

3D-Spanvermessung mit Laser-Profilsensoren

Betrachtung von Technologie, Potenzial im Prozess und Leistungsdaten hinsichtlich der Messkopfauswahl

Von Jan T. Benthien*, Nick Engehausen* und Dr. Jan Lüttke*, Hamburg

Die automatisierte Spanvermessung hat großes Potenzial für die Überwachung, Optimierung und Steuerung des Spanplattenprozesses. Schließlich beeinflusst die Spangeometrie maßgeblich den Klebstoffverbrauch sowie auch direkt die Platteneigenschaften. Um dieses Potenzial ausschöpfen zu können, muss die Sensorauflösung ein Fünftel der kleinsten relevanten Spanabmessung betragen.

Die Einflussfaktoren auf die Eigenschaften von Spanplatten werden seit deren Erfindung zu Beginn des 20. Jahrhunderts erforscht. Sie scheinen weitestgehend bekannt zu sein und lassen sich entweder dem eingesetzten Material oder dem Herstellungsprozess zuordnen (Abbildung 1).

Die materialbedingten Einflussfaktoren (Holz und Klebstoff) lassen sich über den Einkauf steuern bzw. sind davon bestimmt, auf welche Hölzer und Holzsortimente wirtschaftlich zugegriffen werden kann und ob ggf. interne Rohstoffströme aus anderen Produktionslinien oder Rückführung verarbeitet werden müssen. Die prozessbedingten Einflussfaktoren lassen sich durch die eingesetzten Zerspanungs-, Sieb-, Beileimungs-, Streuungs- und Pressentechnologien in gewissen Grenzen steuern. Viele Parameter werden bereits automatisiert erfasst, digital an die Leitwarte übermittelt und für die Prozesssteuerung genutzt. Insbesondere die Spangeometrie wird dabei bislang aber nur sporadisch, mit hohem Zeitaufwand und begrenztem Informationsgehalt erfasst. Und das, obgleich sie ein entscheidender Faktor für die mechanischen Eigenschaften der Spanplatten ist und maßgeblich die Effizienz des eingesetzten Bindemittels bestimmt.

Verfahren zur Spanvermessung

Zur Erfassung der Spangeometrie (Spanabmessungen und -form) stehen verschiedene Messverfahren zur Verfügung (Abbildung 2), die sich nach Messprinzip und Methode teils deutlich unterscheiden. Unterschiedliche Prinzipien (physikalische Grundlage) der Messung sind beispielsweise (a) der Vergleich der Dicke des Messobjektes mit einem Maßstab und (b) die Berechnung der Spandicke über eine Laserabstandsmessung mit Hilfe trigonometrischer Zusammenhänge bei der Triangulation. Basis bei (b) ist der Winkel, unter dem die auf das Messobjekt projizierte Laserlinie von einem Sensor erfasst wird. Die Methode der Messung (Art des Vorgehens) kann beispielsweise nach „direkt“ (z. B. Vergleich mit einem Maßstab) und „indirekt“ (z. B. Lasertriangulation) oder „analog“ und „digital“ (Beispiele wie zuvor) unterschieden werden.

* Die drei Autoren sind Mitarbeiter am Thünen-Institut für Holzforschung in Hamburg (Kontakt: jan.benthien@thuenen.de).

Viele der Verfahren zur Spanvermessung haben jedoch Nachteile. So ist die händische Vermessung zeitaufwendig und nur begrenzt reproduzierbar, da sie nicht automatisiert und mechanisiert ist. Bei der (mechanisierten) Siebanalyse erhält man eine Verteilung 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. Aus der Massenverteilung können Kennwerte, wie beispielsweise x_{50} (50 %-Quantil: theoretische Maschenweite, bei der 50 % der Spanprobe zurückgehalten werden) berechnet werden.

Die Bestimmung der Spanabmessungen mit digitaler Kamertechnik, 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 ihrer Ausrichtung zur Kamera unterschiedlich präzise [1]. Allein der Einsatz von 3D-Laser-Profilsensortechnik in Kombination mit der Ablage der Späne auf einer ebenen Fläche (keine freie Ausrichtung im Raum) ermöglicht die präzise Erfassung aller Spanabmessungen, inklusive der Spandicke, dem Spanvolumen und der Spanoberfläche.

Laserprofilsensortechnik

Das gemeinsam von der Fagus-Grecon Greten GmbH & Co. KG, Alfeld, und dem Hamburger Thünen-Institut für Holzforschung entwickelte Messgerät „3D Particleview“ (Abbildung 3) bestimmt mittels Lasertechnik automatisch alle für den Prozess relevanten geometrischen Späneigenschaften [2,3]. Für die Messung werden die Späne über zwei Vibrationsförderer einzeln und auf ein Förderband abgelegt, das die Späne dann unter einem 3D-Laser-Profilsensor hindurchführt (Abbildung 4). Nach Herstellerangaben werden auf einer Breite von 130 mm mit 1280 Profildatenpunkten, Höheninformationen in einem 100-µm-Raster erfasst. Neben Länge, Breite und Dicke werden hieraus das Volumen und die Oberfläche eines jeden Spans berechnet. Für die Berechnung dieser Eigenschaften wird das abgetastete Profil der Spanoberseite gespiegelt, sodass ein vollständiger, vir-

tueller Spankörper als Grundlage für die Berechnung von Spanvolumen und -oberfläche entsteht. Die Sensorauflösung in z-Richtung (Spandicke) wird mit 20 µm angegeben.

3D-Vermessung 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 Potenzial 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 Herstellungsprozess erscheint an drei Stellen besonders sinnvoll:

- 1) Hinter der Spanerzeugung, da hier die Spangeometrie beurteilt und auf Änderungen dieser reagiert werden kann.
- 2) Unmittelbar vor der Beileimung, da hier die Klebstoffmenge an die Spanoberfläche angepasst werden kann.
- 3) Unmittelbar vor der Streuung, weil hier die Späne, aus denen die Matte aufgebaut wird, in ihrer finalen Geometrie vorliegen.

