

Bearbeitungszentren, Energieeffizienz, Trockenbearbeitung

Absaugung von Span- und Staubpartikeln*

Entwicklung eines Prozesses zur Bewertung des Erfassungsgrades bei Absaugeinrichtungen

M. Schneider, T. Stehle, H. Möhring

Steigende Anforderungen an eine ökologisch nachhaltige Produktion geben der Absaugtechnik eine zentrale Rolle zur Effizienzsteigerung und Ressourceneinsparung in der Holzbearbeitungsindustrie. Die vorliegende Energiebilanz unterstreicht die Relevanz der Durchführung der Untersuchungen, da bis zu 45 % der eingesetzten elektrischen Energie im Holzverarbeitenden Gewerbe durch die Absaugtechnik verbraucht wird. Dies gilt sinngemäß auch für die spanende Bearbeitung von Faserverbundwerkstoffen, da bei deren Bearbeitung vielfach auf Werkzeugmaschinen aus der Holzbearbeitung zurückgegriffen wird.

Suction of chip and dust particles - Developing a process for assessing the capture efficiency of suction devices

Due to increasing demands for ecologically sustainable production systems, suction technology plays a central role in increasing efficiency and saving resources in the woodworking industry. The relevance for investigation is underlined by an energy balance indicating that up to 45 % of the electrical energy in the wood processing industry is consumed by suction technology.

1 Einleitung

Die spanende Bearbeitung von Holz und Holzwerkstoffen sowie von faserverstärkten Kunststoffen ist mit einer hohen Emission von Spänen und Stäuben verbunden. Um den zulässigen Expositionsbegrenzungswert je Kubikmeter Raumluft am Arbeitsplatz einzuhalten, ist jedoch ein hoher energetischer Aufwand für eine ausreichende Entsorgung notwendig. Span- und Staubablagerungen in und um eine Bearbeitungsmaschine führen zudem zu einer Erhöhung der Brandlast.

Prof. Dr.-Ing. Hans-Christian Möhring,
Dr.-Ing. Thomas Stehle, Dipl.-Ing. Matthias Schneider
Institut für Werkzeugmaschinen (IfW) – Universität Stuttgart
Holzgartenstr. 17, D-70174 Stuttgart
Tel. +49 (0)711 / 685-82396, Fax +49 (0)711 / 685-72396
E-Mail: thomas.stehle@ifw.uni-stuttgart.de
oder matthias.schneider@ifw.uni-stuttgart.de
Internet: www.ifw.uni-stuttgart.de

Dank

Die in diesem Beitrag vorgestellten Arbeiten werden durch das Ministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) im Rahmen des IGF-Forschungsprojekts Nr. 19163 N/1 „Effizienzsteigerung der Späneerfassung bei der spanenden Bearbeitung von Verbund- und Holzwerkstoffen sowie Kunststoffen“ gefördert. Die Autoren danken dem BMWi für die gewährte Förderung.

* Bei den mit einem Stern gekennzeichneten Beiträgen handelt es sich um Fachaufsätze, die von Experten auf diesem Gebiet wissenschaftlich begutachtet und freigegeben wurden (peer-reviewed).

Des Weiteren bilden Holzstäube in hohen Konzentrationen in Verbindung mit Luft ein explosionsfähiges Gemisch. Auch bei CFK (carbonfaserverstärkter Kunststoff)-Stäuben ist ab einer bestimmten Konzentration von einem explosionsfähigen Gemisch auszugehen. Hierbei sind aktuell die Höhe der jeweiligen Konzentrationen in Abhängigkeit der vorliegenden Partikelart und -größe nicht bekannt. Aus diesen Gründen muss die bei der Bearbeitung entstehende Späne- und Staubemission sicher und effizient einer Entsorgung zugeführt werden. Darüber hinaus führen Späne- und Staubablagerung zu Verschlechterungen bei der Bearbeitungsqualität und zu notwendigen nachgelagerten Arbeitsschritten im Herstellungsprozess, wie beispielsweise dem Abreinigen der Werkstücke.

