beständigkeit von Beschichtungen sind Bewitterungsprüfungen von entscheidender Bedeutung.

Florian Feil teilt in diesem Buch sein umfangreiches Wissen und seine langjährige Erfahrung als Berater auf diesem Gebiet. Er erklärt die Faktoren, die zur Alterung von Beschichtungen führen und beschreibt detailliert die Bewitterungstechnologien im Freien und im Labor – ergänzt um zahlreiche Praxisbeispiele.

Das Handbuch versetzt Fachleute aus dem Bereich der Lackentwicklung in die Lage, geeignete Bewitterungsprüfungen auszuwählen und durchzuführen, um ihre Produkte optimal auf deren Einsatz vorzubereiten!



VINCENTZ

Tab. 2 // Lackverbrauch in g pro kg Holzkleinteile.

Beize	Klarlack	1. Schicht	2. Schicht
Standard ohne Plasmavorbehandlung	Alkyd	74	81
	2K-PUR	84	79
HY065 mit Plasmavorbehandlung	AK023	105	103 54 (mit Zwischenbehandlung)
	OH068	95	100 57 (mit Zwischenbehandlung)
AY064 mit Plasmavorbehandlung	AK023	67	52 85 (mit Zwischenbehandlung)
	OH068	74	80 81 (mit Zwischenbehandlung)

Preisvorteile zu erwarten

Auf Grundlage der Ergebnisse kommt AY064 als Beize für alle Applikationsformen in Betracht. Das Produkt weist einen Anteil von 35 % nachwachsender Rohstoffe auf und ist zudem preislich auf dem Niveau einer Standardbeize. Es stehen zwei Klarlacke zur Verfügung, die aufgrund der fehlenden Additive in der Rezeptur Preisvorteile bieten. Der Alkyd-Lack weist einen Anteil nachwachsender Rohstoffe von 64 %, das 2K-PUR-System einen Anteil von 43 % auf. Alle eingesetzten Rohstoffe erfüllen die Anforderungen der Spielzeugnorm EN 71-3. Die Anlagentechnik für die Vorbehandlung hat einen Gesamt-Stromverbrauch von ca. 0,11 kWh pro kg Holzkleinteile pro Durchgang. Im Scale-up ist mit einer Reduktion der Stromkosten zu rechnen, womit die Kosten der Plasma-Vorbehandlung sehr gering sind.

Auf dem Weg zur Marktreife

Das PlasmAdd-System befindet sich derzeit im TRL-5-Stadium (TRL: Technology Readiness Levels). TRLs, auf Deutsch Technologie-Reifegrade, dienen der Bewertung des technischen Fortschritts während einer Entwicklung und reichen von der Grundlagenforschung (TRL 1) bis zur Marktreife (TRL 9). Für den industriellen Einsatz werden größere und effizientere Vorbehandlungsanlagen benötigt. Das Skalieren birgt einige Herausforderungen in der Verfahrenstechnik, auf die in Folgeprojekten eingegangen werden sollen. Lackseitig liegt in Zukunft ein besonderes Augenmerk auf den Trocknungseigenschaften, welche durch Abmischung mit verschiedenen Bindemitteln wie z.B. Acrylaten verbessert werden können. Zusätzlich gilt es, den Markt im Blick zu behalten und auf Neuerungen im biobasierten Sektor zu reagieren. Hier