Technisch ist es für die Spanvermessung ohne Bedeutung, ob beileimte oder unbeileimte Späne vorliegen, und damit eine ausdrückliche Spezifizierung der Messgeräteignung diesbezüglich irrelevant. Beim Einsatz eines Messerringerzspanners 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 h), zeigten Praxisversuche mit dem „3D Particleview“, die Dr. Torben Marhenke, Teamleiter Forschung und Entwicklung bei Fagus-Grecon, im „MDF-Magazin“ im Jahr 2019 [4] darstellte.

Die Berechnung der erforderlichen Klebstoffmenge erfolgt derzeit auf Basis der Masse der absolut trockenen (atro) Späne. Die Variation der Spangrößenzusammensetzung innerhalb der Gutfractionen, 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. Eine Korrektur der Prozessparameter ist damit erst nach der bereits erfolgten Produktion möglich und – bei nicht erreichten technischen

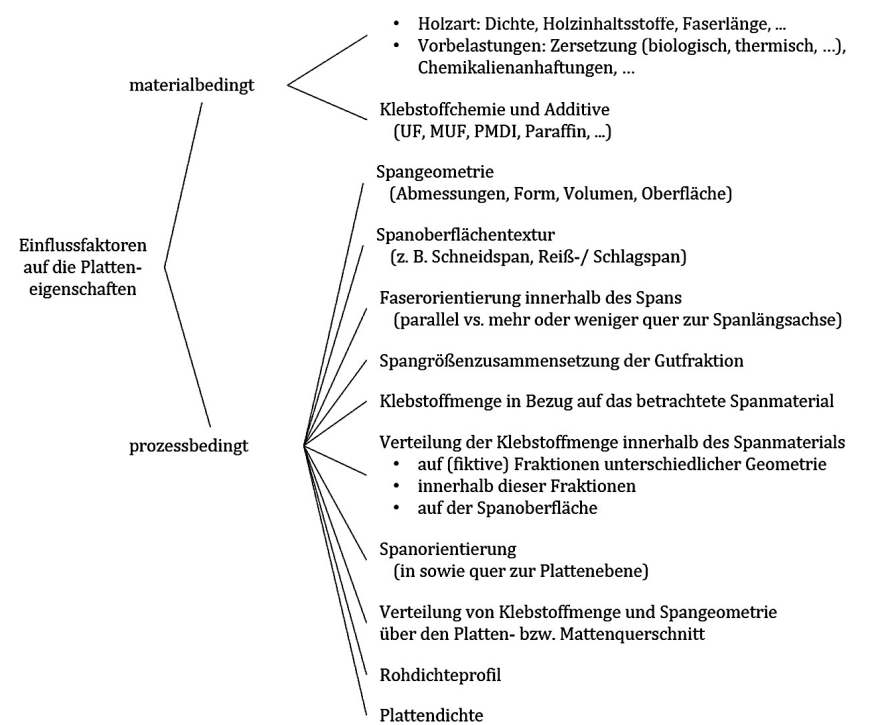


Abbildung 1 Einflussfaktoren auf die Eigenschaften von Spanplatten

Verfahren	Methode	Beispielgeräte
Händische Vermessung		Messschieber, Dickentaster
Siebanalyse		„Plansiebmaschine AS 400 Control“ (Retsch GmbH; Haan, D)
2D Bildanalyse	Mit Ablage der Späne auf einer ebenen Fläche	„Fibreshape automatic“ (IST AG; Vilters, CH) „Haver CPA 4 Conveyor“ (Haver & Böcker OHG; Oelden, D)
	Ohne Ablage der Späne auf einer ebenen Fläche (freier Fall)	„Camsizer“ (Microtrac Retsch GmbH; Haan, D); „QicPic“ (Symptec GmbH; Clausthal-Zellerfeld, D)
3D Bildkonstruktion	Ohne Ablage der Späne auf einer ebenen Fläche (freier Fall)	„Partimac 3D XL“ (BASF SE; Ludwigshafen, D)
3D Lasertechnik		„3D Particleview“ (Fagus-GreCon Greten GmbH & Co. KG.; Alfeld, D)

Abbildung 2 Übersicht von Verfahren zur Spanvermessung mit Gerätebeispielen

Platteneigenschaften – möglicherweise mit Plattenausschuss verbunden. Diesem Sachverhalt wird in der Beileimung mit einer prinzipiell überhöhten Klebstoffmenge begegnet, um die Zieleigenschaften der Platte sicherzustellen. Die Bestimmung der tatsächlichen Spanoberfläche bereits vor der Beileimung 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 ist es also bspw. möglich, einer nicht optimalen Spangeometrie direkt mit einer Anpassung der Streuung, z. B. einem erhöhten Materialeinsatz (Dichteerhöhung), zu begegnen.

Mögliche Einsparpotenziale

Unter Annahme einer jährlichen Produktionsmenge von 600 000 m³ Spanplatte mit einer Dichte von 650 kg/m³, einem mittleren Klebstoffanteil von 9 % über die gesamte Platte und sich hieraus

auf Basis der Angaben von AlRmann (2015) [5] für Holzkosten (48 Euro), Holzaufbereitung (20 Euro) und Leimkosten (23 Euro) pro Kubikmeter Spanplatte ergebenden Preisen für Holz (89 Euro/t), Spanaufbereitung (37 Euro/t) sowie Klebstoffemulsion (311 Euro/t), ergibt sich für eine Materialeinsparung von 1 % durch Prozessoptimierung eine Kosteneinsparung von rund 546 000 Euro/a. Zieht man aktuellere Klebstoffpreise in Höhe von rund 570 Euro/t [6] heran, beträgt die potenzielle Kosteneinsparung rund 661 000 Euro/a.