Da die Absaugung in der Holzbearbeitung bis zu 45 % des elektrischen Energieverbrauchs verursacht [1], rückt eine effiziente Späne- und Stauberfassung in den Blickpunkt einer ressourcen- und energieschonenden Produktion. Trotzdem wird eine zuverlässige Span- und Stauberfassung gefordert, um die zuvor erwähnte Exposition und die Gefahren durch die Späne- und Staubemission auszuschließen. Zur Untersuchung und Bewertung des Erfassungsgrades von unterschiedlichen Absaugsystemen für stationäre Holzbearbeitungsmaschinen wurde am Institut für Werkzeugmaschinen der Universität Stuttgart eine Untersuchungsmethode erarbeitet, die einen transparenten Vergleich zwischen verschiedenen Absaugsystemen bei definierten Bearbeitungsprozessen ermöglicht.

2 Stand der Technik

Um den Erfassungsgrad der Absaugung nicht zu mindern, müssen folgende Grundanforderungen durch die eingesetzten Absauganlagen gewährleistet sein: Optimale Späneerfassung, geringe Luftgeschwindigkeit, Verschleißresistenz der Komponenten, Abstimmung des Systems von Werkzeug und Absaughaube, geringe Kosten sowie eine hohe Variabilität [2].

Absauganlagen bestehen aus einer Vielzahl verschiedener Komponenten, deren einzelne Wirkungsgrade direkten Einfluss auf die Effizienz der gesamten Anlage haben. Bei den hier zugrundeliegenden Untersuchungen steht der zentrale Prozess zur Erfassung der entstehenden Späne und Stäube an der Zerspanstelle im Mittelpunkt. Dagegen stand in den bisher durchgeführten Arbeiten zur Späneabsaugung immer die Erhöhung des Erfassungsgrades im Vordergrund und nicht die Energieeffizienz. Dies ist primär zurückzuführen auf die zeitlich unterschiedlichen wirtschaftlich-ökonomischen Verhältnisse in Bezug auf die Kosten für die Bereitstellung von Energie und der sowohl von der Wirtschaft wie auch von der Politik vertretenen Energiepolitik. Die Energiepreise lagen in der Vergangenheit deutlich unter dem heutigen Niveau, wodurch sich die Forschungsziele auf die Prozessoptimierung richteten und die Energieeffizienz der Prozesse vernachlässigt wurden. Daher liegen so gut wie keine Forschungsarbeiten (ausgenommen [3]) zur Energieeffizienz von Absaugsystemen vor.

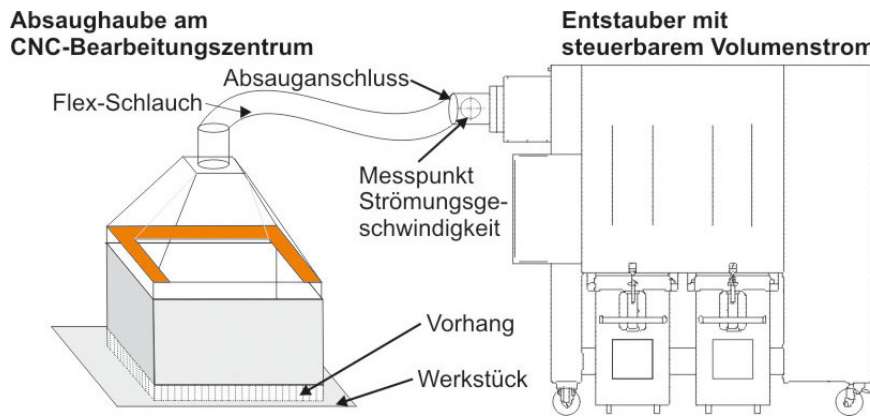


Bild 1. Versuchsaufbau zum Bestimmen der Kriterien zur Bewertung der Energieeffizienz

Bei stationären Holzbearbeitungsmaschinen sind Absaugvorrichtungen oder Absaughauben meist feste Bestandteile der Maschinen und dienen der möglichst vollständigen Erfassung der erzeugten Holzspäne und -stäube ohne jedoch die Bearbeitungsqualität etwa durch Werkstückkontakt oder Einschränkung der Maschinenfreiheitsgrade zu beeinträchtigen [4, 5]. Die Absauganlage selbst dient zum Abtransport der erfassten Späne von der Entstehungsstelle bis zur Entsorgung.

