

# Verbesserung der Spanplatteneigenschaften durch Veränderung der Leimverteilung mittels Plasmabehandlung des Holzes

Daniela Altgen

HOLZ



# Verbesserung der Spanplatteneigenschaften durch Veränderung der Leimverteilung mittels Plasmabehandlung des Holzes





# **Verbesserung der Spanplatteneigenschaften durch Veränderung der Leimverteilung mittels Plasmabehandlung des Holzes**

---

Dissertation

zur Erlangung des mathematisch-naturwissenschaftlichen Doktorgrades  
„Doctor rerum naturalium“  
der Georg-August Universität Göttingen

im Promotionsprogramm “Holzbiologie und Holztechnologie”  
der Georg-August University School of Science (GAUSS)

vorgelegt von  
**Daniela Altgen**  
aus Ulm

Göttingen, 2019



### **Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliographische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

1. Aufl. - Göttingen: Cuvillier, 2020

Zugl.: Göttingen, Univ., Diss., 2019

© CUVILLIER VERLAG, Göttingen 2020

Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen

Telefon: 0551-54724-0

Telefax: 0551-54724-21

[www.cuvillier.de](http://www.cuvillier.de)

Alle Rechte vorbehalten. Ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages ist es nicht gestattet, das Buch oder Teile daraus auf fotomechanischem Weg (Fotokopie, Mikrokopie) zu vervielfältigen.

1. Auflage, 2020

Gedruckt auf umweltfreundlichem, säurefreiem Papier aus nachhaltiger Forstwirtschaft.

ISBN 978-3-7369-7148-6

eISBN 978-3-7369-6148-7



*Meiner Familie*





## Mitglieder der Prüfungskommission

1. Gutachter: **Prof. Dr. Carsten Mai**, Abteilung Holzbiologie und Holzprodukte, Burckhardt Institut, Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie, Georg-August-Universität Göttingen, Deutschland
2. Gutachter: **Jr. Prof. Dr. Kai Zhang**, Juniorprofessur Holztechnologie und Holzchemie, Burckhardt Institut, Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie, Georg-August-Universität Göttingen, Deutschland

**Prof. Dr. Ursula Kües**, Molekulare Holzbiotechnologie und technische Mykologie, Büsgen-Institut, Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie, Georg-August-Universität Göttingen, Deutschland

**PD Dr. Christian Brischke**, Abteilung Holzbiologie und Holzprodukte, Burckhardt Institut, Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie, Georg-August-Universität Göttingen, Deutschland

**PD Dr. Markus Euring**, Arbeitsgruppe Chemie und Verfahrenstechnik von Verbundwerkstoffen, Büsgen-Institut, Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie, Georg-August-Universität Göttingen, Deutschland

Tag der mündlichen Prüfung: 17 September 2019





## Danksagung

Diese Arbeit entstand im Rahmen meiner wissenschaftlichen Tätigkeit an der Abteilung Holzbiologie und Holzprodukte der Georg-August-Universität. Ohne die Hilfe und Unterstützung verschiedener Personen hätte sie in dieser Form nicht realisiert werden können. Dafür möchte ich mich bedanken.

Meinem Doktorvater Prof. Dr. Carsten Mai möchte ich mich herzlich für die Betreuung meiner Arbeit, sowie für die große Unterstützung beim Verfassen der einzelnen Publikationen bedanken. Ebenso danke ich Prof. Dr. Holger Militz für die vielen konstruktiven Anregungen während meiner Zeit an der Abteilung. Ferner danke ich Jr.-Prof. Dr. Kai Zhang für die Übernahme des zweiten Gutachtens.

Mein besonderer Dank gilt auch den Kollegen und Kolleginnen der Abteilung Holzbiologie und Holzprodukte, die ein angenehmes Arbeiten in einer hilfsbereiten Atmosphäre ermöglichen haben. Georg Avramidis, Richard Wascher und Martin Bellmann aus der HAWK möchte ich für die Unterstützung bei der Plasmabehandlung danken. Gerade die Behandlung der Späne erwies sich als besondere Herausforderung, die ohne die kontinuierliche Verbesserung der Behandlungsanlage nicht realisiert worden wäre. Ferner möchte ich mich herzlich bei Warren Grigsby von Scion für die Hilfe bei der Herstellung des angefärbten UF Leimes, die vielen wertvollen Diskussionen zur Analyse der Leimverteilung innerhalb von Spanplatten, sowie die freundliche Aufnahme während meines Aufenthalts in Rotorua bedanken. Besonderer Dank gilt auch Lauri Rautkari, der mir und meiner Familie einen enormen Rückhalt beim Start unseres Finnland Abenteuers gegeben hat. Dem „Buena vista Paperclub“ mit André Klüppel, Benedikt Hünnekens, Bernd Lütke-meier, Kim Krause und Michael Altgen möchte ich für die vielen anregenden Diskussionen und die unterhaltsamen Mittagessen danken. Ich schaue außerdem gerne auf die tolle Stimmung in unserem „Plasma-Büro“ zurück, die ich mit Benedikt Hünnekens und Patricia Gascón-Garrido genießen durfte.