Im Interview mit „Wood Based Panels International“ [7] berichtete Dr. Jörg Hasener, Leiter der Business Unit Messtechnik bei Fagus-Grecon, von einer Einsparung in Höhe von 250 000 Euro/a durch Optimierung der Spangeometrie bei einer Testanwendung des „3D Particleview“ in der Industrie. Die Einsparung setzte sich im Detail aus einer Reduktion der Siebverluste um 1 % (150 000 Euro) und einer Senkung der Leimkosten um 100 000 Euro zusammen. Die Summe der Einsparung aufgrund der Reduktion der Siebverluste wird in einem Videobeitrag der Firma auf Basis einer Zerspanungsleistung von 150 000 t/a (20 t/h, 23 h/d, 330 d/a) und Kosten von 100 Euro/t produzierter Späne hergeleitet [8].

Oberflächenspezifische Klebstoffmenge

Das Beaufschlagen des Spanmaterials mit Klebstoff erfolgt in technisch unterschiedlich ausgestalteten Leimmischern, in denen der Klebstoff als Sprühnebel eingebracht wird. Entsprechend der Klebstoffmenge und der Verteilung des Klebstoffes auf der Oberfläche einzelner Späne sowie über die Späne insgesamt, sind die Späne nach dem Verpressen miteinander verbunden und wirken in ihrer Gesamtheit als Werkstoff zusammen. Die Berechnung der Klebstoffmenge erfolgt in aller Regel massebasiert, also Trockenmasse Klebstoff pro Trockenmasse Späne. Verän-



Abbildung 3 Laborgerät „3D Particleview“ zur dreidimensionalen Spanvermessung

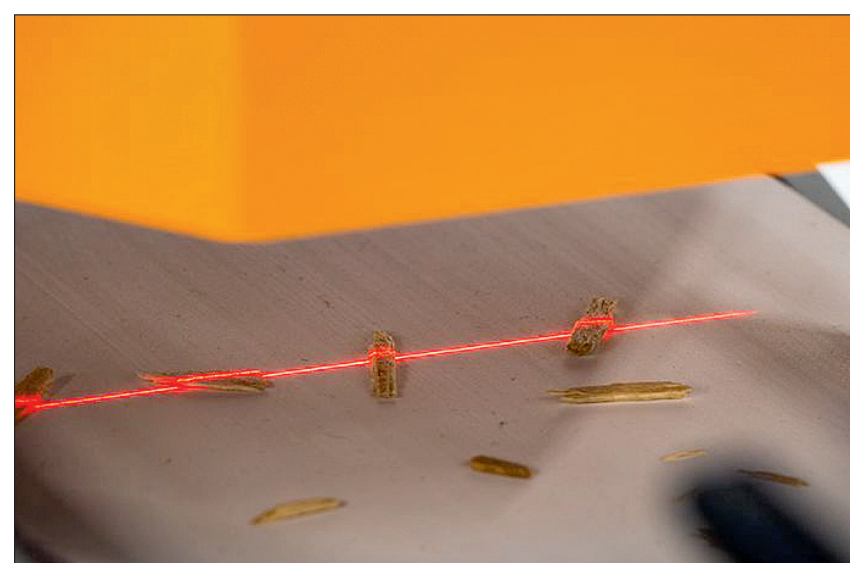


Abbildung 4 Auf Förderband und Späne projizierte Laserlinie. Fotos: Jürgen Bartels

3D-Spanvermessung mit Laser-Profilensoren

Fortsetzung von Seite 541

derungen in der Spangrößenzusammensetzung führen folglich zu veränderten relativen, auf die Spanoberfläche bezogenen Klebstoffmengen. Bei konstanter Probenmasse steigt die Oberflächensumme mit abnehmender Spangröße, mit zunehmender Spangröße sinkt die Oberflächensumme. Schließlich haben, in Bezug auf ihr Volumen, kleinere Späne eine größere Oberfläche, größere Späne eine kleinere Oberfläche. Das wird aus Abbildung 5 deutlich, in der die auf ein einheitliches Volumen bezogene Oberfläche (vergleichbar dem Verhältnis von Oberfläche zu Volumen, A/V-Verhältnis) über die Spangröße aufgetragen ist. Datenbasis hierbei sind die Oberflächen und Volumen von Kugeln und Quadern, die anhand des mittleren volumenäquivalenten Kugeldurchmessers der jeweiligen Größenklasse berechnet wurden. Das Seitenverhältnis (10,2 zu 2,4 zu 1) der Quader entspricht dem eines typischen industriellen Mittelschichtspans (siehe Unterpunkt „Größenordnung von Deck- und Mittelschichtspänen“).

Eine Veränderung der Spangrößenzusammensetzung in Richtung eines kleineren Kennwerts bedeutet eine Abnahme der oberflächenspezifischen Klebstoffmenge. Umgekehrt gilt für eine Veränderung der Spangrößenzusammensetzung in Richtung eines größeren Kennwerts. Soll bei der Beileimung die variierende Spangrößenzusammensetzung berücksichtigt werden, ist die Klebstoffmenge anhand der Spanoberfläche zu berechnen.

Zum Einsparen von Klebstoff ist es aber auch denkbar, leimbindende Fraktionen (Feinanteil) auszulesen. Das wird an folgendem Beispiel klar: Nach virtuellem Klassieren anhand des Spanvolumens (volumenäquivalenter Kugeldurchmesser) wurden die Ergebnisse der Vermessung von Materialproben (n=3) eines industriellen Mittelschichtspans mit dem „3D Particleview“ (Softwareversion 0.1.3.1) nach den Anteilen der jeweiligen Oberflächen- bzw. Volumensumme an der Gesamtoberfläche bzw. -volumen aufgetragen (Abbildung 6). Für die graphische Darstellung wurden jeweils Mittelwerte und Standardabweichungen der Anteile über die drei vermessenen Spanproben herangezogen. Als Untergrenze für die Berücksichtigung wurde eine Spanoberfläche von mindestens 2 mm² definiert. Zu erkennen ist, dass feine Späne (Volumenfraktionen 0 – 1,5 mm) einen hohen Anteil an der Gesamtoberfläche haben (20%), gleichzeitig jedoch nur gering zum Plattenvolumen beitragen (9 % des Gesamtvolumens).

