

Engehausen, Nick; Benthien, Jan T.; Lüdtkke, Jan

Working Paper

Voruntersuchungen zur Integration einer 3D-Spanvermessung in den Spanplattenprozess

Thünen Working Paper, No. 210

Provided in Cooperation with:

Johann Heinrich von Thünen Institute, Federal Research Institute for Rural Areas, Forestry and Fisheries

Suggested Citation: Engehausen, Nick; Benthien, Jan T.; Lüdtkke, Jan (2023) : Voruntersuchungen zur Integration einer 3D-Spanvermessung in den Spanplattenprozess, Thünen Working Paper, No. 210, Johann Heinrich von Thünen-Institut, Braunschweig, <https://doi.org/10.3220/WP1679988313000>

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/273340>

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.

Voruntersuchungen zur Integration einer 3D-Spanvermessung in den Spanplattenprozess

Nick Engehausen, Jan T. Benthien, Jan Lüdtko

Thünen Working Paper 210

Nick Engehausen, Jan T. Benthien, Jan Lüdtké
Thünen-Institut für Holzforschung
Leuschnerstraße 91
21031 Hamburg
Telefon: +49 (0)40 73962 {-608, -652, -602}
Email: {nick.engehausen, jan.benthien, jan.luedtke}@thuenen.de

Thünen Working Paper 210

Braunschweig/Germany, März 2023

Zusammenfassung

Der Einfluss der Spangeometrie, insbesondere der Spandimensionen auf die Eigenschaften von Spanplatten ist bisher nur in Ansätzen erforscht, was in erster Linie auf das Fehlen einer zuverlässigen Methode zur Spanvermessung zurückzuführen ist. Mit der Entwicklung des „3D Particleview“ steht Praxis und Forschung seit Anfang 2020 nun ein Laborgerät zur Verfügung, mit dem sich automatisiert die Spanabmessungen sowie die Spanoberfläche und das Spanvolumen umfangreicher Spanproben bestimmen lassen. Die Kernkomponente des Messgerätes ist ein Laser-Profilesensor, der nach dem Prinzip der Lasertriangulation arbeitet.

Aufgrund der Neuheit der 3D-Spanvermessung mit Laser-Profilesensoren ist es Ziel dieser Arbeit, Details der Technologie zu erklären und die Ergebnisse von Grundlagenversuchen anhand industrieller Spanfraktionen als Wegweiser für weitere Untersuchungen darzustellen und zu diskutieren. Der Schwerpunkt liegt hierbei auf

- der vergleichenden Betrachtung von anzahl- und volumengewichtetem Mittelwert,
- dem Einfluss der Montagehöhe des Laser-Profilesensors auf die Messergebnisse,
- der experimentellen Untersuchung des nötigen Stichprobenumfangs und
- der Dokumentation von Veränderungen der Spandimensionen im Prozess.

Weiter wird auf Basis der „Goldenen Regel der Messtechnik“ gezeigt, dass die Auflösung bei der Spanvermessung mindestens $1/10$, im „äußersten Fall“ $1/5$, der kleinsten erwarteten Abmessung betragen soll. Für die Beurteilung der Plausibilität von Messergebnissen wird die aus Probeneinwaage und dem von der Sensorsoftware ausgegebenen Gesamtvolumen bestimmte Dichte vorgeschlagen. Als plausibel sind hierbei Messwerte anzusehen, bei denen die berechnete Dichte im Bereich der Holzarten liegen, die für die Herstellung der Spanplatte eingesetzt wurden. Sollen für den Plattenaufbau repräsentative Kennwerte bestimmt werden, bietet sich die volumengewichtete Mittelwertbildung an, bei der (größere) Späne entsprechend ihres Volumenanteils (stärker) zum Mittelwert der betrachteten Spandimension beitragen. Anhand der vergleichenden Vermessung industrieller Deck- und Mittelschichtfraktionen wird gezeigt, dass die Sensorauflösung bei Standardmontagehöhe für die Vermessung von Deckschichtspänen unzureichend ist und nur für Mittelschichtspäne plausible Werte erfasst werden können. Eine theoretisch erzielbare Auflösungserhöhung durch Verringerung der Montagehöhe des Sensors konnte anhand der Messergebnisse nicht bestätigt werden. Weiter wird am Beispiel einer industriellen Mittelschichtfraktion gezeigt, wie sich experimentell der nötige Stichprobenumfang für eine repräsentative Kennwertbildung bestimmen lässt. Gezeigt wurde auch, dass die Spandimensionen im Prozess ständigen Veränderungen unterliegen, die sich im gezeigten Beispiel (über Tage, Stunden und Minuten) auf ca. $\pm 10\%$ belaufen. Basierend auf einer kritischen Diskussion der eigenen Versuchsansätze werden Optimierungsvorschläge für Folgeversuche gegeben.

Keywords: Spanplatte, Partikelgrößenanalyse, Spanvermessung, 3D Laser-Profilesensor, GreCon 3D Particleview

Abstract

The influence of particle geometry, in particular the particle dimensions, on the properties of particleboard has so far been insufficiently investigated, which is primarily due to the lack of a reliable method for particle measurement. With the development of the "3D Particleview", a laboratory device is now available to practice and research since the beginning of 2020, with which the particle dimensions as well as the particle surface and volume of extensive samples can be determined automatically. The core component of the measuring device is a laser profile sensor that works according to the principle of laser triangulation.

Due to the novelty of 3D particle measurement with laser profile sensors, the aim of this work is to explain details of the technology and to present and discuss the results of basic investigations using industrial particle fractions as a guide for further investigations. The focus is on

- the comparative analysis of number-weighted and volume-weighted mean values,
- the influence of the mounting height of the laser profile sensor on the measurement results,
- the experimental investigation of the necessary sample size and
- the documentation of variations of the particle dimensions in the process.

Based on the "Golden Rule of Metrology" it is shown that the resolution in particle measurement should be at least $1/10$, in the "extreme case" $1/5$, of the smallest expected dimension. To assess the plausibility of measurement results, the density determined from the sample weight and the total volume output by the sensor software is used. Here, measured values are considered plausible if the calculated density is in the range of the wood species used for the production of particleboard. If representative mean values for the board structure are to be determined, volume-weighted averaging is suitable, in which (coarser) particles contribute (more) to the mean value of the particle dimension under consideration according to their volume share. Based on the comparative measurement of industrial surface and core layer fractions, it is shown that the sensor resolution at standard mounting height is insufficient for the measurement of surface layer particles and that plausible values can only be recorded for core layer particles. A theoretically achievable increase in resolution by reducing the mounting height of the sensor could not be confirmed on the basis of the measurement results. Furthermore, the example of an industrial core layer fraction shows how the necessary sample size for a representative mean value formation can be determined experimentally. It was also shown that the particle dimensions are subject to constant fluctuations in the process, which amount to approx. $\pm 10\%$ (over days, hours and minutes) in the example shown. Based on a critical discussion of the own experimental approaches, optimization suggestions for follow-up investigations are given.

Keywords: particleboard, particle size analysis, particle measurement, 3D laser line profile sensor, GreCon 3D Particleview

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	I
Abstract	II
1 Zum Dokument	1
2 Vorüberlegungen zur 3D-Spanvermessung mit Laser-Profilsensoren	2
2.1 Methoden zur Spanvermessung	2
2.2 3D-Spanvermessung im Prozess	2
2.3 Messaufgabe	3
2.4 Leistungsmerkmale von 3D Laser-Profilsensoren	4
2.5 Messmittelauswahl	6
2.6 Indikatoren für eine ungenügende Sensorauflösung	6
2.7 Unter praktischen Gesichtspunkten erforderliche Sensorauflösung	7
2.8 Kennwert als Ergebnis der Spanvermessung	7
3 Praktische Versuche	8
3.1 Einheitlich eingesetztes Material und angewendete Methoden	8
3.1.1 Spanmaterial	8
3.1.2 Spanvermessung mit dem 3D Particleview	8
3.1.3 Berechnung der Holzdichte der Späne	8
3.1.4 Bestimmung der Schüttdichte	8
3.1.5 Bestimmung der spezifischen Spananzahl	9
3.2 Vergleichende Betrachtung von anzahl- und volumengewichtetem Mittelwert	10
3.2.1 Idee und Arbeitshypothesen	10
3.2.2 Datengrundlage	10
3.2.3 Ergebnisse & Diskussion	10
3.3 Einfluss der Montagehöhe des Laser-Profilsensors	12
3.3.1 Idee und Arbeitshypothese	12
3.3.2 Datengrundlage	12
3.3.3 Ergebnisse & Diskussion	13
3.4 Untersuchungen zum nötigen Stichprobenumfang bei der 3D Spanvermessung	16
3.4.1 Idee und Arbeitshypothese	16
3.4.2 Datengrundlage	17
3.4.3 Ergebnisse & Diskussion	17
3.5 Veränderung der Spandimensionen im Prozess	20
3.5.1 Idee und Arbeitshypothese	20
3.5.2 Datengrundlage	20
3.5.3 Ergebnisse & Diskussion	21
4 Fazit	24
Literaturverzeichnis	IV
Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	VI

1 Zum Dokument

Die im vorliegenden Dokument zusammengestellten Ergebnisse von Vorversuchen wurden im Rahmen des Forschungsvorhabens mit dem Titel

Dreidimensionale Partikelvermessung und Prozessintegration in die Spanplattenherstellung

ermittelt, das unter dem Kurztitel **3VER** (Förderkennzeichen **2220HV090X**) vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL), Bonn, im Zeitraum vom 1. Dezember 2021 bis 30. November 2024 gefördert wird.

Das Forschungsvorhaben ist eine Zusammenarbeit des Thünen-Instituts für Holzforschung, der Pfeleiderer GmbH & Co. KG, Neumarkt, und Fagus-GreCon Greten GmbH & Co. KG, Alfeld. Von Seiten des Thünen-Instituts ist Herr Dr. Jan Lüttke bzw. Herr Nick Engehausen, von Seiten Pfeleiderers Herr Carsten Kowalski und von Seiten GreCons Herr Dr. Torben Marhenke für die Projektdurchführung verantwortlich.

Im Projekt wurden grundsätzliche Überlegungen zur Integration von 3D-Spanvermessung in den Spanplattenprozess angestellt und verschiedene Vorversuche durchgeführt. Für die Dokumentation der Ergebnisse im Sinne des Forschungsdatenmanagements werden diese im vorliegenden Dokument verschriftlicht. Hierbei werden zunächst Vorüberlegungen zur 3D-Spanvermessung mit Laser-Profilsensoren dargestellt sowie weitere Details der Technologie und wichtige Leistungsmerkmale erklärt und diskutiert. Als wesentlicher Kern des Dokumentes werden dann die Ergebnisse praktischer Vorversuche vorgestellt, denen ein Kapitel zu über alle Vorversuche einheitlich verwendeten Materialien und angewendeten Methoden vorgeschaltet ist. Hierbei liegt der Schwerpunkt auf

- der vergleichenden Betrachtung von anzahl- und volumengewichtetem Mittelwert,
- dem Einfluss der Montagehöhe des Laser-Profilsensors auf die Messergebnisse,
- der experimentellen Untersuchung des nötigen Stichprobenumfangs und
- der Dokumentation von Veränderungen der Spandimensionen im Prozess.

Die gewählten Versuchsansätze und Ergebnisse werden diskutiert und basierend hierauf Optimierungsvorschläge für Folgeversuche und den weiteren Projektverlauf abgeleitet.

2 Vorüberlegungen zur 3D-Spanvermessung mit Laser-Profilsensoren

Die im Folgenden ausgeführten Aspekte sind eine komprimierte Darstellung eines im Holz-Zentralblatt (DRW-Verlag Weinbrenner GmbH & Co. KG, Leinfelden-Echterdingen) veröffentlichten Artikels (Benthien et al. 2022) und dienen der thematischen Einleitung der Vorversuche.