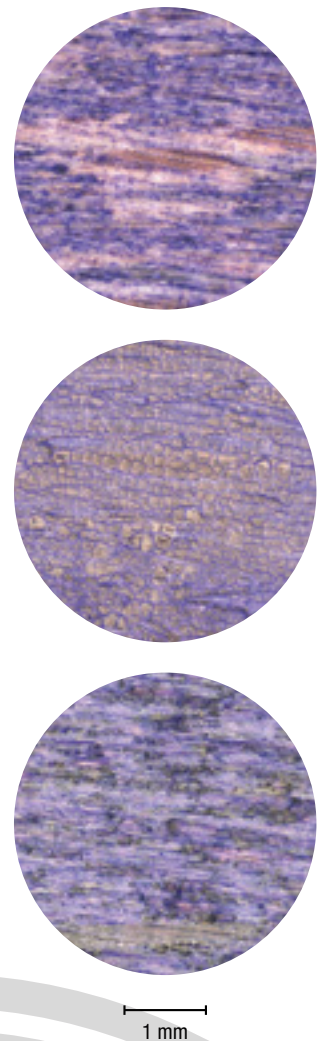
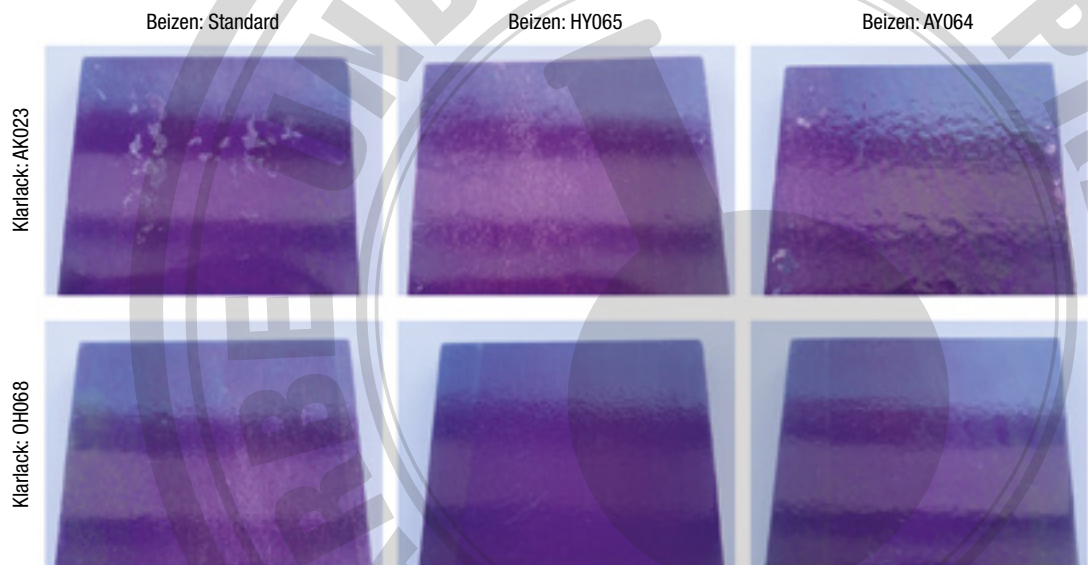


Abb. 7 // 3D-Mikroskopaufnahmen gebeizter Buchenplatten im Vergleich bei 500-facher Vergrößerung. Standardbeize, HY065, AY064 (v.o.n.u.).

Abb. 8 // Klarlackbeschichtungen nach dem Blocktest. Beizen (v.l.n.r.): Standard, HY065, AY064. Klarlack: Oben AK023, unten OH068.



gibt es bereits Ansätze, Pflanzenöle als Aerosol in das generierte Plasma einzuspeisen, um biomimetische Schichtsysteme auf Holzoberflächen abzuscheiden, die als potenzielle Haftvermittler für Lacksysteme oder als antibakterielle oder hydrophobe Barriere fungieren können.

Danksagung

Das Projekt wurde von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) gefördert (Az.: 38039/01). Ein herzliches Dankeschön geht außerdem an die Mitarbeiter:innen der HAWK und der Firma Zuelch, die uns mit Rat und Tat zur Seite standen. Ebenfalls bedanken wir uns bei der Technischen Universität Clausthal für die freundliche Unterstützung in der Analytik.

Kontakt // menacher@zuelch.de,
martin.bellmann@hawk.de

Literatur

- [1] <https://www.l-i.co.uk/knowledge-centre/what-is-the-difference-between-a-wetting-agent-and-a-levelling-agent/>,
zugegriffen am 08.04.2025
- [2] Beck, R.: Physikalische Eigenschaften anionischer Tensidsysteme mit zweiwertigen Gegenionen und ihre Mischungen mit zwitter-ionischen Tensiden und Coten-siden(Dissertation, PDF). In: uni-bayreuth.de, 2004,
zugegriffen am 08.04.2025
- [3] Heilen, W., et al.: Additive für wässrige Lacksysteme, 2013, Vincentz Network, Hannover

- [4] Goldschmidt, A., Streitberger, H.J.: BASF-Handbuch Lackiertechnik, 2002, Vincentz
- [5] Hippler, R.: Low temperature plasma physics: fundamental aspects and applications, 2001, Wiley-VCH, Berlin
- [6] Janzen, G.: Plasmatechnik: Grundlagen, Anwendungen, Diagnostik, 1992, Huethig
- [7] Klarhofer, L., Viol, W., Maus-Friedrichs, W.: Electron spectroscopy on plasma treated lignin and cellulose, Holz-forschung, 2010, 64(3), 331-336
- [8] 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), 52-60
- [9] Patent Disc-Jet: Bellmann, M., Ochs, C., Harms, M., Viöl, W.: WO 2017/157975, 2017
- [10] Bellmann, M., Loesch-Zhang, A., Möck, D.M.J., Appelt, J., Geissler, A., Viöl, W.: Plasma Process Polym. 2024, 21, 202300224

Mehr zum Thema!