Werden gedanklich die Volumenfraktionen im Bereich von 0 – 1,5 mm ausgesiebt und die fehlende Masse anteilig mit den Fraktionen >1,5 mm ersetzt, wird das Verhältnis von Gesamtoberfläche zu Gesamtvolumen gesamt. Bei unverändertem Klebstoffanteil (massen-

spezifisch) bewirkt das eine Zunahme der relativen, oberflächenspezifischen Klebstoffmenge. Wird hingegen die oberflächenspezifische Klebstoffmenge konstant gehalten, sinkt die erforderliche massenspezifische Klebstoffmenge, d. h. es wird Klebstoff eingespart (Tabelle 1).

Das Optimieren der Spangrößenverteilung, d. h. Reduktion von Spänen mit großem Anteil an der Gesamtoberfläche, aber geringem Beitrag zum Plattenvolumen, über Aussieben ist mit Materialverlust verbunden. Zu prüfen wäre, ob die Einsparung von Klebstoff die Mehrkosten für Holz aufwiegt. Von größerem Nutzen wäre es, die Erzeugung kleiner Späne von vornherein durch eine optimierte Zerspaltung zu reduzieren. In diesem Fall würde neben Klebstoffkosten gleichzeitig auch Holz eingespart werden.

Messaufgabe

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

(a) an einer Position im Prozess, z. B. Zerspaltung, Beileimung oder Streuung, über die Zeit oder

(b) über den Prozessverlauf, z. B. zur Nachverfolgung der Partikelgrößenänderung aufgrund mechanischer Belastungen bei Transportprozessen.

Ziele der Spanvermessung sind die Ermittlung der Spanoberfläche pro Trockenmasse (mit Fokus auf der oberflächenspezifischen Klebstoffmenge) sowie von Kennwerten – z. B. die mittlere Spandicke zur Überwachung der Zerspaltung – für das Spanmaterial insgesamt. Grundlage hierfür ist die Erfassung der Geometrie der Einzelspäne mit einer der Objektgröße angepassten Auflösung, die die jeweilige Spandimension (Dicke: z-Richtung bzw. Länge, Breite: Bandebene) in der erforderlichen Genauigkeit ausgibt.

Größenordnung von Deck- und Mittelschichtspänen

Bei der Zerspaltung von Holz im Herstellungsprozess von Spanplatten entsteht stets ein Gemenge aus Spänen unterschiedlicher Abmessungen. Das erzeugte Spanmaterial wird mittels Sieben von Grob- und Feinanteilen befreit und in Deck- und Mittelschichtspäne fraktioniert. In Abhängigkeit der Maschenweite der hierfür eingesetzten Siebe sind die Fraktionen aus Spänen bestimmter Abmessungs-Spannen zusammengesetzt.

Mit Ausnahme der Breite von Deckschichtspänen ist bei Dunky und Niemz (2002) [9] eine tabellarische Auflistung der Abmessungs-Spannen von Deck- und Mittelschichtspänen zu finden. Für die Länge von Deckschichtspänen wird eine Spanne von 3...10 mm, für die Di-

cke 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 Abmessungs-Spannen in Abbildung 7 wurde die Breite von Deckschichtspänen 0,3...1,3 mm aus Ergebnissen eigener Siebanalysen von Spänen dreier verschiedener Plattenhersteller [10] abgeleitet (Mittelwerte von jeweils x_{10} und x_{90}). Dass die Spangröße nach Siebanalyse als Spanbreite angenommen werden kann, wurde in einem vorherigen Beitrag [11] 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.

Leistungsmerkmale von 3D-Laser-Profilensoren

Wichtige Leistungsmerkmale von 3D-Laser-Profilensoren sind Messbereich und Auflösung, zu denen Hersteller jeweils eine Angabe in x-Richtung (Spanlänge/-breite) und z-Richtung (Spandicke) machen. Während der Begriff Messbereich gemeinhin den Bereich definiert, in dem eine Messgröße zuverlässig bestimmt wird, 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 8). 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 (Abbildung 9) und, in Abhängigkeit des Abstandes vom Sensor, ein unterschiedlich breiter Lichtfächer vorliegt (vgl. Nah- vs. Fernmessbreite in Abbildung 8).

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 der Anzahl an Profildatenpunkten, über die die projizierte und vom Bildsensor erfasste Laserlinie (Abbildung 9) wiedergegeben wird, und dem Messbereich, in beispielsweise x-Richtung also der Breite der Laserlinie.

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 Messbe-

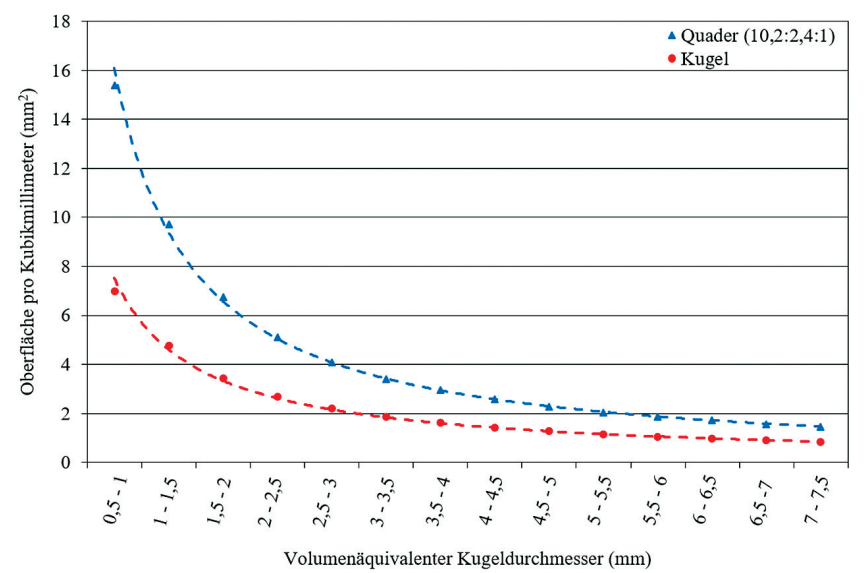


Abbildung 5 Auf ein einheitliches Volumen bezogene Oberfläche von Kugeln und Quadern, die anhand des mittleren volumenäquivalenten Kugeldurchmessers der jeweiligen Größenklasse berechnet wurden.