2.1 Methoden zur Spanvermessung

Wenngleich die Spangeometrie ein entscheidender Faktor für die mechanischen Eigenschaften (Dunky und Niemz 2002) von Spanplatten ist und maßgeblich die Effizienz des eingesetzten Bindemittels bestimmt, wird diese im Spanplattenprozess bislang nur sporadisch, mit hohem Zeitaufwand und begrenztem Informationsgehalt erfasst. Viele der bestehenden Verfahren zur Spanvermessung haben Nachteile. So ist die **händische Vermessung** zeitaufwändig und nur begrenzt reproduzierbar, da sie nicht automatisiert und mechanisiert ist. Bei der (mechanisierten) **Siebanalyse** erhält man eine Verteilung der Spanmasse über die Fraktionen bzw. die Spangröße. Die Spangröße ist aufgrund des Klassierungskriteriums, der Siebmaschenweite, ein kombiniertes Merkmal aus Spanbreite, -dicke und -form. Damit ist bei der Siebanalyse eher von einer Charakterisierung als von einer Vermessung zu sprechen. Die Bestimmung der Spanabmessungen mit **digitaler Kameratechnik**, durch die von einem Sensor als Span erkannten Bildpunkte, liefert bei Vermessung von in der Bildebene frei ausgerichteten Spänen lediglich Längen- und Breiteninformationen. Erlaubt das Messverfahren eine freie Ausrichtung der Späne im Raum, sind die Längenmaße in Abhängigkeit ihrer Verhältnisse zueinander und Ausrichtung zur Kamera unterschiedlich präzise (Benthien et al. 2018). Allein der Einsatz von **3D Laser-Profilsensortechnik** in Kombination mit der Ablage der Späne auf einer ebenen Fläche (keine freie Ausrichtung im Raum), wie im gemeinsam von GreCon und dem Thünen-Institut für Holzforschung entwickelten Messgerät 3D Particleview (Benthien et al. 2019a), ermöglicht die präzise Erfassung aller Spanabmessungen, inklusive der Spandicke, sowie der Spanoberfläche und dem Spanvolumen. Für die Spanplattenindustrie besteht damit die Möglichkeit, die Qualität der erzeugten Späne nicht nur indirekt, beispielsweise über die Stromaufnahme der Zerspaner zu überwachen, sondern auch direkt Kenntnis der tatsächlich vorliegenden Spangeometrie zu erlangen.

2.2 3D-Spanvermessung im Prozess

Die Rentabilität eines Unternehmens ist davon bestimmt, wie effizient Kundenbedürfnisse erfüllt werden. Folglich streben Plattenhersteller – unter Maßgabe einer gerade noch ausreichenden Anforderungserfüllung – nach einer Steigerung der Anlagenkapazität (mehr Output) und -produktivität (Einsparung von Holz und Klebstoff). Großes Potential bieten hierbei der Ausbau sowie die Automatisierung und Digitalisierung der Zustandsüberwachung (Messen und Darstellen) und der Prozesssteuerung. Dies gilt im Besonderen für die Spanvermessung, die, aufgrund unzureichender Messtechnik, bislang nur ungenügend beachtet wurde.

Die Positionierung der Spanvermessung im Spanplattenprozess erscheint an drei Stellen besonders sinnvoll:

- Hinter der Spanerzeugung, da hier direkt auf Veränderungen der Spangeometrie reagiert werden kann,
- unmittelbar vor der Beleimung, da hier die Klebstoffmenge an die Spanoberfläche angepasst werden kann,
- unmittelbar vor der Streuung, weil hier die Späne, aus denen die Matte aufgebaut wird, in ihrer finalen Geometrie vorliegen und auf Defizite über die Anpassung des Flächengewichtes reagiert werden kann.

Beim Einsatz eines Messringzerspanners für die Spanerzeugung ist die Spangeometrie von dessen Einstellungen (z. B. Messerüberstand), den Hackschnitzelabmessungen sowie der Schneidenabnutzung abhängig. Da bislang keine direkte Messung der Spangeometrie gemacht werden konnte, wird zur Güteüberwachung die Stromaufnahme gemessen und hieraus die Spanqualität (Spandicke, Staubanteil) abgeleitet (indirekt). Wie sich

die Spandicke über die Betriebsdauer entwickelt (Abnahme von 7 % innerhalb von 8 Stunden), zeigten Praxisversuche mit dem 3D Particleview, die Marhenke und Hasener (2019) präsentierten.

Die Berechnung der erforderlichen Klebstoffmenge erfolgt in der Regel auf Basis der Masse der absolut trockenen (atro) Späne. Die Variation der Spangrößenzusammensetzung innerhalb der Gutfraktionen, beispielsweise aufgrund von unbeabsichtigten Veränderungen in der Zerspanung oder einer veränderten Siebauslastung, führt zu einem unerkannt ungleichen Flächenauftrag des Klebstoffs. Zu erkennen ist dies derzeit nur indirekt und zeitverzögert bei der Plattenprüfung, die lange nach der Produktion stattfindet. Eine Korrektur der Prozessparameter ist damit erst nach der bereits erfolgten Produktion möglich und, bei nicht erreichten technischen Platteneigenschaften, möglicherweise mit Plattenausschuss verbunden. Dieser Problematik wird in der Beleimung mit einer überhöhten Klebstoffmenge begegnet, um die Zieleigenschaften der Platte zu erreichen. Die Bestimmung der tatsächlichen Spanoberfläche bereits vor der Beleimung würde es hingegen erlauben, Über- und Unterdosierungen zu vermeiden, d. h. sowohl Klebstoffkosten als auch Fehlproduktionen und ggf. Reklamationen zu reduzieren.

Eine Vermessung der Späne vor der Streuung gibt Aufschluss über die finale Spangeometrie, die die Platteneigenschaften mitbestimmt. Bei bekannter Korrelation wäre es möglich, einer nicht optimalen Spangeometrie direkt mit einer Anpassung der Streuung, z. B. einem erhöhten Materialeinsatz (Dichteerhöhung), zu begegnen.

2.3 Messaufgabe

Messaufgabe ist das Erfassen der Abmessungen, der Oberfläche und des Volumens von Spänen sowie der Veränderung dieser Werte

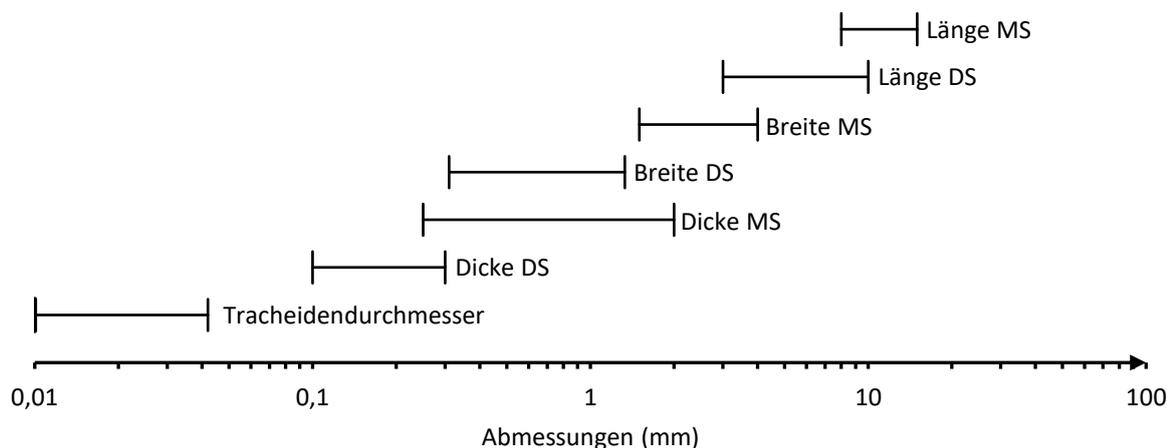
- an einer Position im Prozess, z. B. Zerspanung, Beleimung oder Streuung, über die Zeit oder
- über den Prozessverlauf, z. B. zur Nachverfolgung der Partikelgrößenänderung aufgrund mechanischer Belastungen bei Transportprozessen.

Ziele der Spanvermessung sind die Ermittlung der Spanoberfläche pro Spantrockenmasse (mit Fokus auf der oberflächenspezifischen Klebstoffmenge) sowie von Kennwerten – z. B. die mittlere Spandicke zur Überwachung der Zerspanung – für das Spanmaterial insgesamt. Grundlage hierfür ist die Erfassung der Geometrie der Einzelspäne mit einer der Objektgröße angepassten Auflösung, die die jeweilige Spandimension in der erforderlichen Genauigkeit ausgibt.

Bei der Zerspanung von Holz im Spanplattenprozess entsteht stets ein Gemenge aus Spänen unterschiedlicher Abmessungen. Das erzeugte Spanmaterial wird mittels Sieben von Grob- und Feianteilen befreit und in Deck- und Mittelschichtspäne fraktioniert. In Abhängigkeit der Maschenweite der hierfür eingesetzten Siebe sind die Fraktionen aus Spänen bestimmter Abmessungsspannen zusammengesetzt.

Mit Ausnahme der Breite von Deckschichtspänen ist bei Dunky und Niemz (2002) eine tabellarische Auflistung der Abmessungsspannen von Deck- und Mittelschichtspänen zu finden. Für die Länge von Deckschichtspäne wird eine Spanne von 3...10 mm, für die Dicke eine Spanne von 0,1...0,3 mm angegeben. Für Mittelschichtspäne werden folgende Angaben gemacht: 8...15 mm (Länge), 1,5...4 mm (Breite) und 0,25...2 mm (Dicke). Zur Vervollständigung der Abmessungsspannen in Abbildung 1 wurde die Breite von Deckschichtspänen 0,3...1,3 mm aus Ergebnissen der Siebanalysen von Spänen drei verschiedener Plattenhersteller nach Benthien und Ohlmeyer (2016) abgeleitet (Mittelwerte von jeweils x_{10} und x_{90}). Dass die Spangröße nach Siebanalyse als Spanbreite angenommen werden kann, haben Benthien et al. (2019b) gezeigt. Die zur Überprüfung des Vorgehens in gleicher Weise berechnete Spanne der Mittelschichtspanbreite 1...5,2 mm passt zu den Angaben von Dunky und Niemz.

Abbildung 1: Spanne der Abmessungen von Deck- (DS) und Mittelschichtspänen (MS) (Benthien, Ohlmeyer 2016) sowie Durchmesser von Tracheiden (Sperry et al. 2006) (logarithmisch skalierte Abszisse).

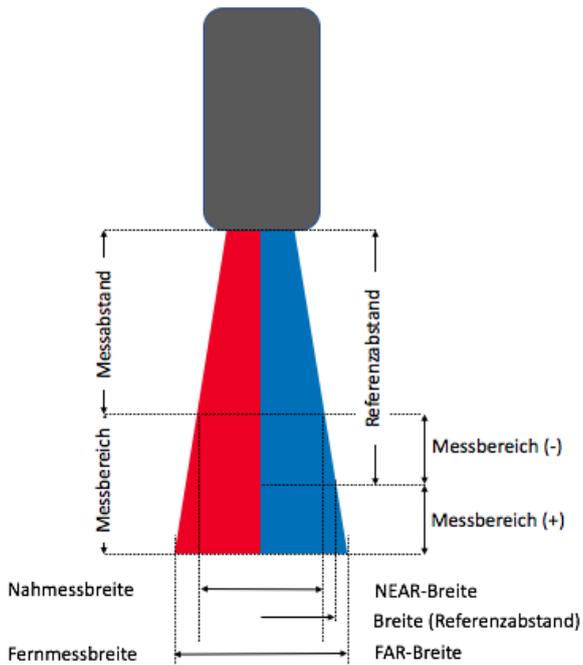


2.4 Leistungsmerkmale von 3D Laser-Profilsensoren

Wichtige Leistungsmerkmale von 3D Laser-Profilsensoren sind Messbereich und Auflösung, zu denen eine Angabe in x-Richtung (Spanlänge/-breite) und z-Richtung (Spandicke) gehört. Während der Begriff Messbereich gemeinhin den Bereich definiert, in dem eine Messgröße zuverlässig bestimmt wird, so beschreibt er im vorliegenden Fall den räumlichen Bereich, in dem Objekte überhaupt zu erfassen sind.

Der Messbereich in z-Richtung kann direkt beziffert (z. B. unter dem Synonym „Endwert“) oder indirekt über eine Plus-Minus-Angabe zum Referenzabstand (Mindestmontagehöhe) angegeben sein (Abbildung 2). Wird der Sensor mit geringerem als dem Maximalabstand montiert, ist nur der verbleibende Teil des maximalen Messbereiches zu nutzen. In x-Richtung hängt die Breite des Messbereiches zum einen vom gewählten Montageabstand ab, zum anderen, in welchem Abstand vom Sensor gemessen wird. Der Grund hierfür ist, dass für die Projektion der Laserlinie ein Laserstrahl durch eine Optik (Linsen) zu einem Lichtfächer aufgeweitet wird und, in Abhängigkeit des Abstandes vom Sensor, ein unterschiedlich breiter Lichtfächer vorliegt (vergl. Nah- vs. Fernmessbreite in Abbildung 2).

Abbildung 2: Schematische Darstellung eines Laser-Profilsensors mit erklärender Beschriftung wichtiger Merkmale wie von LMI Technologies Inc. (Burnaby, Kanada) und Keyence (Osaka, Japan) verwendet.



Die Auflösung gibt an, in welchen Schritten die Abmessungen eines Messobjektes erfasst und ausgegeben werden. Synonym wird die Auflösung auch als Profildatenintervall bezeichnet. Schließlich ist sie der Quotient aus dem Messbereich, in beispielsweise x-Richtung also der Breite der Laserlinie, und der Anzahl an Profildatenpunkten, über die die projizierte und vom Bildsensor erfasste Laserlinie wiedergegeben wird.