Ich möchte mich auch für den andauernden Rückhalt bei meinen Eltern und Schwiegereltern bedanken. Mit ihnen im Hintergrund war Vieles einfacher. Papa, wenn auch nicht physisch, du warst auf diesem Weg immer dabei. Mein größter Dank gilt meinem Mann Michael, der mir immer eine unermüdliche Stütze gewesen ist, der mich nach jedem Rückschlag aufbaut und sich dafür mit mir über jeden Erfolg umso mehr gefreut hat.



## Zusammenfassung

Die vorliegende Doktorarbeit untersuchte den Einfluss einer Plasmabehandlung von Holzspänen auf die Eigenschaften daraus hergestellter Spanplatten. Dabei wurde die Hypothese getestet, dass eine erhöhte Benetzbarkeit plasmabehandelter Späne die Leimverteilung innerhalb der Spanplatte optimiert und dadurch mechanische und hygroskopische Eigenschaften verbessert.

Im ersten Schritt wurde der Effekt der Plasmabehandlung auf die Benetzungseigenschaften von Vollholz- und Furnierholzoberflächen unterschiedlicher Holzarten evaluiert. Dabei wurden auch thermisch modifizierte Varianten getestet, um den Einfluss der Plasmabehandlung auf deutlich hydrophobe Holzoberflächen zu evaluieren. Neben der Ermittlung des Kontaktwinkels und der Oberflächenenergie, wurden auch chemische und rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen durchgeführt. Die Plasmabehandlung der verschiedenen Holzoberflächen bewirkte eine Hydrophilierung der Oberfläche – die Kontaktwinkel mit Wasser wurden reduziert, der polare Anteil der Oberflächenenergie wurde verstärkt und Sauerstoffgruppen wurden auf der Holzoberfläche angereichert. Thermisch modifiziertes Holz erreichte nach der Plasmabehandlung ähnliche Benetzungseigenschaften wie die plasmabehandelten Referenzen, die Plasmabehandlung führte also zu einer Homogenisierung der Benetzbarkeit. Als mögliche Ursachen für diesen deutlichen Effekt der Plasmabehandlung wurde die hohe Reaktivität des Plasmas mit dem erhöhten Anteil an Lignin und aromatischen Abbauprodukten im thermisch modifizierten Holz vermutet. Die gewählten Einstellungen der Plasmabehandlung führten zu keinen ausgeprägten morphologischen Veränderungen der Holzoberfläche und die Effekte der Plasmabehandlung waren auch nach 27 Tagen mittels Kontaktwinkelmessungen noch nachweisbar. Insgesamt reagierten Buche und Fichte besonders gut auf die Plasmabehandlung. Daher wurden diese Holzarten für die Plasmabehandlung der Späne ausgewählt.

Die Plasmabehandlung verbesserte auch die Benetzungseigenschaften der Holzoberfläche mit wasserbasiertem Harnstoff-Formaldehyd (UF-) Leim. Neben Kontaktwinkelmessungen mit UF-Leim auf Furnierholzproben konnte eine verbesserte Ausbreitung der Leimtropfen mittels Fluoreszenzmikroskopie auch auf Holzspänen nachgewiesen werden. Bei niedrigen Beleimungsgraden (unter ca. 5 %) wirkte sich die verbesserte Benetzung des UF-Leimes auf plasmabehandelten Spänen positiv auf die mechanischen (Querzugfestigkeit, Biegefestigkeit, Elastizitätsmodul) und hygroskopischen (Wasseraufnahme, Quellung) Eigenschaften der daraus hergestellten Spanplatten aus. Bei hohen Beleimungsgraden (über ca. 5 %) wurden lediglich die Querzugfestigkeit verbessert.