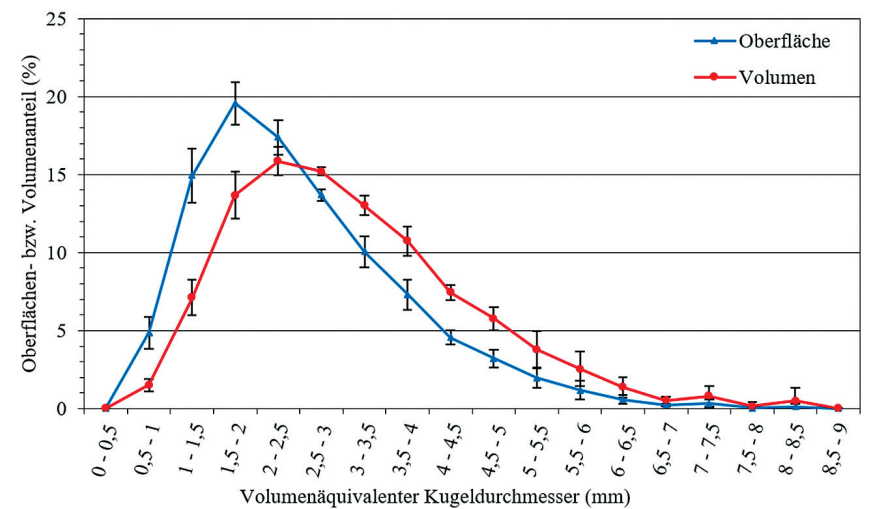


Abbildung 6 Verteilung der Spanoberflächen- und -volumenanteile über die Volumenfraktionen

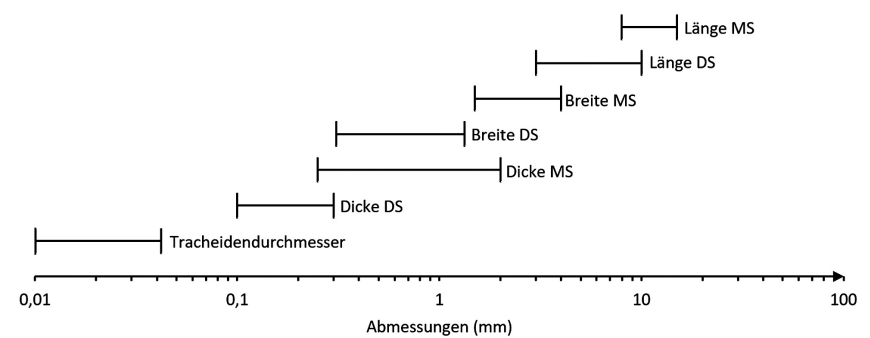


Abbildung 7 Spanne der Abmessungen von Deck- (DS) und Mittelschichtspänen (MS) [9, 10] sowie Durchmesser von Tracheiden [12] (logarithmisch skalierte Abszisse)

reich 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. Schließlich ist die maximale Auflösung in Bewegungsrichtung

der Messobjekte durch die maximale Abtastrate limitiert. 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

Fortsetzung auf Seite 543

Tabelle 1 Musterberechnung oberflächen-spezifischer Klebstoffmenge¹

		Betrachtete Fraktionen				
		Alle	>1,5 mm	>2,5 mm	>3,5 mm	
Masse	feucht*	[g]	47	43	29	16
	trocken	[g]	43	39	26	14
Volumen	Messwert	[mm ³]	128233	116847	78670	42643
	Reduktion	[%]	–	9	39	67
Oberfläche	Messwert	(mm ²)	367129	292441	156439	70362
	Reduktion	[%]	–	20	57	81
	massenspez.	(mm ²)	8605	7522	5976	4959
	A/V-Verhältnis		2,86	2,50	1,99	1,65
Klebstoffmenge**	massenspez.	[g]	0,08	0,08	0,08	0,08
	oberflächenspez.	[g/m ²]	9	11	13	16
	Zunahme	[%]	–	14	44	74
	Klebstoffmenge***	oberflächenspez.	[g/m ²]	9	9	9
massenspez.		[g]	0,08	0,07	0,056	0,046
Anteil		[%]	8,0	7,0	5,6	4,6
Abnahme		[%]	–	13	31	42

¹Berechnung bei einheitlichem Klebstoffanteil (8 %) und bei Ausschluss feiner Fraktionen in der Datenauswertung sowie potenzielle Reduktion der Klebstoffmenge bei alleiniger Betrachtung der Grobfraktionen und einheitlicher oberflächen-spezifischer Klebstoffmenge