Wie der Messbereich hängt folglich auch die Auflösung vom Montageabstand des Sensors ab. Die Auflösung in x-Richtung ist von der Breite der Laserlinie (Messbereich) abhängig, die ihrerseits vom Abstand des Sensors zur Messebene abhängt. Vergleichbares gilt in z-Richtung, wobei hier der Messbereich direkt durch eine verringerte Montagehöhe des Sensors reduziert wird. Die unveränderte Anzahl an Profildatenpunkten löst dann einen kleineren Bereich auf.

Im gegebenen Anwendungsfall (Spanvermessung) ist die maximale Abtastrate ein weiteres wichtiges Leistungsmerkmal, weil die maximale Auflösung in Bewegungsrichtung der Messobjekte durch die maximale Abtastrate limitiert ist. Für gewöhnlich werden Abtastrate und Bandgeschwindigkeit so aufeinander abgestimmt, dass die Auflösung in y-Richtung der in x-Richtung (Messbreite) entspricht.

Von praktischer Bedeutung für die Güte der Messung sind bei ansonsten passend gewähltem Messbereich und Auflösung die Linearität und die Wiederholgenauigkeit, wobei diese hier noch nicht näher betrachtet werden sollen.

Wird vom Sensorhersteller die Auflösung in z-Richtung nicht direkt angegeben, kann das Produkt aus Messbereich bzw. Endwert und Linearität (Linearitätsfehler) als Kennwert herangezogen werden.

Ein augenscheinlicher Unterschied zwischen Laser-Profilsensoren besteht in der Wellenlänge des eingesetzten Lasers. Laser mit einer Wellenlänge von ca. 650 nm projizieren eine rote Laserlinie, Laser mit einer Wellenlänge von ca. 430 nm eine blaue Laserlinie. Vor- und Nachteile dieser technischen Details sind vor dem Hintergrund der Gesamtkonzeption des Messgerätes zu treffen und spielen für den Endnutzer eine untergeordnete Rolle.

2.5 Messmittelauswahl

Basiskriterium bei der Auswahl des Messgerätes ist, dass der (räumliche) Messbereich des verbauten Messkopfes die erwarteten Spanabmessungen abdeckt. Sollen gleichermaßen Deck- und Mittelschichtspäne vermessen werden, so muss der Messbereich in z-Richtung die größte Mittelschicht-Spandicke und in Bandebene die größte Mittelschicht-Spanlänge abdecken. Die kleinsten Spanabmessungen sind stets vom Messbereich abgedeckt. In Bezug auf die Auflösung des Messkopfes sind hingegen die kleinsten zu vermessen beabsichtigten Späne bestimmend.

Für eine erste Abschätzung der erforderliche Mindestauflösung in z-Richtung bzw. Bandebene kann die „Goldene Regel der Messtechnik“ herangezogen werden. Diese besagt, dass – im Kontext der Qualitätskontrolle bei der Bauteilfertigung – die Messunsicherheit eines Messsystems $1/10$, im äußersten Fall $1/5$, der Toleranz des Nennmaßes nicht überschreiten soll (Berndt et al. 1968). Auf die Spanvermessung übertragen heißt das: die Auflösung des Messkopfes soll $1/10$, im äußersten Fall $1/5$, der Untergrenze der Abmessungsspanne, also der jeweils kleinsten erwarteten Abmessung, betragen. Um anhand der kleinsten erwarteten Abmessung die Mindestauflösung festzulegen, ist zu definieren, in welcher Größenordnung, also bis auf welche (Nachkomma-) Stelle genau, diese Abmessung betrachtet werden soll. Beim Nennwert der Dicke von Deckschichtspänen (Untergrenze der Abmessungsspanne 0,1 mm) erscheinen Zehntelmillimeter einleuchtend, beim Nennwert der Dicke von Mittelschichtspänen (0,25 mm) erst nach Abrunden auf 0,2 mm.

Über die Anwendung der „Goldenen Regel der Messtechnik“ wird sichergestellt, dass Messabweichungen, die unter den Begriffen Wiederholgenauigkeit und Linearität quantifiziert werden und in einer nachgelagerten Messsystemanalyse Berücksichtigung finden, die Zuverlässigkeit der Bestimmung der kleinsten erwarteten Abmessung nicht infrage stellen. Konkret bedeutet das für „Auflösung $1/10$ der kleinsten Abmessung“, dass im Raster der Auflösung unterhalb der kleinsten erwarteten Abmessung neun Messwerte möglich sind und bei Messabweichungen noch immer bis auf die definierte (Nachkomma-) Stelle sicher gerundet werden kann. Über die neun möglichen Messwerte unterhalb der kleinsten erwarteten Abmessung wird weiter sichergestellt, dass der Schwellenwert (Wert ab dem für ein Objekt ein Messwert ausgegeben wird) - entspricht hier der Auflösung - nicht die Sicherheit des Messergebnisses beeinträchtigt.

Zahlenbeispiel: Die relevante Abmessungsspanne bei beabsichtigter Vermessung von Deck- und Mittelschichtspänen gleichermaßen (z. B. bei Vermessung des Ausgangsspanmaterials vor dessen Fraktionierung) erstreckt sich in Bandebene von 0,3 mm (minimale Spanbreite) bis 15 mm (maximale Spanlänge), in z-Richtung zwischen 0,1 und 2 mm (Spandicke). Bei Annahme einer Auflösung von $1/10$ ($1/5$) der kleinsten erwarteten Abmessung und Festlegung der signifikanten Stelle auf Zehntelmillimeter bedeutet das für die Spandicke, dass Objekte mit einer Dicke ab 0,01 (0,02) mm als Späne erfasst werden. Die tatsächlichen Spanabmessungen unterhalb der Abmessungsuntergrenze (0,1 mm) werden von neun (vier) Messwerten (0,01...0,09 mm (0,02...0,08 mm)) mit einer Schrittweite von 0,01 (0,02) mm abgebildet. Bei Wahl eines Schwellenwertes größer 0,01 (0,02) mm würden weniger Messwerte vorliegen.

Bei beabsichtigter Vermessung allein von Deckschichtspänen erstreckt sich die Abmessungsspanne in z-Richtung von 0,1 bis 0,3 mm. Analog zur obigen Rechnung werden die tatsächlichen Spanabmessungen über die Abmessungsspanne von insgesamt nur 39 (19) Messwerten (0,01...0,39 mm (0,02...0,38 mm)) abgebildet. Dieses Zahlenbeispiele zeigt, dass neben der Untergrenze der erwarteten Abmessungsspanne die Abmessungsspanne selbst für die Abschätzung der erforderlichen Auflösung einzubeziehen ist und eine höhere Auflösung als die Untergrenze der Abmessungsspanne geboten sein kann.

2.6 Indikatoren für eine ungenügende Sensorauflösung

Eine zu geringe Auflösung, bei der wesentliche Teile des Spanmaterials nicht erfasst werden, kann beispielsweise an einem unplausiblen Verhältnis von Einwaage zu Summe des Spanvolumens (g/mm^3 , also der Dichte) auffallen. Eine praktische Herangehensweise, die Eignung der Sensorauflösung für ein vorliegendes Spangut zu prüfen, ist

es, vorab erzeugte Siebfraktionen zu vermessen. Zu prüfen ist, ab welcher Fraktion die spezifische Spananzahl (n/g) oder die spezifische Oberfläche (mm^2/g) mit abnehmender Spangröße – entgegen des logisch Erwartbaren – nicht mehr steigt. Analog kann auch beobachtet werden, ab wann das spezifische Volumen (mm^3/g) sinkt.

2.7 Unter praktischen Gesichtspunkten erforderliche Sensorauflösung

Soll als Ergebnis der Spanvermessung ein Kennwert erhalten werden, müssen nicht unbedingt die Abmessungen der kleinsten Späne zuverlässig erfasst werden. Geht es beispielsweise bei einem Deckschichtmaterial um die Erfassung grober, sich später potenziell auf der Plattenoberfläche abzeichnender Späne, reicht es, die Auflösung allein auf diese Späne auszulegen. Soll hingegen die Beleimung auf Basis der Spanoberfläche erfolgen, so ist die zuverlässige Vermessung aller, also auch der kleinsten Späne, nötig.

2.8 Kennwert als Ergebnis der Spanvermessung

Mit einem Kennwert für das untersuchte Spanmaterial könnten beispielsweise Optimierungen im Bereich der Streuung realisiert werden. So ist bei optimaler Spangeometrie ein maximal effizienter Holzeinsatz zu erwarten, während Abweichungen vom Optimum mit einer Erhöhung der Plattendichte (Clad 1982) über die Verringerung der Formbandgeschwindigkeit begegnet werden kann.

3 Praktische Versuche

3.1 Einheitlich eingesetztes Material und angewendete Methoden

3.1.1 Spanmaterial

Die Untersuchungen wurden mit zwei unterschiedlichen Deck- bzw. Mittelschichtspanfraktionen eines industriellen Spanplattenherstellers durchgeführt. Die vier Fraktionen werden im Folgenden als Decksicht Fein (DS Fein), Decksicht Grob (DS Grob), Mittelschicht Fein (MS Fein) und Mittelschicht Grob (MS Grob) bezeichnet. Das Material wurde für alle Untersuchungen bei Normklima (20 °C und 65 % relativer Luftfeuchtigkeit) bis zur Gewichtskonstanz konditioniert.

3.1.2 Spanvermessung mit dem 3D Particleview

Für alle Untersuchungen kam zur Vermessung der Späne das Spanvermessungsgerät 3D Particleview (GreCon) zum Einsatz. Die Sensorauflösung beträgt laut Herstellerangaben 100 µm in x-Richtung (Länge und Breite) und 20 µm in z-Richtung (Dicke). Alle Messungen wurden mit einer vom Hersteller bereitgestellten Prototyp-Software (Version 0.1.4.0.) durchgeführt.

3.1.3 Berechnung der Holzdichte der Späne

Als Indikator für die Plausibilität der Ergebnisse der Spanvermessung wurde die Dichte als Quotient aus Einwaage und dem bestimmten Gesamtspanvolumen der untersuchten Spanprobe nach Formel 1 berechnet:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

mit

ρ : Rohdichte (kg/m³)

m : Masse Einwaage (kg)

V : Gesamtvolumen der Spanprobe (m³)

3.1.4 Bestimmung der Schüttdichte

Die Bestimmung der Schüttdichte wurde mit Hilfe eines ausgeliterten Messbechers durchgeführt, der im Fallstrom mit Spanmaterial befüllt wurde. Die Schüttdichte berechnet sich nach Formel 2 als Quotient aus der Spanmasse und dem Gesamtvolumen des Messbechers:

$$\rho_{\text{Sch}} = \frac{m_{\text{Becher gefüllt}} - m_{\text{Becher leer}}}{V_{\text{Becher}}} \quad (2)$$

mit

ρ_{Sch} : Schüttdichte (kg/m³)

$m_{\text{Becher gefüllt}}$: Masse des gefüllten Bechers (kg)

$m_{\text{Becher leer}}$: Masse des leeren Bechers (kg)

V_{Becher} : Bechervolumen (m³)

3.1.5 Bestimmung der spezifischen Spananzahl

Die spezifische Spananzahl wurde als Quotient aus der für eine Spanprobe bestimmten Gesamtspananzahl und der Einwaage nach Formel 3 bestimmt:

$$n_{\text{Spez.}} = \frac{N}{m} \quad (3)$$

mit

$n_{\text{Spez.}}$: Spezifische Spananzahl (1/g)

N : Gesamtspananzahl Spanprobe (-)

m : Masse Einwaage (g)

3.2 Vergleichende Betrachtung von anzahl- und volumengewichtetem Mittelwert

3.2.1 Idee und Arbeitshypothesen

Wird im Rahmen der Auswertung von Spanvermessungsdaten der einfache, arithmetische Mittelwert (anzahlgewichtet) für eine Spanprobe gebildet, so trägt die Spandimension eines jeden Spans zu gleichem Anteil zum Mittelwert bei. Folglich ist davon auszugehen, dass der Feinanteil einer herkömmlichen Spanprobe im Wesentlichen den Mittelwert bestimmt, wenngleich dieser nur einen geringfügigen Anteil am Gesamtvolumen der Spanprobe hat. Wird hingegen bei der Bildung des Mittelwertes nach dem Volumen gewichtet, so tragen (größere) Späne entsprechend ihres Anteils am Gesamtvolumen der Spanprobe (stärker) zum Mittelwert der betrachteten Spandimension bei.

Vor dem Hintergrund, dass grobe Späne maßgeblich das Gesamtvolumen der Spanprobe ausmachen, ist naheliegend, dass auch diese Späne maßgeblich das Volumen der Platte aufbauen. Folglich dürften die volumengewichteten Mittelwerte der jeweiligen Spandimension die praktische Bedeutung dieser Späne widerspiegeln.

Mit der vorliegenden Untersuchung soll gezeigt werden, wie der Feinanteil die Spananzahl bzw. -häufigkeit dominiert, wenngleich dieser nur einen geringen Anteil am Gesamtvolumen der Spanprobe hat.