Mittels konfokaler Laser-Scanning-Mikroskopie wurden Unterschiede in der Leimverteilung innerhalb von Spanplatten evaluiert. Dabei konnte für alle hergestellten Spanplatten eine größere Anzahl kleiner Leimflächen in den höher verdichteten Außenflächen der Platte nachgewiesen werden, während der Leim in Plattenmitte hingegen eher in Form von wenigen größeren Flächen vorlag. Durch die Erhöhung des Leimanteils nahm zwar die Gesamtflä-



che des Leimes in der Platte zu, aber die Leimfläche wurden zunehmend durch größere Tropfen repräsentiert. Die Plasmabehandlung der Späne verschob die Leimflächenverteilung tendenziell zu niedrigen Flächengrößen. Es wurde geschlussfolgert, dass die verbesserte Benetzung plasmabehandelter Späne die Entstehung zusätzlicher Klebeflächen förderte, und dadurch die Verteilung der Klebeflächen innerhalb der Spanplatte verbesserte. Neben der stärkeren Ausbreitung der Leimfläche auf den plasmabehandelten Spänen während der Sprühbeimung, wurde in der Arbeit auch die Möglichkeit einer Intensivierung des Wischefecktes während der Beimung diskutiert. Es ist davon auszugehen, dass sich dieser positive Effekt der Plasmabehandlung vor allem in der weniger komprimierten Plattenmitte auswirkte, da die stärkere Kompression der Späne in den hoch verdichteten Außenflächen auch ohne Plasmabehandlung bereits eine effektive Verteilung des Leimes bewirkte. Dies erklärt weshalb sich die Plasmabehandlung im Besonderen auf die Quersugsfestigkeit auswirkte.

Die Ergebnisse der Arbeit zeigen, dass die Plasmabehandlung von Spänen sowohl als Methode zur Untersuchung der Struktur-Eigenschaftsbeziehung von Spanplatten herangezogen werden kann, aber potentiell auch auf industriellem Maßstab den Einsatz von stark hydrophoben und/oder gealtertem Holz in der Spanplatte verbessern kann.



## Abstract

This thesis investigated the impact of a plasma treatment of wood particles on the properties of particleboards. The research work was based on the hypothesis that an enhanced wettability of plasma treated particles optimizes the resin distribution within particleboards to enhance their mechanical and hygroscopic properties.

In a first step, the effects of the plasma treatment on wettability were evaluated on solid wood and wood veneers of different wood species. In addition to unmodified wood samples, thermally modified wood samples were tested to analyze the effects of the plasma treatment on hydrophobic wood surfaces. Besides contact angle measurements and the evaluation of the surface free energy, the chemical composition and the morphology of the surface was also investigated. The plasma treatment created a more hydrophilic wood surface – the water contact angle was reduced, the polar part of the surface free energy was enhanced and oxygen containing groups on the wood surface were created. Plasma treated and thermally modified wood reached a similar wettability as the plasma treated reference samples. Therefore, it was concluded that the plasma treatment led to a homogenisation of the wood surface wettability. It was suggested that the strong plasma effect on thermally modified wood was caused by the high reactivity of the plasma treatment with the accumulated lignin and the deposits of aromatic degradation products at the surface of thermally modified wood. The parameters for the plasma treatment that were applied in this study did not cause any notable morphological change on the wood surface and the plasma effect could still be evidenced by contact angle measurements after 27 days. The plasma treatment was particularly effective on beech and spruce wood. Therefore, these species were selected for the plasma treatment of wood particles.

The plasma treatment also improved the wettability of the wood by the water based urea-formaldehyde (UF) resin. Besides a decreased contact angle and an increased spreading of UF resin on wood veneers, an increased wetting of UF resin was also evidenced on wooden particles after plasma treatment. The wettability caused an improvement in mechanical (internal bond strength, bending strength, elasticity modulus) and hygroscopic (water uptake, swelling) properties. When low resin contents (below ca. 5 %) were used for particleboard production. When higher resin contents (above ca. 5 %) were used, the improvement of properties was limited to the internal bond strength.

Confocal laser scanning microscopy was applied to study changes in resin distribution within particleboards. It was demonstrated for all produced particleboards that the resin was represented by a large number of small resin spots in high-density regions near the particleboard surfaces, whereas fewer and bigger resin spots were found in the low density region in the middle of the boards. When the resin content in the boards was increased, the detected amount of resin increased as well, but the total resin area was represented by larger resin spots. The plasma treatment had the tendency to shift the resin area distribution towards smaller resin spots. It was concluded that the enhanced wettability of the plasma



treated wood particles promoted the formation of additional bonding areas, and is therefore improving the distribution of bonding areas within the particleboard. Besides the enhanced spreading of the resin on plasma treated particles during the spraying of resin, the possibility of an intensified rubbing effect during the resin application was also discussed in the thesis. It was assumed that this positive effect of the plasma treatment had a particularly strong effect on the resin distribution within the less compressed areas in the middle of the particleboards, because the stronger compression of particles near the board surfaces enhanced the resin distribution effectively even if no plasma treatment was applied. This explains why the plasma treatment is particularly effective in improving the internal bond strength of particleboards.

The results of this thesis show that the plasma treatment wood particles can be used as a method to study the structure-properties relations of particleboards, but might also be a potential method to improve the properties of particleboards on industrial scale if hydrophobic and/or aged wood resources are to be used.