* u = 10,5 %, ** Klebstoffanteil 8 %, *** Klebstoffmenge 9 g/m²

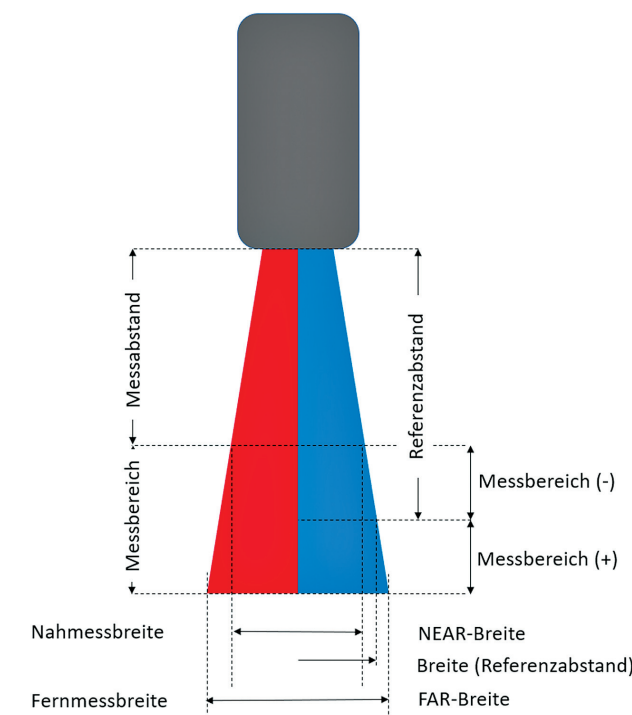


Abbildung 8 Schematische Darstellung eines Laser-Profilensors mit erklärender Beschriftung wichtiger Merkmale wie von LMI Technologies Inc. (Burnaby, Kanada) und Keyence Corp. (Osaka, Japan) verwendet

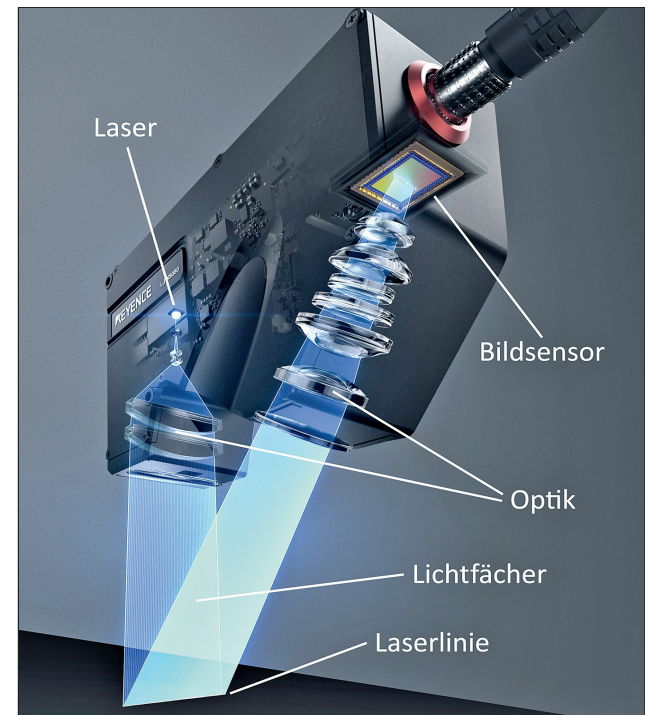


Abbildung 9 Technische Details eines 3D-Laser-Profilensors (Modellreihe „LJ-X 8000“, Keyence) mit Beschriftung wichtiger Elemente

Foto: Keyence, Nachbearbeitung: Waitkus

3D-Spanvermessung mit Laser-Profilensensoren

Fortsetzung von Seite 542

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 von Messbereich bzw. Endwert und Linearität (Linearitätsfehler) als Kennwert herangezogen werden.

Ein augenscheinlicher Unterschied zwischen Laser-Profilensensoren besteht in der Wellenlänge des eingesetzten Lasers. Laser mit einer Wellenlänge von rund 650 nm projizieren eine rote Laserlinie, Laser mit einer Wellenlänge von etwa 430 nm eine blaue Laserlinie. Vor- und Nachteile dieser technischen Details sind vor dem Hintergrund der Gesamtkonzeption des Messgerätes zu

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 Abmessungs-Spanne bei beabsichtigter Vermessung von Deck- und Mittelschichtspänen gleichermaßen (z. B. bei Vermessung des Ausgangs-Spanmaterials 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 ein Zehntel (ein Fünftel) 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 Abmessungs-Untergrenze (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 Abmessungs-Spanne in z-Richtung von 0,1 bis 0,3 mm. Analog zur obigen Rechnung werden die tatsächlichen Spanabmessungen über die Abmessungs-Spanne von nur 39 (19) Messwerten (0,01...0,39 mm (0,02...0,38 mm)) abgebildet. Dieses Zahlenbeispiel zeigt, dass neben der Untergrenze der erwarteten Abmessungs-Spanne die Abmessungs-Spanne selbst für die Abschätzung der erforderlichen Auflösung einzubeziehen ist und eine höhere Auflösung als die festgelegten Abmessungs-Spanne geboten sein kann.

Hinweise auf 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.

Kennwert als Ergebnis der Spanvermessung

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.

Mit einem Kennwert für das untersuchte Spanmaterial könnten z. B. Optimierungen im Bereich der Streuung realisiert werden. So ist bei optimaler Spangeometrie ein maximal effizienter Holzeinsatz zu erwarten, während Ab-

weichungen vom Optimum mit einer Erhöhung der Plattendichte [14] über die Verringerung der Formbandgeschwindigkeit begegnet werden kann.

Wie die Abnahme der Spanabmessungen, von der Marhenke im „MDF-Magazin“ berichtete [4], den ermittelten Kennwert verändern dürfte, wird in Tabelle 2 veranschaulicht. Hierfür wurden aus der oben angeführten Vermessung industrieller Mittelschichtspäne mit dem „3D Particleview“ die mittlere Spandicke, die aus mittlerer Spandicke und -breite berechnete Stirnfläche und das mittlere Spanvolumen, nach Angaben zu entsprechenden Abnahmen (7, 24 und 30 %) nach Hasener [15] herangezogen. Da es sich hier um berechnete, statistische Kennwerte handelt, die eine Spanprobe anhand der vorliegenden Verteilung einer geometrischen Spangeometrie charakterisiert, sind mehr Nachkommastellen anzugeben, als es die Sensorauflösung zulässig erscheinen lässt. Der Fehler des Kennwertes gegenüber dem Erwartungswert der tatsächlichen Grundgesamtheit aller Späne wird mit größer werdendem Stichprobenumfang kleiner, d. h. der Kennwert repräsentativer.