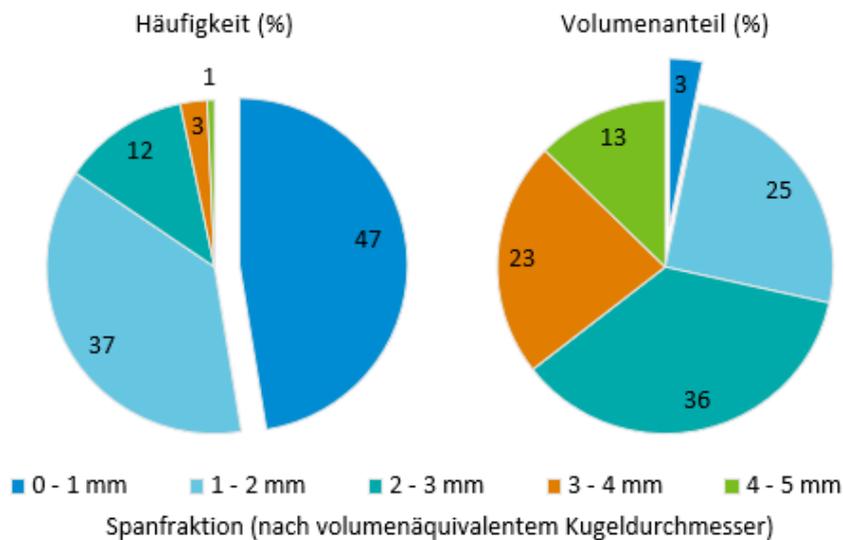
3.2.2 Datengrundlage

Als Datengrundlage dienten die Ergebnisse der Vermessung einer 2 g-Spanprobe MS Fein. Diese wurden digital nach dem volumenäquivalentem Kugeldurchmesser (Durchmesser einer Kugel mit dem Volumen des betrachteten Einzelspans) klassiert und für die Ergebnisdarstellung die jeweilige Häufigkeit (Spananzahl einer Fraktion in Bezug auf die Gesamtspananzahl der Probe) bzw. der Volumenanteil (Volumen einer Spanfraktion in Bezug auf das Gesamtvolumen der Probe) in Prozent aufgetragen. Weiter wurden sowohl der anzahlgewichtete als auch der volumengewichtete Mittelwert (Einzelwerte für die Spandimensionen mit dem jeweiligen Volumenanteil des Einzelspans multipliziert und über alle erhaltenen Werte aufsummiert) für die Spandimensionen gebildet und gegenübergestellt.

3.2.3 Ergebnisse & Diskussion

Abbildung 3 zeigt die für eine nach dem volumenäquivalenten Kugeldurchmesser klassierte Spanprobe festgestellten Häufigkeiten bzw. Volumenanteile. Betrachtet man beispielsweise die Fraktion 0–1 mm, fällt auf, dass diese in Bezug auf die Gesamtspananzahl fast 50 % ausmacht, jedoch nur 3 % zum Gesamtvolumen der vermessenen Spanprobe beiträgt.

Abbildung 3: Gegenüberstellung der Anzahl- bzw. Volumenanteile der nach dem volumenäquivalenten Kugeldurchmesser gebildeten Spanfraktionen. Auswertung einer 2 g-Spanprobe MS Fein.



In Tabelle 1 sind die anzahlgewichteten und volumengewichteten Mittelwerte für die Spanlänge, -breite und -dicke gegenübergestellt. Es fällt auf, dass die anzahlgewichteten Mittelwerte stets geringer ausfallen als die volumengewichteten.

Tabelle 1: Gegenüberstellung der für die Spandimensionen gebildeten anzahlgewichteten bzw. volumengewichteten Mittelwerte.

Spandimension	Mittelwert	
	Anzahlgewichtet	Volumengewichtet
Länge	3,9 ± 3,0	8,6 ± 0,0
Breite	1,1 ± 0,8	2,3 ± 0,0
Dicke	0,34 ± 0,26	0,80 ± 0,00

Angegebene Werte: *Mittelwert ± Standardabweichung*

Betrachtet man die für eine nach dem volumenäquivalenten Kugeldurchmesser klassierte Spanprobe bestimmten Häufigkeiten bzw. Volumenanteile, wird deutlich, dass eine Spanprobe in der Regel eine große Anzahl feiner Späne beinhaltet, die jedoch nur unwesentlich zum Gesamtvolumen der Spanprobe beitragen. Der anzahlgewichtete Mittelwert wäre hier folglich für das Plattenvolumen bzw. den Plattenaufbau nicht repräsentativ. Sollen beispielsweise Platteneigenschaften mit Späneigenschaften korreliert werden, erscheint die volumengewichtete Mittelwertbildung sinnvoller.

Die für die Spandimensionen gebildeten anzahlgewichteten Mittelwerte fallen stets geringer aus, als die volumengewichteten.

Das liegt daran, dass die feinen Späne, in Bezug auf die Spanprobe, in verhältnismäßig hoher Anzahl vertreten sind. Hier zeigt sich wie die feinen Späne, aufgrund ihrer, in Bezug auf die Spanprobe, hohen Anzahl bei der anzahlgewichteten Mittelwertbildung stark ins Gewicht fallen.

3.3 Einfluss der Montagehöhe des Laser-Profilsensors

3.3.1 Idee und Arbeitshypothese

Die Auflösung eines Laser-Profilsensors mit gegebener Anzahl an Profildatenpunkten ist unter anderem von der Montagehöhe bzw. seinem Abstand zum Förderband (Nullebene) abhängig. Wie in Kapitel 2.4 beschrieben, ist die Auflösung der Quotient aus dem Messbereich, in beispielsweise x-Richtung, also der Länge der Laserlinie, und der Anzahl an Profildatenpunkten. Mit sinkender Montagehöhe des Sensors deckt die Laserlinie eine geringere Breite ab, wodurch die Auflösung steigt. Wenn bei der Vermessung von Deckschichtspänen bei Standardmontagehöhe aufgrund von unzureichender Sensorauflösung der Feianteil nicht vollumfänglich erfasst wird, müsste dieser bei verringerter Montagehöhe zumindest zum Teil miterfasst werden. In der Folge würden die Mittelwerte für die Spandimensionen im Vergleich zur Standardmontagehöhe geringer ausfallen und die spezifische Spananzahl steigen.

Bei einer auf die Vermessung von Deck- und Mittelschichtspänen angepassten Sensorauflösung, müsste die aus Probeneinwaage und dem von der Sensorsoftware ausgegebenen Gesamtvolumen ermittelte Dichte auf einem Niveau mit der Rohdichte von üblicherweise für Spanplatte eingesetzten Holzarten wie zum Beispiel Kiefer (*Pinus sylvestris*) liegen.

Mit der vorliegenden Untersuchung soll überprüft werden, wie sich die Montagehöhe des Laser-Profilsensors auf die Messergebnisse auswirkt. Weiter wird die Plausibilität der Messergebnisse bzw. Eignung der Sensorauflösung für unterschiedliche Spanfraktionen anhand der aus Probeneinwaage und dem von der Sensorsoftware ausgegebene Gesamtvolumen ermittelten Dichte überprüft.

3.3.2 Datengrundlage

Zur Untersuchung des Einflusses der Montagehöhe des Laser-Profilsensors auf die Messergebnisse wurden die vier Spanfraktionen DS Fein, DS Grob, MS Fein und MS Grob bei zwei unterschiedlichen Montagehöhen vermessen und die Ergebnisse miteinander verglichen. Ausgehend von der Standardmontagehöhe (Position: Sensor hoch) wurde der Sensor tiefer gesetzt (Position: Sensor tief) und jeweils die vier Fraktionen vermessen.

Die Sensoreinstellungen wurden für die zwei Positionen wie folgt gewählt:

Sensor hoch

Die in der Sensorsoftware für den Messbereich vorgenommenen Einstellungen im Fall „Sensor hoch“ sind in Tabelle 2 dargestellt. Die Inspektionsbreite (Länge der Laserlinie) beträgt im Fall der Standardmontagehöhe 130 mm. Bei 1280 Profildatenpunkten ergibt sich rechnerisch eine Auflösung von ca. 0,1 mm.

Tabelle 2: In der Sensorsoftware für den aktiven Messbereich vorgenommene Einstellungen im Fall „Sensor hoch“.

	Aktiver Messbereich (mm)		
	Min.	Wert	Max.
Breite	0	141	194
Höhe	0	7	72
Start x	-125	-69	-16
Start z	-105	33	98

Sensor tief

Die in der Sensorsoftware für den Messbereich vorgenommenen Einstellungen im Fall „Sensor tief“ sind in Tabelle 3 dargestellt. Die Inspektionsbreite (Länge der Laserlinie) beträgt im Fall der verringerten Montagehöhe 100 mm. Bei 1280 Profildatenpunkten ergibt sich rechnerisch eine Auflösung von ca. 0,08 mm.

Tabelle 3: In der Sensoresoftware für den aktiven Messbereich vorgenommene Einstellungen im Fall „Sensor tief“.

	Aktiver Messbereich (mm)		
	Min.	Wert	Max.
Breite	0	105	177,5
Höhe	0	12	13
Start x	-125	-52,5	-20
Start z	-105	92	93

Alle oben benannten Spanfraktionen wurden je Sensoreinstellung in Dreifachbestimmung (a jeweils ca. 2 g Spanmaterial) vermessen. In der Ergebnisdarstellung werden jeweils die über die Dreifachbestimmung gebildeten Mittelwerte und Standardabweichungen gezeigt.

3.3.3 Ergebnisse & Diskussion

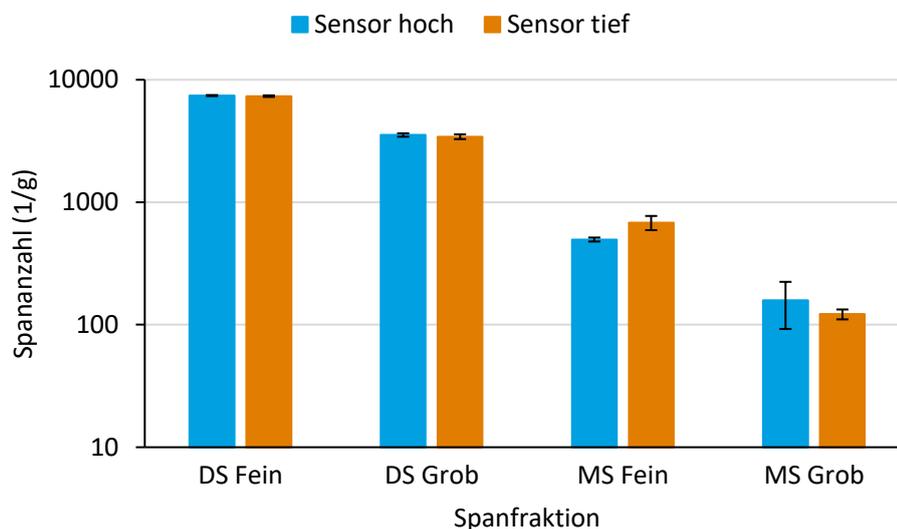
In Tabelle 4 sind die Ergebnisse der Vermessung der Spanfraktionen aufgeführt. Bei der Betrachtung der Daten fällt auf, dass innerhalb der einzelnen Fraktionen, unabhängig von der gewählten Sensorposition, weder für die Spandimensionen noch für die Spanoberfläche oder das Spanvolumen eindeutige Unterschiede festzustellen sind. Ausschließlich bei der Fraktion MS Fein liegen die entsprechenden Mittelwerte bei der Einstellung „Sensor tief“ etwas unterhalb der Werte, die bei Standardmontagehöhe ermittelt wurden. Für die Fraktion MS Grob zeigt sich Umgekehrtes.

Tabelle 4: Ergebnisse der Vermessung von Spanfraktionen bei unterschiedlichen Montagehöhen des Sensors.