SAMUEL MENACHER

studierte Chemie an der TU Clausthal und arbeitet seit 2022 bei Zuelch in der Abteilung für Entwicklung und Anwendungstechnik. Er beschäftigt sich neben der Projektarbeit und dem Tagesgeschäft mit den Themen Diisocyanate und Ableitfähigkeit.



RICHARD WASCHER

studierte an der HAWK Wirtschaftsingenieurwesen und Präzisionsmaschinenbau. Seit 2006 ist er dort an der Fakultät Naturwissenschaften und Technik als wissenschaftlicher Mitarbeiter tätig und befasst sich u. a. mit der Oberflächenmodifikation durch Atmosphärendruck-Plasma sowie der Förderantragstellung für verschiedene Projekte.



MARTIN BELLMANN

absolvierte sein Studium im Bereich Präzisionsfertigungstechnik und -maschinenbau an der HAWK und ist dort seit 2007 als wissenschaftlicher Mitarbeiter tätig. Er arbeitet auf dem Gebiet der Oberflächenmodifikation durch Atmosphärendruck-Plasma, formuliert Förderanträge und erstellt Projektdokumentationen.



RINAT ORTMANN

ist Präzisionsmaschinenbauer und seit 2017 an der HAWK als wissenschaftlicher Mitarbeiter beschäftigt. Er ist auf die Konstruktion von Plasmaquellen spezialisiert und verfügt über umfangreiche Kenntnisse in der Prozessoptimierung und Durchführung präziser Messungen.



HENRIK WERNER

studierte Maschinenbau an der HAWK und ist dort seit 2018 als wissenschaftlicher Mitarbeiter im Bereich Laser- und Plasmatechnik tätig. Er beschäftigt sich vorwiegend mit Anlagenbau und Plasmaquellenentwicklung.

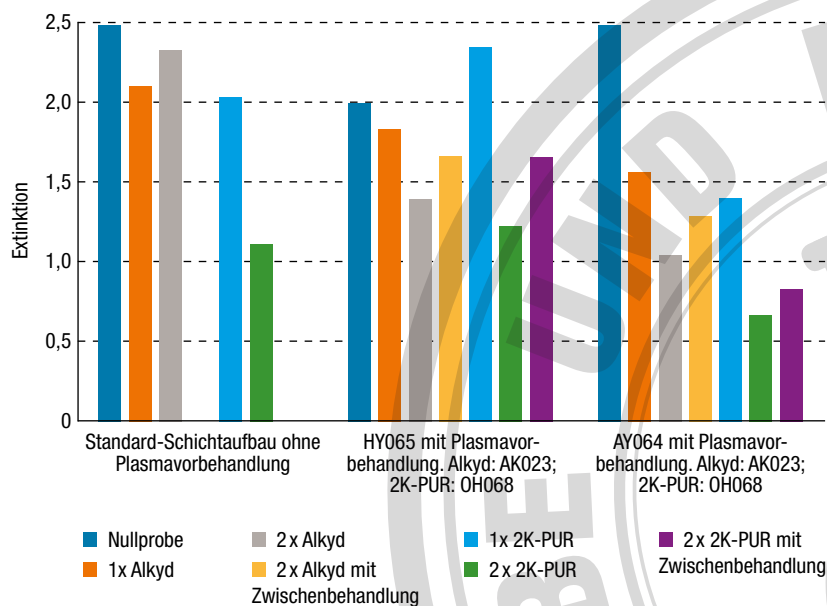
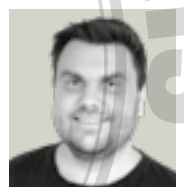


Abb. 9 // Entwicklung der Beständigkeit mit Klarlack-Überzug. Je mehr farbige Bestandteile aus der Beize bzw. aus dem Holz herausgelöst wurden, desto höher die Extinktion.