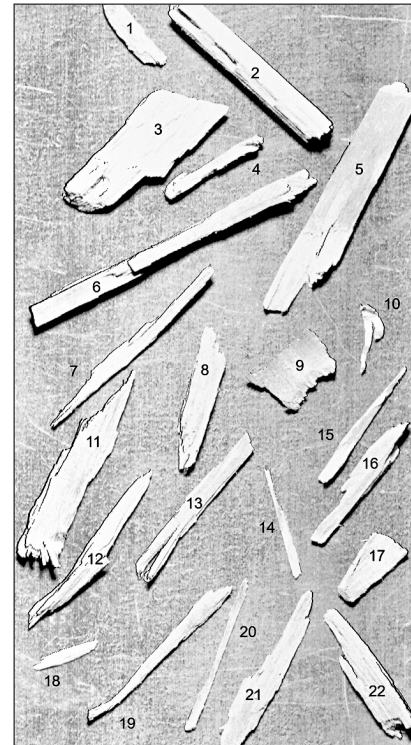
Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Mit dem „3D Particleview“ steht Praxis und Forschung seit Anfang 2020 ein Laborgerät zur Verfügung, das automatisiert sowohl die Spanabmessungen als auch die Spanoberfläche umfangreicher Spanproben bestimmt. Für die Spanplattenindustrie besteht damit die Möglichkeit, die Qualität der erzeugten Späne nicht nur indirekt über die Stromaufnahme der Zerspaner zu überwachen, sondern auch direkt Kenntnis der tatsächlich vorliegenden Spangeometrie zu erlangen. Mit der Vermessung im Bereich der Streuung können Abweichungen von der optimalen Spangeometrie frühzeitig erkannt, darauf reagiert und Fehlproduktionen vermieden werden. Die Bestimmung der Spanoberfläche im Bereich der Beleimung ermöglicht eine bedarfsgerechte Einstellung der Klebstoffmenge, welche die Berechnung anhand der Spanmasse ersetzen kann. Dass bereits eine geringfügige Materialeinsparung durch Prozessoptimierungen innerhalb eines Jahres zu einer Amortisierung der Anschaffungskosten führen kann, wurde an Zahlenbeispielen demonstriert.

Da bislang wenig Erfahrungen zum Einsatz von Laser-Profilensensoren für die Spanvermessung vorliegen, wurden Details der Technologie und wichtige Leistungsmerkmale erklärt und diskutiert. Hierbei wurde aufgezeigt, wie neben dem räumlichen Messbereich insbesondere die Auflösung zu wählen ist, damit die Messaufgabe erfüllt werden kann. Hierfür wurde die „Goldene Regel der Messtechnik“ auf die Spanvermessung übertragen und gezeigt, dass die Auflösung mindestens ein Zehntel, im „äußersten Fall“ ein Fünftel, der kleinsten erwarteten Abmessung betragen soll.

Die Messaufgabe wurde auf Basis von Literaturwerten für Spanlänge, -breite und -dicke von Deck- und Mittelschichtspänen hergeleitet und als das Erfassen der Abmessungen, der Oberfläche und des Volumens sowie deren Veränderung an einer Position im Prozess oder über den Prozessverlauf einer Vielzahl von Spänen definiert. Festgehalten wurde, dass nicht unbedingt die Abmessungen der kleinsten Späne erfasst werden müssen. Sind beispielsweise allein die groben Späne in einem Deckschichtmaterial von Interesse, muss die Auflösung auch nur auf diese Späne ausgelegt sein. Soll die Beleimung anhand der Ergebnisse der Spanvermessung gesteuert werden, so ist die zuverlässige Vermessung aller Späne einer repräsentativen Spanprobe nötig. Ist eine höhere Auflösung für die Bewältigung der Messaufgabe erforderlich, als verfügbare Sensoren mit ausreichender Messbreite anbieten, könnten mehrere baugleiche Messköpfe nebeneinander positioniert werden. Alternativ wäre auch eine Kombination von einem hochauflösenden und einem Sensor mit großer Messbreite denkbar.

Wenngleich der Einsatz von 3D-Laser-Profilensensoren zur Spanvermessung noch neu ist und die technische Geräteauslegung verschiedene Herausforderungen birgt, zeigen die Akzeptanz des „3D Particleview“ sowie bereits in der Industrie erzielte Erfolge bei der Prozessoptimierung, dass die 3D-Spanvermessung zukünftig in Industrie und Forschung eine bedeutende Rolle spielen wird. Grecon, der Holzwerkstoffhersteller Pfeleiderer und das Thünen-Institut haben am 1. Dezember letzten Jahres ein von der FNR gefördertes Forschungsprojekt zur Integration des „3D Particleview“ in den Spanplattenprozess gestartet [16].



Vor dem Hintergrund der Vielzahl angebotener 3D-Laser-Profilensensoren unterschiedlicher Leistungsmerkmale (Auflösung, Messbereich, Laserfarbe, ...) verschiedener Hersteller liegt ein praktischer Anwendungstest stets nahe (Tabelle 3). Hierfür herangezogen wurden der „LJ-X 8080“ von Keyence und 22 Musterspäne eines Mittelschichtspans.