Fraktion	Position	Spanlänge (mm)	Spanbreite (mm)	Spandicke (mm)	Spanoberfläche (mm ²)	Spanvolumen (mm ³)
DS Fein	Sensor hoch	1,0 ± 0,6	0,4 ± 0,2	0,14 ± 0,06	0,9 ± 0,9	0,1 ± 0,1
	Sensor tief	1,0 ± 0,6	0,5 ± 0,2	0,14 ± 0,06	0,9 ± 0,9	0,1 ± 0,1
DS Grob	Sensor hoch	1,7 ± 1,0	0,7 ± 0,4	0,27 ± 0,10	2,2 ± 2,1	0,3 ± 0,4
	Sensor tief	1,6 ± 1,0	0,7 ± 0,4	0,20 ± 0,10	2,2 ± 2,2	0,3 ± 0,5
MS Fein	Sensor hoch	4,4 ± 3,3	1,2 ± 0,9	0,39 ± 0,29	11,3 ± 15,8	3,2 ± 7,1
	Sensor tief	3,7 ± 2,9	1,1 ± 0,8	0,34 ± 0,26	8,9 ± 13,4	2,4 ± 5,6
MS Grob	Sensor hoch	7,3 ± 6,1	1,8 ± 1,6	0,56 ± 0,45	29,3 ± 45,1	11,7 ± 25,9
	Sensor tief	8,2 ± 7,3	2,0 ± 1,9	0,60 ± 0,48	37,6 ± 56,9	15,3 ± 30,9

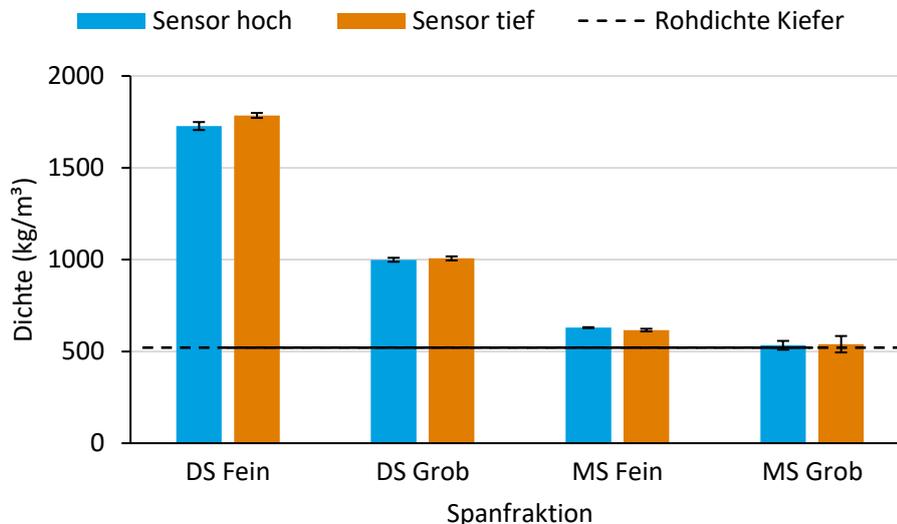
Angegebene Werte: *Mittelwert ± Standardabweichung*

Abbildung 4 zeigt die bei der Vermessung der unterschiedlichen Fraktionen vom Sensor erfasste spezifische Spananzahl. Grundsätzlich ist zu erkennen, dass die spezifische Spananzahl über die Fraktionen mit Zunahme der Spangröße bzw. von DS Fein zu MS Grob abnimmt. Zwischen den bei unterschiedlicher Montagehöhe des Sensors ermittelten Ergebnissen lässt sich kein Zusammenhang erkennen.

Abbildung 4: Für die Fraktionen aufgetragene spezifische Spananzahl bei unterschiedlicher Montagehöhe des Sensors; Mittelwert und Standardabweichung über Dreifachbestimmung; logarithmisch skalierte Ordinate (y-Achse).

In Abbildung 5 ist die für die Spanfraktionen bei unterschiedlicher Montagehöhe des Sensors ermittelte Dichte (Einwaage bezogen auf das von der Sensorsoftware ausgegebene Gesamtvolumen) aufgetragen. Zur Orientierung ist auch die Rohdichte von Kiefer dargestellt (gestrichelte Linie). Es fällt auf, dass die für die Vermessung von Deckschichtspänen ermittelte Dichte, die Rohdichte von Kiefer deutlich übersteigt, während sie bei der Vermessung der Mittelschichtfraktionen in etwa auf einem Niveau mit der von Kiefer liegt.

Abbildung 5: Über die Fraktionen aufgetragene Dichte bei unterschiedlicher Montagehöhe des Sensors; Mittelwert und Standardabweichung über Dreifachbestimmung. Zur Orientierung ist die Rohdichte von Kiefer (*Pinus sylvestris*) (Kollmann 1951) im Diagramm in Form einer gestrichelten Linie eingezeichnet.



Entgegen der Erwartung lassen sich für die Spandimensionen innerhalb der einzelnen Spanfraktionen, mit der Vermessung bei unterschiedlicher Montagehöhe des Sensors, keine eindeutigen Unterschiede feststellen. Bei den Deckschichtfraktionen zeigt sich unabhängig von der Sensorposition und der daraus resultierenden Sensorauflösung kein Effekt. Es ist davon auszugehen, dass die betrachteten Deckschichtfraktionen zu einem Großteil aus Feinmaterial bestehen, welches weder bei DS Fein noch bei DS Grob ungeachtet der Sensorposition nicht erfasst werden kann. Ein Einfluss der geringeren Montagehöhe lässt sich ausschließlich für die Fraktion MS Fein vermuten, da hier eine Größenverteilung vorliegen könnte, bei der mit tiefer gesetztem Sensor gegenüber der Standardmontagehöhe nennenswert mehr Feinmaterial erfasst wird. Im Falle der Fraktion MS Grob liegen die mit tiefer gesetztem Sensor bestimmten Spandimensionen jedoch oberhalb der mit Standardmontagehöhe bestimmten. Basierend auf den Ergebnissen lässt sich kein Einfluss der Montagehöhe erkennen.

Bei Betrachtung der spezifischen Spananzahl wird zunächst deutlich, dass logischerweise mit zunehmender Spangröße die Spananzahl abnimmt. Eine Auflösungserhöhung durch Verringerung der Montagehöhe müsste sich insbesondere bei den Deckschichtfraktionen durch eine im Vergleich zur Standardmontagehöhe höhere spezifische Spananzahl innerhalb der jeweils betrachteten Fraktion zeigen, was jedoch nicht der Fall ist. Nur bei der Fraktion MS Fein wurden mehr Späne erfasst.

Ausschließlich bei den vermessenen Mittelschichtfraktionen liegt die berechnete Dichte in einem Bereich mit der Rohdichte von Kiefer. Im Falle der vermessenen Deckschichtfraktionen übersteigt die berechnete Dichte diese deutlich, was die Messdaten unplausibel erscheinen lässt. Als Grund für die hohe berechnete Dichte kann die, unabhängig von der Montagehöhe, unzureichende Sensorauflösung angenommen werden, aufgrund der ein Teil der Einwaage (nämlich der Feinanteil) nicht vom Sensor erfasst wird. Das berechnete Gesamtvolumen der Spanprobe wird in Bezug auf die Probeneinwaage unterschätzt – die Dichte wird folglich überschätzt.

3.4 Untersuchungen zum nötigen Stichprobenumfang bei der 3D Spanvermessung

3.4.1 Idee und Arbeitshypothese

Die vermessene Probe muss repräsentativ für das Spanmaterial sein, damit die Messergebnisse aussagekräftig sind. Grundsätzlich gilt: je größer der Probenumfang, desto zuverlässiger spiegelt das Ergebnis die tatsächlich vorliegenden Spandimensionen wieder. Mit zunehmendem Stichprobenumfang steigt jedoch auch der Zeit- und Kostenaufwand der Messung. Es muss also ein geeigneter Kompromiss aus Probenumfang (Partikelanzahl bzw. Einwaage) und Aussagekraft des Messergebnisses gefunden werden. Wichtige Schlüsselwerte für die Berechnung eines geeigneten Probenumfangs sind

- die Fehlermarge (Konfidenzintervall), die als Prozentsatz angibt, wie nah das Messergebnis an den wahren Wert heranreicht wird, wobei hierfür in Beispielrechnungen 5 % angenommen wird,
- das Konfidenzniveau als Prozentsatz (oder z-Wert), über dessen Wahl festgelegt wird, wie sicher es ist, dass die Ergebnisse innerhalb der Fehlermarge bleiben (angenommen wird hier häufig 95 % bzw. $z = 1,96$)
- die Streubreite der Messwerte.

Ein einfacher Ansatz zur Berechnung der notwendigen Partikelanzahl (Formel 4) wird von Witt et al. (2005) gegeben:

$$n = \frac{z^2}{4 \cdot E^2} \quad (4)$$

mit

n : Partikelanzahl

z : z-Wert zum gewählten Konfidenzniveau (hier 95 %, d. h. 1,96)

E : Fehlermarge (hier 5 % bzw. 0,05)

Nach Formel 3 berechnet sich die Partikelmindestanzahl auf 385.

Ein noch einfacherer Ansatz zur Abschätzung der notwendigen Partikelanzahl einer Anzahlverteilung wird vom Messgerätehersteller Sympatec GmbH (Clausthal-Zellerfeld) vorgeschlagen.¹ Hiernach berechnet sich die Partikelmindestanzahl wie folgt (Formel 5) auf 400:

$$n = \frac{1}{E^2} \quad (5)$$

Unberücksichtigt bei beiden Ansätzen bleibt die Streubreite der Messwerte. Da die Partikelgrößen in einem Spangemisch vornehmlich links-schief logarithmisch-normalverteilt sind (eine große Anzahl kleiner und eine kleine Anzahl großer Späne), muss sich die berechnete Partikelmindestanzahl auf die Spanfraktion beziehen, die maßgeblich den physischen Aufbau bzw. die Eigenschaften der Platte bestimmt.

Wie auch Witt et al. (2005) weist Sympatec darauf hin, dass die Berechnung für eine volumenbezogene Verteilung komplexer ist (Verweis auf ISO 13322-1) und zu deutlich höheren Zahlen führt.

Die in ISO 13322-1:2014, Anhang A, zu findende Anleitung zur Berechnung der zu zählenden Partikel wird in der Technical Note „TN 155“ der Horiba K.K. (Kyoto, Japan)² für eine exemplarische Berechnung („Table 1“)

¹ <https://www.sympatec.com/de/partikelmesstechnik/glossar/dynamische-bildanalyse> (Abrufdatum: 08. Februar 2023)

² https://static.horiba.com/fileadmin/Horiba/Products/Scientific/Particle_Characterization/Downloads/Technical_Notes/TN155_Effect_of_Sample_Size_on_Result_Accuracy.pdf (Abrufdatum: 08. Februar 2023)

aufgegriffen. Unter Annahme einer Fehlermarge von 5 %, einem Konfidenzniveau von 95 % und verschiedenen geometrischen Standardabweichungen (1,1...1,6) wird die Anzahl der erforderlichen Partikel für den mittleren Massendurchmesser (MMD) und den mittleren Volumendurchmesser (MVD) berechnet. Für MMD werden entsprechend der Streubreite Partikelmindestanzahlen zwischen 585 und 60.811 berechnet.

Kernaussage von TN 155 ist, dass die Partikelmindestanzahl für das jeweils untersuchte Material (so wird die Schwankungsbreite der Messwerte berücksichtigt) gut experimentell zu bestimmen ist. Hierfür werden Auswertungen mit sukzessive größer werdender Partikelanzahl vorgenommen. Die Partikelanzahl, bei der ein Fehler unter 5 % festgestellt wird, ist als Partikelmindestanzahl anzunehmen. Aus den unternommenen Versuchen wurde geschlussfolgert, dass die Partikelmindestanzahlen deutlich unter denen liegen, die bei Anwendung der Berechnungsvorschriften in ISO 13322-1 erzielt werden.

Mit der vorliegenden Untersuchung soll gezeigt werden, wie sich die für eine repräsentative Stichprobe nötige Partikelanzahl (bzw. nötige Probeneinwaage in Bezug auf ein bestimmtes Spangemisch) experimentell bestimmen lässt und ob dabei mit zunehmendem Stichprobenumfang die Grundgesamtheit besser repräsentiert wird (Mittelwerte für die Spandimensionen, spez. Spananzahl).

3.4.2 Datengrundlage

Die experimentelle Untersuchung zum nötigen Stichprobenumfang wurde beispielhaft an einer 100 g-Probe von MS Fein durchgeführt. Die Gesamtprobe kann dabei als Grundgesamtheit bzw. Referenz betrachtet werden und wurde in Einfachbestimmung vollumfänglich vermessen. Anschließend wurden Stichproben aus der Grundgesamtheit mit Einwaagen à 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 und 10 g in Dreifachbestimmung vermessen. Für die Dreifachbestimmungen wurden je genannter Einwaage händisch drei Proben aus der Grundgesamtheit gezogen, vermessen und, bevor die nächste Probenziehung (mit neuer Einwaage) erfolgte, wieder zur Grundgesamtheit gegeben. Für die Ziehungen je Dreifachbestimmung gilt also, dass die erste Probe einer Einzelprobe aus der Grundgesamtheit entspricht, während bei der Ziehung der zweiten und dritten Probe die Grundgesamtheit bereits durch die Ziehung der ersten (bei der zweiten) und zweiten Probe (bei der dritten) verkleinert wurde. Im Rahmen der Datenauswertung wurden die über die Dreifachbestimmung gebildeten volumengewichteten Mittelwerte herangezogen. Im Anschluss an alle Messungen wurde die Grundgesamtheit gewogen, um mögliche Verluste zu bestimmen.

3.4.3 Ergebnisse & Diskussion

In Tabelle 5 sind die Ergebnisse der Vermessung der Grundgesamtheit sowie der basierend auf dieser durchgeführten Dreifachbestimmungen mit unterschiedlichen Stichprobenumfängen dargestellt. Wie zu erwarten, steigt die absolute Spananzahl mit Erhöhung der Probeneinwaage. Betrachtet man die über die Dreifachbestimmungen für die Spandimensionen gebildeten volumengewichteten Mittelwerte, fällt auf, dass diese ab einer Einwaage von ca. 5 g aufwärts nah an den Mittelwerten der Grundgesamtheit liegen. Für die Grundgesamtheit beläuft sich der volumengewichtete Mittelwert für die Spanlänge auf 8,2 mm, für die Spanbreite auf 2,5 mm und für die Spandicke auf 0,85 mm. Während sich die für die Grundgesamtheit bestimmte spezifische Spananzahl auf 507 Späne je Gramm beläuft, weichen die Werte bei geringen Probeneinwaagen (bis 4 g) relativ stark hiervon ab und variieren in einem Bereich von 241 bis 471. Ab einer Einwaage von 5 g aufwärts schwankt die spezifische Spananzahl in geringerem Maße in einem Bereich von 401 bis 471 Späne je Gramm. Grundsätzlich ist festzustellen, dass bei allen Stichproben die spezifische Spananzahl unterhalb der Grundgesamtheit liegt. Die aus Probeneinwaage und dem von der Sensorsoftware ausgegebenen Gesamtvolumen ermittelte Dichte liegt für alle durchgeführten Messungen in einem ähnlichen Bereich und reicht von 641 bis 669 kg/m³.

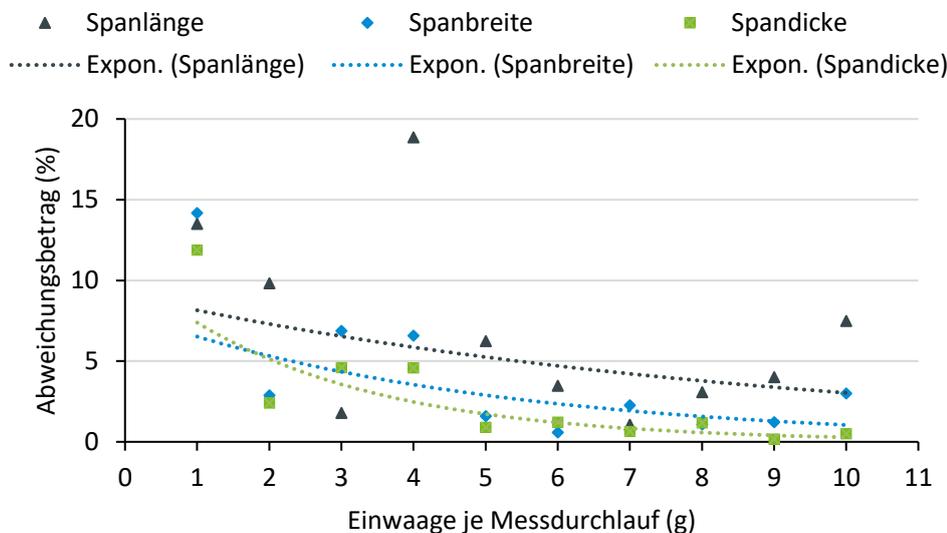
Tabelle 5: Ergebnisse der Vermessung der Grundgesamtheit sowie der basierend auf dieser durchgeführten Dreifachbestimmungen mit unterschiedlichen Stichprobenumfängen (Probeinwaagen).

Material	Solleinwaage je Messdurchlauf (g)	Einwaage gesamt (g)	Spananzahl		Spanlänge* (mm)	Spanbreite* (mm)	Spandicke* (mm)	Dichte (kg/m ³)
			abs. (-)	spez. (1/g)				
MS Fein	100	100,01	50752	507	8,2 ± 0,0	2,5 ± 0,0	0,85 ± 0,00	646
MS Fein	1	3,02	728	241	9,3 ± 0,1	2,9 ± 0,1	0,95 ± 0,01	664
MS Fein	2	6,02	2111	351	9,0 ± 0,0	2,6 ± 0,0	0,87 ± 0,00	641
MS Fein	3	9,01	4250	471	8,3 ± 0,0	2,4 ± 0,0	0,81 ± 0,00	669
MS Fein	4	12,01	3640	303	9,8 ± 0,0	2,7 ± 0,0	0,89 ± 0,00	647
MS Fein	5	15,01	6175	411	8,7 ± 0,0	2,6 ± 0,0	0,86 ± 0,00	649
MS Fein	6	18,02	8486	471	8,5 ± 0,0	2,6 ± 0,0	0,84 ± 0,00	667
MS Fein	7	21,02	9592	456	8,3 ± 0,0	2,6 ± 0,0	0,84 ± 0,00	649
MS Fein	8	24,02	10606	442	8,5 ± 0,0	2,6 ± 0,0	0,84 ± 0,00	654
MS Fein	9	27,02	11871	439	8,5 ± 0,0	2,6 ± 0,0	0,85 ± 0,00	657
MS Fein	10	30,02	12027	401	8,8 ± 0,0	2,6 ± 0,0	0,85 ± 0,00	653

* volumengewichteter Mittelwert ± Standardabweichung

In Abbildung 6 sind die Abweichungsbeträge der für die Spandimensionen der Stichproben in Dreifachbestimmung gebildeten Mittelwerte in Bezug auf die entsprechenden Mittelwerte der Grundgesamtheit dargestellt. Für die vereinfachte optische Erfassung sind Exponentialfunktionen für die Spanlänge, -breite und -dicke eingefügt. Anhand dieser lässt sich der Trend erkennen, dass die Abweichungsbeträge mit zunehmendem Stichprobenumfang abnehmen. Ab einer Probeneinwaage von 5 g aufwärts liegen die Abweichungsbeträge, bis auf zwei Ausnahmen im Falle der Spanlänge, in einem Bereich von 0 bis 5 %.

Abbildung 6: Darstellung der für die bei unterschiedlicher Probeneinwaage in Bezug auf die Grundgesamtheit gebildeten Abweichungsbeträge. Die Berechnung der Abweichungsbeträge erfolgte auf Grundlage der Mittelwerte für die Dreifachbestimmungen in Bezug auf den Mittelwert der Grundgesamtheit.



Die Unterschiede zwischen der spezifischen Spananzahl der Grundgesamtheit und der der Stichproben sind auf den Einfluss der händischen Probenziehung zurückzuführen. Bei jeder Ziehung einer Spanprobe variiert die Spangrößenverteilung. Dies wird dadurch begünstigt, dass es bei der Aufbewahrung und Bewegung einer Spanprobe beispielsweise in einem Plastikbeutel oder einem Probeschälchen zu Entmischung kommen kann

(feine Späne setzten sich unten ab). Mal werden viele feine und weniger grobe Späne entnommen (spez. Spananzahl \uparrow), mal viele grobe und weniger feine (spez. Spananzahl \downarrow). Je geringer die Probeneinwaage, desto stärker kommt dieser Effekt zum Tragen, da bei der händischen Ziehung kleiner Stichproben eine ungewollte Auslese betrieben wird. Mit zunehmender Probeneinwaage, in den eigenen Untersuchungen ab 5 g aufwärts, ist der Effekt nur noch zu einem geringen Maße erkennbar. Grundsätzlich ist jedoch fragwürdig, warum für alle Stichproben (unabhängig von der Einwaage) eine in Bezug auf die Grundgesamtheit geringere spezifische Spananzahl festgestellt wurde. Dies ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass die Grundgesamtheit von 100 g zu Beginn (vor den Stichproben) vermessen wurde und hierbei Feinmaterial beispielsweise durch Anheftung an den Vibratoren und dem Förderband nicht wieder aufgefangen wurde und damit bei der Vermessung der Stichproben fehlte. Bestätigt wird diese Vermutung durch den über die gesamten Messungen an der Grundgesamtheit festgestellten Spanverlust von 1,74 g.

Die aus Probeneinwaage und dem von der Sensorsoftware ausgegebene Gesamtvolumen ermittelte Dichte liegt für alle durchgeführten Messungen in einem ähnlichen Bereich und ist im Vergleich zur Rohdichte von üblicherweise für Spanplatte eingesetzten Holzarten etwas zu hoch. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass die Fraktion MS Fein einen Feinanteil enthält, welcher auflösungsbedingt nicht vom Sensor erfasst werden kann.

Ab einer Einwaage von 5 g (\cong bei Dreifachbestimmung 6175 Späne) aufwärts weichen die für die Spandimensionen der Stichproben bestimmten Mittelwerte, bis auf zwei Ausnahmen, nur im Bereich von 0 bis 5 % von den entsprechenden Mittelwerten der Grundgesamtheit ab. Die Ausnahmen treten im Fall der Spanlänge auf. Die stärkeren Abweichungen bei der Spanlänge könnten darauf zurückzuführen sein, dass das vermessene Material im Rahmen der Fraktionierung über Siebe läuft und hierbei das Klassierungskriterium, die Siebmaschenweite, am ehesten der Spanbreite bzw. Spandicke entspricht. Folglich erfolgt, eine gewisse Vorsortierung nach Spanbreite bzw. -dicke, nicht aber nach der Spanlänge. Die Messzeiten beliefen sich im Fall von 5 g auf im Mittel 142 s (ca. 2,4 min) und im Fall von 10 g auf im Mittel 216 s (ca. 3,6 min). Diese Werte scheinen auch für den praktischen Messbetrieb im Labor tolerabel, sind jedoch stark davon abhängig, wie schnell das Material auf die Vibratorrinne gegeben wird. Um eine erfolgreiche Spanvereinzelnung zu erzielen, die für eine repräsentative Spanvermessung unerlässlich ist, sollte nicht zu viel Spanmaterial auf einmal aufgegeben werden.

Der hier gezeigte experimentelle Ansatz zur Bestimmung der Partikelmindestanzahl lässt sich auf andere Spanmaterialien übertragen. Logischerweise müsste die Einwaage aber beispielsweise bei größerem Spanmaterial größer gewählt werden, um mit der Stichprobe eine vergleichbare Spananzahl zu erfassen. Die nach Witt et al. (2005) und der Sympatec GmbH berechneten Partikelmindestanzahlen von 385 bzw. 400 erscheinen nach den eigenen Untersuchungen zu gering.

3.5 Veränderung der Spandimensionen im Prozess

3.5.1 Idee und Arbeitshypothese

Die Spanlänge, -breite und -dicke, folglich auch die Spanoberfläche und das Spanvolumen, müssten im industriellen Spanplattenprozess durch ungewollte oder beabsichtigte Variation von Prozessparametern ständigen Veränderungen unterworfen sein. Wie groß diese ausfallen ist bisher weitestgehend unbekannt. Weiter ist davon auszugehen, dass neben der Spangröße auch die Spanform Einfluss auf die Schüttdichte von Spänen hat. Der Schlankheitsgrad (Länge/Dicke) müsste folglich in einem bestimmten Zusammenhang mit der Schüttdichte stehen.

Mit der vorliegenden Untersuchung sollen die in einem industriellen Spanplattenprozess unmittelbar vor der Beleimung täglich, stündlich und minütlich aufgenommenen Spandimensionen eines Mittelschichtspanmaterials dokumentiert werden. Weiter wird am Beispiel einer stündlichen Probenziehung der Zusammenhang zwischen Schlankheitsgrad und Schüttdichte betrachtet.

3.5.2 Datengrundlage

Zur Untersuchung der Veränderung von Spandimensionen im Spanplattenprozess wurden in einer industriellen Spanplattenproduktion an einer festen Probenahmestelle nach der Spanaufbereitung und unmittelbar vor der Beleimung in regelmäßigen Zeitintervallen (täglich, stündlich, minütlich) Spanproben der Fraktion MS Fein entnommen und mit dem 3D Particleview vermessen. Im Zeitraum der stündlichen und minütlichen Probenahmen wurde stets das gleiche Produkt gefahren, sodass die Prozessparameter hier als im Rahmen der Industrieproduktion relativ konstant anzunehmen sind. Über den Zeitraum der täglichen Probenahmen wurde das Produkt zum Teil gewechselt, weshalb hier mit einer stärkeren Variation der Prozessparameter zu rechnen ist. Die Probenahme erfolgte über eine manuelle Klappe auf der Unterseite eines Trogkettenförderers. Zum Zeitpunkt jeder Probenahme wurde die Klappe geöffnet und im entstehenden Fallstrom aus Spänen ein ausgeliteter Messbecher (0,0026 m³, Leergewicht: 191 g) bis zum Rand befüllt. Anschließend wurde die Klappe wieder verschlossen und der mit Spänen gefüllte Messbecher für die Bestimmung der Schüttdichte gewogen. Aus den auf diese Weise entnommenen Gesamtpuben wurden im Rahmen der Spanvermessung jeweils drei Proben à 5 g vermessen. Tabelle 6 gibt einen Überblick über die Zeitpunkte der Probenahme und die jeweils produzierten Produkte (mit Großbuchstaben gekennzeichnet).