Der 3D Laser-Profilensensor war hierfür auf ein Stativ montiert (rechte Abbildung; Foto: Engehausen, Benthien; Nachbearbeitung: Waitkus). Die Späne wurden händisch auf den am Stativfuß montierten Schiebetisch vereinzelt und hierauf durch den Messbereich des Sensors geführt (Abbildung links: Bitmap der Musterspäne mit nachträglich ergänzter Nummerierung). Die Abtastrate wurde über einen am Schiebetisch montierten Encoder gesteuert. Für den getesteten Sensor gibt der Hersteller einen Messbereich an in z-Richtung von +/-20,5 mm zum Referenzabstand (73 mm), d. h. Endwert 41 mm, in x-Richtung, in Abhängigkeit des Montageabstands, von 30 mm (NEAR-Seite) bis 39 mm (FAR-Seite). Als Auflösung (Profildatenintervall) in x-Richtung werden 12,5 μm angegeben. Die Auflösung in z-Richtung ist das Produkt von Messbereich (Endwert) und Linearitätsfehler (+/-0,004 %) und beträgt entsprechend 2 μm .

Tabelle 3 Messwerte der Testanwendung mit dem 3D-Laser-Profilensensoren „LJ-X 8080“

Span Nummer	Länge [mm]	Breite [mm]	Dicke [mm]
1	9,0	2,4	1,2
2	19,9	3,6	2,7
3	17,1	6,8	2,7
4	10,7	2,1	1,9
5	25,0	4,8	1,9
6	29,9	3,2	2,5
7	21,2	2,0	2,0
8	13,9	3,1	2,1
9	7,9	5,7	1,4
10	6,2	1,3	0,5
11	20,8	4,7	2,8
12	18,7	3,2	2,6
13	16,6	3,4	2,3
14	10,7	0,9	0,4
15	13,4	1,6	1,0
16	14,5	3,5	1,8
17	7,6	4,2	1,7
18	6,2	1,3	0,5
19	18,6	2,0	1,1
20	15,3	1,1	0,6
21	17,0	2,5	1,8
22	14,4	2,7	1,6

bewerten und spielen für den Endnutzer eine untergeordnete Rolle.

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 trivialerweise 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 erforderlichen 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 ein Zehntel, im äußersten Fall ein Fünftel der Toleranz des Nennmaßes nicht überschreiten soll [13]. Auf die Spanvermessung übertragen heißt das: die Auflösung des Messkopfes soll ein Zehntel, im äußersten Fall ein Fünftel, der Untergrenze der Abmessungs-Spanne, 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 Abmessungs-Spanne 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 ein Zehntel 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

lungen birgt, zeigen die Akzeptanz des „3D Particleview“ sowie bereits in der Industrie erzielte Erfolge bei der Prozessoptimierung, dass die 3D-Spanvermessung zukünftig in Industrie und Forschung eine bedeutende Rolle spielen wird. Grecon, der Holzwerkstoffhersteller Pfeleiderer und das Thünen-Institut haben am 1. Dezember letzten Jahres ein von der FNR gefördertes Forschungsprojekt zur Integration des „3D Particleview“ in den Spanplattenprozess gestartet [16].

Literaturverweise

- [1] Benthien, J. T.; Lüdtkke, 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): 558-562
- [2] Benthien, J. T.; Heldner, S.; Lüdtkke, J. (2019): Spandicke bildanalytisch messen. Holz-Zentralblatt, 145 Jhg., Nr. 38, 20. September, Seite 800
- [3] <https://www.thuenen.de/de/hf/projekt/entwicklung-eines-bildanalyse-basierten-systems-zur-automatischen-bestimmung-der-spanabmessungen-bei-der-spanplattenproduktion/> [abgerufen am 17.06.2022]
- [4] Marhenke, T.; Hasener, J. (2019): Späne lügen nicht. MDF-Magazin, Oktober 2019, Supplement von Holz-Zentralblatt und HK, Seite 78-82
- [5] Alßmann, J. (2015): Kostendruck macht erfinderisch. 11. Holzwerkstoffkolloquium, 10-12. Dezember 2015, Dresden
- [6] Euwid Holz und Holzwerkstoffe (2021): Anstieg der Harzpreise hat sich im Oktober verstärkt / Leim- und Imprägnierharzpreise werden in kurzen Abständen angepasst 21.10.2021

[7] Powney, S. (2020): Made to measure. Wood Based Panels International, Dezember 2019/Januar 2020, Seite 32-33

[8] Fagus-Grecon Greten GmbH & Co. KG (2021, 12. Juli): Spanvermessung mit dem 3D Particleview [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=fhkMxT5IVTQ>

[9] Dunky, M.; Niemz, P. (2002) Holzwerkstoffe und Leime - Technologie und Einflussfaktoren, Springer, Seite 105

[10] Benthien, J. T.; Ohlmeyer, M. (2016): Zusammenhang von Spanqualität und Platteneigenschaften – Eine Untersuchung von Spänen verschiedener Hersteller. Thünen Working Paper 52, Johann Heinrich von Thünen-Institut

[11] Benthien, J. T.; Heldner, S.; Lüdtkke, J. (2019): Vorteile durch bildanalytisches Messen der Spandicken. Holz-Zentralblatt, 145 Jhg., Nr. 50, 13. Dezember, Seite 1101-1103

[12] Sperry, J. S.; Hacke U. G.; Pittermann, J. (2006): Size and function in conifer tracheids and angiosperm vessels. American journal of botany, 93(10): 1490-1500

[13] Berndt, G.; Hultsch, E.; Weinhold, H. (1968): Funktionstoleranz und Meßunsicherheit. Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Universität Dresden, 17(2): 465-471

[14] Clad, W. (1982): Die Rohdichtesenkung bei Spanplatten – Eine Literaturübersicht. Holz als Roh- und Werkstoff, 40(10): 387-393

[15] Hasener, J. (2019): Innovationen: 3D Spananalyse & automatisierte Formaldehyd Emissionsmessung. 6. Grecon-Holzwerkstoffsymposium, 19. – 20. September 2019, Berlin

[16] <https://www.fnr.de/index.php?id=11150&fktz=2220HV090X> [abgerufen am 17.06.2022]