Tabelle 6: Zeitpunkte der Probenahme mit Angabe des jeweils produzierten Produktes.

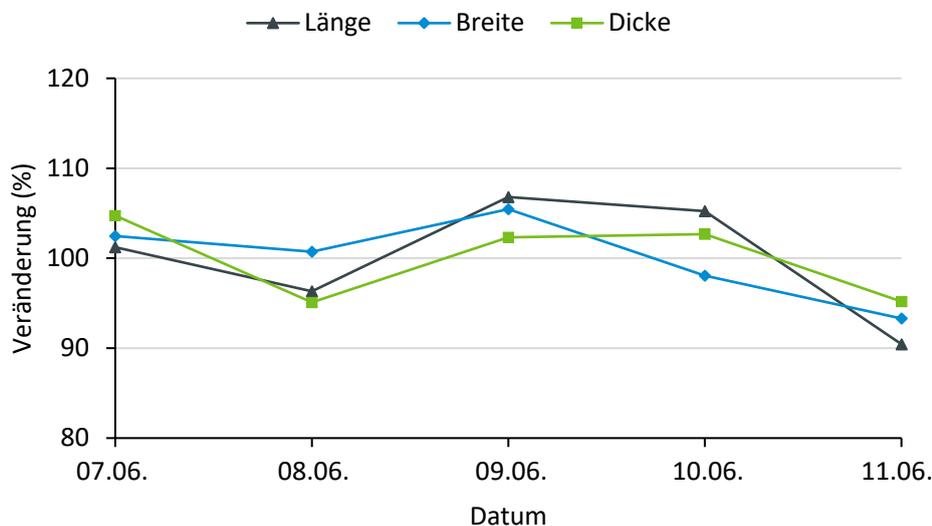
		Tage der Probenahme				
		07.06.2022	08.06.2022	09.06.2022	10.06.2022	11.06.2022
Uhrzeit	15:30		08:30 – 15:30 (stündlich); 13:55 -14:04 (minütlich)	15:30	15:30	15:30
Produkt	A		B; Ausnahme Ziehung 08:30 C	A	D	E

Im Rahmen der Auswertung wurden volumengewichtete Mittelwerte gebildet. In den Abbildungen der Ergebnisdarstellung werden die Veränderungen der Spandimensionen bzw. der Schüttdichte und dem Schlankheitsgrad prozentual in Bezug auf die über die jeweiligen Betrachtungszeiträume gebildeten Mittelwerte (100 %) angegeben. Die Datenpunkte sind zur vereinfachten optischen Erfassung durch Linien verbunden, auch wenn die dargestellten Größen ausschließlich zu den angegebenen Zeitpunkten dokumentiert wurden.

3.5.3 Ergebnisse & Diskussion

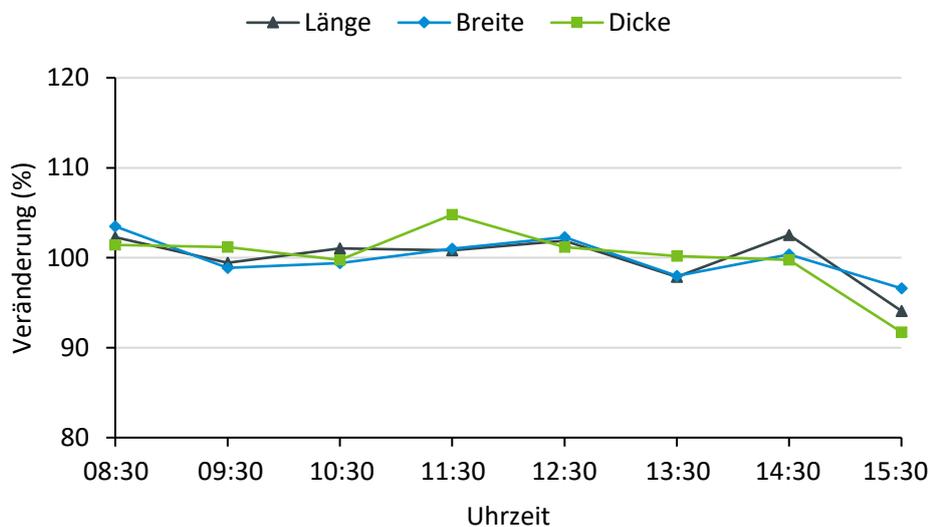
In Abbildung 7 sind die relativen Veränderungen der Spandimensionen über mehrere Tage dargestellt. Es fällt auf, dass alle Spandimensionen über den Betrachtungszeitraum schwanken, wobei die maximale Veränderung für die Spanlänge 10 %, die Spanbreite 7 % und die Spandicke 5 % beträgt. Die Veränderungen der einzelnen Spandimensionen folgen einem ähnlichen Verlauf.

Abbildung 7: Veränderung der Spandimensionen über mehrere Tage. 100 % entsprechen dem über den dargestellten Betrachtungszeitraum für die jeweilige Spandimensionen gebildeten Mittelwert.



In Abbildung 8 sind die Veränderungen der Spandimensionen über mehrere Stunden dargestellt. Es fällt auf, dass alle Spandimensionen über den Betrachtungszeitraum schwanken, wobei die maximale Veränderung für die Spanlänge 6 %, die Spanbreite 3 % und die Spandicke 8 % beträgt. Die Veränderungen der Spandimensionen folgen auch hier mit vereinzelt Ausnahmen einem ähnlichen Verlauf.

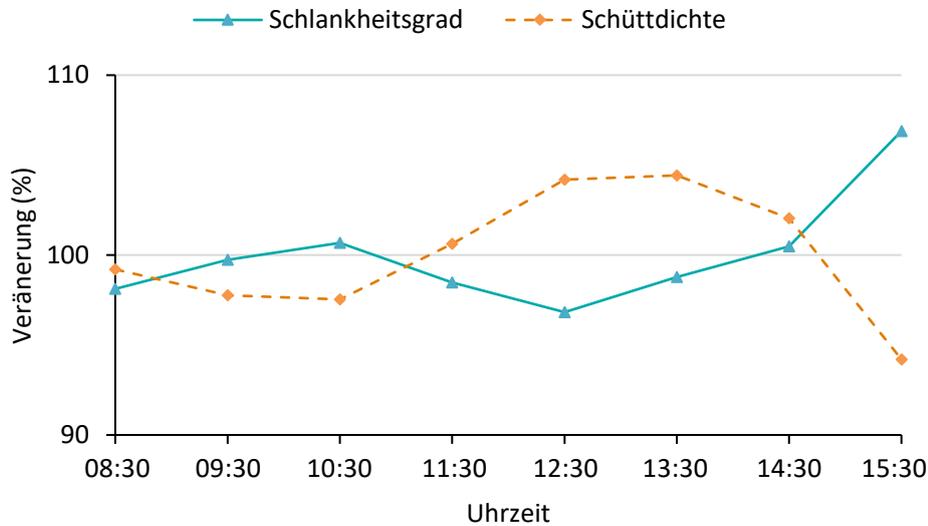
Abbildung 8: Veränderung der Spandimensionen über mehrere Stunden. 100 % entsprechen dem über den dargestellten Betrachtungszeitraum für die jeweilige Spandimensionen gebildeten Mittelwert.



In Abbildung 9 sind die Veränderungen des Schlankheitsgrades und der Schüttdichte über mehrere Stunden dargestellt. Es fällt auf, dass beide Größen über den Betrachtungszeitraum schwanken, wobei die maximale

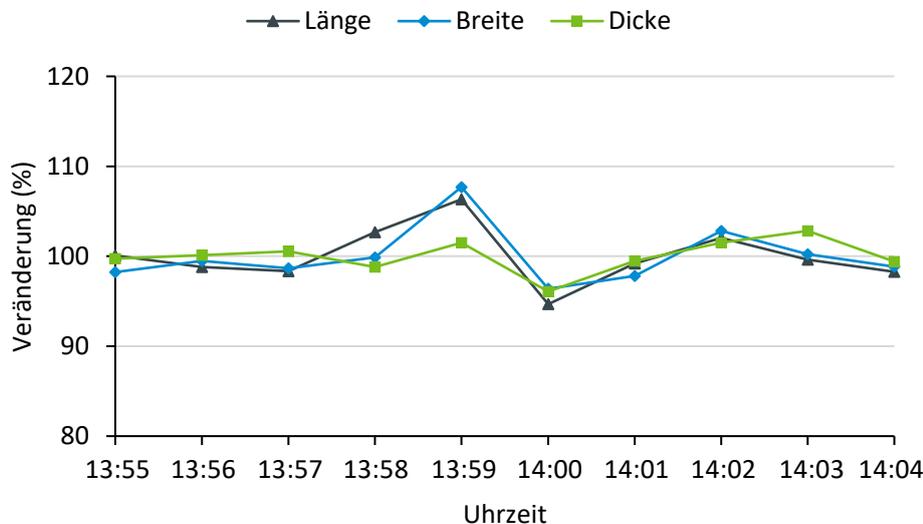
Veränderung für den Schlankheitsgrad 7 % und die Schüttdichte 6 % beträgt. Die Veränderungen des Schlankheitsgrades verhalten sich zu denen der Schüttdichte gegenläufig.

Abbildung 9: Veränderung des Schlankheitsgrades und der Schüttdichte über mehrere Stunden. 100 % entsprechen dem über den dargestellten Betrachtungszeitraum für Schlankheitsgrad bzw. Schüttdichte gebildeten Mittelwert.



In Abbildung 10 sind die Veränderungen der Spandimensionen über mehrere Minuten dargestellt. Es fällt auf, dass alle Spandimensionen über den Betrachtungszeitraum schwanken, wobei die maximale Veränderung für die Spanlänge 6 %, die Spanbreite 8 % und die Spandicke 6 % beträgt. Die Veränderungen der Spandimensionen folgen auch hier mit vereinzelt Ausnahmen einem ähnlichen Verlauf.

Abbildung 10: Veränderung der Spandimensionen über mehrere Minuten. 100 % entsprechen dem über den dargestellten Betrachtungszeitraum für die jeweilige Spandimensionen gebildeten Mittelwert.



Wie zu erwarten, sind die Spandimensionen im Spanplattenprozess ständigen Veränderungen unterworfen. Unabhängig vom Intervall der Probenziehung (täglich, stündlich, minütlich) schwanken die Spandimensionen in einem Bereich von ca. $\pm 10\%$ um die Mittelwerte, die über die jeweiligen Betrachtungszeiträume gebildet wurden. Die Veränderungen könnten beispielsweise auf Variationen im Rohstoffmix, die Schneidenabnutzung

im Messerringzerspaner oder etwa eine Überlastung der Siebe (ungewolltes Mitschleppen von Feinmaterial) zurückgeführt werden. Bei den dargestellten Ergebnissen ist zu beachten, dass auch die händische Probennahme einen Einfluss auf die Messergebnisse hat und dieser Effekt sich mit tatsächlichen Veränderungen der Spandimensionen überlagert. Der Einfluss des Überlagerungseffektes müsste mit Erhöhung des Stichprobenumfangs zurückgehen, wodurch die tatsächlichen Veränderungen der Spandimensionen stärker repräsentiert werden würden.

Zwischen dem Schlankheitsgrad und der Schüttdichte zeigt sich ein deutlicher Zusammenhang. Die Kennwerte verhalten sich genau gegenläufig. Mit steigendem Schlankheitsgrad (Länge \uparrow bzw. Dicke \downarrow) sinkt die Schüttdichte, mit sinkendem Schlankheitsgrad (Länge \downarrow bzw. Dicke \uparrow) steigt die Schüttdichte. Dies liegt vermutlich daran, dass Späne mit einem höheren Schlankheitsgrad, insbesondere aufgrund einer höheren Spanlänge, bei der Schüttung stärker überlappen. Umgekehrt ist die Überlappung bei der Schüttung von Spänen mit geringerem Schlankheitsgrad weniger stark ausgeprägt.

4 Fazit

Am Beispiel einer Spanprobe einer industriellen Mittelschichtfraktion wurde aufgezeigt, wie der Feinanteil die Mittelwerte für Spandimensionen bei der anzahlgewichteten bzw. volumengewichteten Mittelwertbildung beeinflusst. Bei der anzahlgewichteten Kennwertbildung tragen feine Späne, mit großer Häufigkeit jedoch geringem Anteil am Gesamtvolumen, erheblich zum Mittelwert bei. Ob im Hinblick auf den Plattenaufbau volumengewichtete Mittelwerte für die Spandimensionen repräsentativer sind, wäre über die Korrelation und den Vergleich der anzahl- bzw. volumengewichteten Mittelwerte mit den Eigenschaften entsprechender Platten zu überprüfen.

Anhand der Vermessung industrieller Deck- und Mittelschichtfraktionen konnten grundsätzliche Zusammenhänge gezeigt werden. Mit Zunahme der Spandimensionen sinkt die spezifische Spananzahl. Weiter fällt auf, dass die aus Probeneinwaage und dem von der Sensorsoftware ausgegebenen Gesamtvolumen bestimmte Dichte im Falle der Deckschichtfraktionen in Bezug auf die Rohdichte von typischerweise für die Spanplattenherstellung eingesetzten Holzarten unplausibel hoch erscheint. Als Grund wurde vermutet, dass ein Teil (Feinanteil) der Einwaage, aufgrund unzureichender Sensorauflösung nicht miterfasst wird. Trotz rechnerischer Auflösungserhöhung durch Verringerung der Montagehöhe des Laser-Profilsensors, lassen sich im Vergleich zur Standardmontagehöhe keine Unterschiede zwischen den Ergebnissen der Vermessung von industriellen Deck- und Mittelschichtfraktionen feststellen. Weder anhand der mittleren Spandimensionen noch anhand der spezifischen Spananzahl, die insbesondere bei den Deckschichtfraktion bei verringerter Montagehöhe höher ausfallen müsste, lässt sich ein Einfluss feststellen. Da hier für die unterschiedlichen Sensoreinstellung jedoch jeweils neue Proben à 2 g Spanmaterial eingewogen wurden scheint eine bessere Vergleichbarkeit der Ergebnisse gegeben, wenn jeweils dieselbe Probe bei Standardmontagehöhe und tiefer gesetztem Sensor vermessen worden wäre, was ein Auffangen der Späne notwendig gemacht hätte. Dabei geht jedoch mit jeder Messung ein gewisser Verlust des Feinanteils (Anhaftung an Vibrorinnen und Förderband) der Spanprobe einher. Um diesem Einfluss zu begegnen, müsste die Versuchsreihe doppelt durchgeführt werden. Im ersten Durchlauf sollte der Sensor beispielsweise auf Standardmontagehöhe eingestellt und nach Auffangen der Proben tiefer gesetzt werden; im zweiten Durchlauf sollte umgekehrt verfahren werden. Weiter ist bei der Spanvermessung grundsätzlich der Einfluss der Probennahme zu beachten, der mit zunehmendem Probenumfang abnimmt.

Anhand des Versuchsansatzes zur Bestimmung des nötigen Stichprobenumfangs lässt sich für Spanmaterialien experimentell, nach Festlegung eines tolerablen Abweichungsbetrages der Mittelwerte für die Spandimensionen einer Stichprobe im Vergleich zu denen der Grundgesamtheit, die nötige Einwaage bzw. Partikelmindestanzahl abschätzen. Problematisch bei der gewählten Herangehensweise ist jedoch, dass je Einwaage für die Dreifachbestimmung drei Proben aus der Grundgesamtheit gezogen und diese damit verringert wurde. Besser ist es die Proben für die Dreifachbestimmung einzeln zu ziehen und nach jeder Messung bzw. vor der nächsten Ziehung wieder der Grundgesamtheit zuzuführen. Andernfalls wird der Effekt der Verkleinerung der Grundgesamtheit mit Erhöhung der Einwaage größer. Weiter wurde beim gewählten Versuchsansatz die Wiederholgenauigkeit nicht mit betrachtet. Für jede gewählte Einwaage könnte man anhand von ein und derselben Probe Wiederholmessungen durchführen, um auch hier einen möglichen Effekt auf die Messergebnisse zu untersuchen.

Die Dokumentation der Spandimensionen im Produktionsprozess hat ergeben, dass diese in Bezug auf die für den jeweiligen Betrachtungszeitraum (täglich, minütlich, stündlich) gebildeten Mittelwerte in einem Bereich von ca. $\pm 10\%$ schwanken. Weiter konnte bei stündlicher Probennahme gezeigt werden, dass mit zunehmendem Schlankheitsgrad der Späne die Schüttdichte abnimmt und umgekehrt. Beim gewählten Versuchsansatz wurde eine Einwaage von 5 g je Messung gewählt, was nach den eigenen Untersuchungen zum nötigen Stichprobenumfang für die betrachtete Spanfraktion ausreichend ist. Dennoch werden die dokumentierten Dimensionsänderungen immer auch vom Einfluss der Probenziehung überlagert werden. Dieser Einfluss lässt sich

bei zukünftigen Messungen durch eine höhere Probeneinwaage bzw. automatisierte (nicht händische) Probenziehung minimieren.

Für die Erkennung von Grundzusammenhängen zwischen Spangeometrie und Platteneigenschaften sollten Mittelschichtfraktionen bzw. gröbere Späne herangezogen werden, die vollumfänglich vom Sensor erfasst und damit zuverlässig vermessen werden können. Zur Beurteilung der Plausibilität der Messdaten sollte stets die aus Probeneinwaage und dem von der Sensorsoftware ausgegeben Gesamtvolumen bestimmte Dichte herangezogen und mit der Rohdichte von typischerweise für die Spanplattenherstellung eingesetzten Holzarten abgeglichen werden.

Die grundsätzlichen Überlegungen zur Integration von 3D-Spanvermessung in den Spanplattenprozess und die Ergebnisse der Vorversuche stellen die Grundlage für Folgeversuche und den weiteren Projektverlauf dar.

Literaturverzeichnis

- Benthien JT, Engehausen N, Lüdtke J (2022) 3D-Spanvermessung mit Laser-Profilsensoren: Betrachtung von Technologie, Potenzial im Prozess und Leistungsdaten hinsichtlich der Messkopfauswahl. Holz-Zentralblatt, 148 Jhg., Nr. 32, 12. August, Seite 541-543
- Benthien JT, Heldner S, Lüdtke J (2019a) Spandicke bildanalytisch messen. Holz-Zentralblatt, 145 Jhg., Nr. 38, 20. September, Seite 800
- Benthien JT, Heldner S, Lüdtke J (2019b) Vorteile durch bildanalytisches Messen der Spandicken. Holz-Zentralblatt, 145 Jhg., Nr. 50, 13. Dezember, Seite 1101-1103
- Benthien JT, Lüdtke J, Friehmelt R, Schäfer M (2018) Limitations of a 3-D image analysis-based particle size measuring system for wood particle dimension measurement. Wood and Fiber Science, 50(3):358-362
- Benthien JT, Ohlmeyer M (2016) Zusammenhang von Spanqualität und Platteneigenschaften – Eine Untersuchung von Spänen verschiedener Hersteller. Thünen Working Paper 52, Johann Heinrich von Thünen-Institut
- Berndt G, Hultsch E, Weinhold H (1968) Funktionstoleranz und Meßunsicherheit. Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Universität Dresden, 17(2):465-471
- Clad W (1982) Die Rohdichtesenkung bei Spanplatten – Eine Literaturübersicht. Holz als Roh- und Werkstoff, 40(10):387-393
- Dunky M, Niemz P (2002) Holzwerkstoffe und Leime – Technologie und Einflussfaktoren, Springer, Seite 105
- Kollmann, F. (1951). Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe. Erster Band. Teil 2. Tafel V. Springer-Verlag. Berlin
- Marhenke T, Hasener J (2019) Späne lügen nicht. MDF-Magazin, Oktober 2019, Supplement von Holz-Zentralblatt und HK, Seite 78-82
- Sperry JS, Hacke UG, Pittermann J (2006) Size and function in conifer tracheids and angiosperm vessels. American journal of botany, 93(10):1490-1500
- Witt W, Köhler U, List J (2005) Experiences with Dry Dispersion and High-Speed Image Analysis for Size and Shape Characterisation. Sympatec GmbH, System-Partikel-Technik. Clausthal-Zellerfeld.

Normen

- ISO 13322-1:2014-05, Partikelgrößenanalyse – Bildanalyseverfahren – Teil 1: Statisches Bildanalyseverfahren

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Spanne der Abmessungen von Deck- (DS) und Mittelschichtspänen (MS) (Benthien, Ohlmeyer 2016) sowie Durchmesser von Tracheiden (Sperry et al. 2006) (logarithmisch skalierte Abszisse).....	4
Abbildung 2: Schematische Darstellung eines Laser-Profilesensors mit erklärender Beschriftung wichtiger Merkmale wie von LMI Technologies Inc. (Burnaby, Kanada) und Keyence (Osaka, Japan) verwendet.	5
Abbildung 3: Gegenüberstellung der Anzahl- bzw. Volumenanteile der nach dem volumenäquivalenten Kugeldurchmesser gebildeten Spanfraktionen. Auswertung einer 2 g-Spanprobe MS Fein.	11
Abbildung 4: Für die Fraktionen aufgetragene spezifische Spananzahl bei unterschiedlicher Montagehöhe des Sensors; Mittelwert und Standardabweichung über Dreifachbestimmung; logarithmisch skalierte Ordinate (y-Achse).	14
Abbildung 5: Über die Fraktionen aufgetragene Dichte bei unterschiedlicher Montagehöhe des Sensors; Mittelwert und Standardabweichung über Dreifachbestimmung. Zur Orientierung ist die Rohdichte von Kiefer (<i>Pinus sylvestris</i>) (Kollmann 1951) im Diagramm in Form einer gestrichelten Linie eingezeichnet.	15
Abbildung 6: Darstellung der für die bei unterschiedlicher Probeneinwaage in Bezug auf die Grundgesamtheit gebildeten Abweichungsbeträge. Die Berechnung der Abweichungsbeträge erfolgte auf Grundlage der Mittelwerte für die Dreifachbestimmungen in Bezug auf den Mittelwert der Grundgesamtheit.	18
Abbildung 7: Veränderung der Spandimensionen über mehrere Tage. 100 % entsprechen dem über den dargestellten Betrachtungszeitraum für die jeweilige Spandimensionen gebildeten Mittelwert.	21
Abbildung 8: Veränderung der Spandimensionen über mehrere Stunden. 100 % entsprechen dem über den dargestellten Betrachtungszeitraum für die jeweilige Spandimensionen gebildeten Mittelwert.	21
Abbildung 9: Veränderung des Schlankheitsgrades und der Schüttdichte über mehrere Stunden. 100 % entsprechen dem über den dargestellten Betrachtungszeitraum für Schlankheitsgrad bzw. Schüttdichte gebildeten Mittelwert.	22
Abbildung 10: Veränderung der Spandimensionen über mehrere Minuten. 100 % entsprechen dem über den dargestellten Betrachtungszeitraum für die jeweilige Spandimensionen gebildeten Mittelwert.	22

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Gegenüberstellung der für die Spandimensionen gebildeten anzahlgewichteten bzw. volumengewichteten Mittelwerte.	11
Tabelle 2: In der Sensorsoftware für den aktiven Messbereich vorgenommene Einstellungen im Fall „Sensor hoch“.	13
Tabelle 3: In der Sensoresoftware für den aktiven Messbereich vorgenommene Einstellungen im Fall „Sensor tief“.	13
Tabelle 4: Ergebnisse der Vermessung von Spanfraktionen bei unterschiedlichen Montagehöhen des Sensors.	14
Tabelle 5: Ergebnisse der Vermessung der Grundgesamtheit sowie der basierend auf dieser durchgeführten Dreifachbestimmungen mit unterschiedlichen Stichprobenumfängen (Probeinwaagen).	18
Tabelle 6: Zeitpunkte der Probennahme mit Angabe des jeweils produzierten Produktes.....	20

Bibliografische Information:
Die Deutsche Nationalbibliothek
verzeichnet diese Publikationen in
der Deutschen Nationalbibliografie;
detaillierte bibliografische Daten
sind im Internet unter
www.dnb.de abrufbar.

Bibliographic information:
The Deutsche Nationalbibliothek
(German National Library) lists this
publication in the German National
Bibliographie; detailed bibliographic
data is available on the Internet at
www.dnb.de

Bereits in dieser Reihe erschienene
Bände finden Sie im Internet unter
www.thuenen.de

Volumes already published in this
series are available on the Internet at
www.thuenen.de

Zitationsvorschlag – Suggested source citation:
Engehausen N, Benthien JT, Lüdtke J (2023) Voruntersuchungen zur Integration
einer 3D-Spanvermessung in den Spanplattenprozess. Braunschweig: Johann
Heinrich von Thünen-Institut, 34 p, Thünen Working Paper 210,
[DOI:10.3220/WP1679988313000](https://doi.org/10.3220/WP1679988313000)

Die Verantwortung für die Inhalte
liegt bei den jeweiligen Verfassern
bzw. Verfasserinnen.

The respective authors are
responsible for the content of
their publications.



Thünen Working Paper Klicken Sie hier, um Text einzugeben.

Herausgeber/Redaktionsanschrift – *Editor/address*

Johann Heinrich von Thünen-Institut
Bundesallee 50
38116 Braunschweig
Germany

thuenen-working-paper@thuenen.de
www.thuenen.de

DOI:10.3220/WP1679988313000
urn:nbn:de:gbv:253-202303-dn066182-7