Bei CNC (Computerized Numerical Control)-Bearbeitungszentren und 5-Achs-Fräsmaschinen für die Holzbearbeitung wird selten eine komplette Einhausung der gesamten Maschine vorgenommen. Um die Zugänglichkeit und damit ein hauptzeitparalleles Rüsten zu ermöglichen, werden bei circa 80% der aktuell am Markt verfügbaren Bearbeitungszentren Teilkapselungen eingesetzt [6]. Teilkapselungen sind im Bereich um das Werkzeug herum angebracht, jedoch werden für die Bearbeitung der Werkstücke seitliche Öffnungen in der Maschinenumhausung benötigt. Innerhalb dieser Teilkapselungen, die einen abgeschlossenen Arbeitsraum bilden, ist die Absaughaube angebracht. Bei den am Markt verfügbaren Maschinen weist diese Absaughaube meist eine Kastenform in herstellerabhängigen Ausführungen auf, welche mit Vorhängen aus PVC-Lamellen oder mit Bürstenelementen den abzusaugenden Arbeitsraum zwischen dem Werkstück und der Absaughaube abdichten [7].

Für die Konzentration von Holzstaub in der Luft und an Arbeitsplätzen gelten seit Juli 1988 die vom Bundesministerium für Arbeit und Soziales festgelegten Technischen Richtkonzentrationswerte (TRK), die in den Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS) 553 festgelegt sind. Für Neuanlagen wurde der TRK-Wert in der aktuellen Fassung der TRGS 553 auf 2 mg pro Kubikmeter Raumluft festgelegt. Nach TRGS 553 muss zudem die Reinigung ausschließlich durch Absaugen erfolgen [8, 9].

Wenn Späne und Staubrückstände am Werkstück anhaften, wird ein zusätzlicher Arbeitsschritt, das manuelle Abreinigen, durch den Maschinenbediener notwendig. Beim Stapeln von fertigen Plattenwerkstücken werden durch eine noch anhaftende Staubschicht auf der Werkstückoberfläche Staubemissionen freigesetzt. Diese Emissionen werden durch das sich bildende Luftpolster zwischen zwei Platten beim Ablegen erzeugt, da die Oberflächen durch den sich schließenden Kontakt abgeblasen werden. Durch einen höheren Erfassungsgrad der Absaugung können diese zusätzlichen Expositionen für den Maschinenbediener nachhaltig vermieden werden.

3 Effizienz der Späneerfassung

Als Grundlage zur Bewertung der Leistungsfähigkeit, der Energieeffizienz und des Erfassungsgrades von verschiedenen Maschinen- und Absaugkonzepten ist ein einheitlicher Beurteilungsprozess zu definieren. Dazu wird im Rahmen des zugrundeliegenden Vorhabens ein Musterwerkstück als Bewertungsverfahren entwickelt. Auf dessen Basis kann ein Vergleich der Effizienz von Konzepten oder Maßnahmen auf die Späne- und Stauberfassung stattfinden. Weiterhin soll das zu entwickelnde Bewertungsverfahren einen Vergleich ermöglichen zwischen unterschiedlichen Maschinen-Absaugsystemkonzepten hinsichtlich der jeweiligen Formen und Ausführungen der kastenförmigen Absaughauben sowie der Anbindung der Abdichtung gegenüber dem Werkstück (zum Beispiel Vorhang aus PVC-Lamellen oder Bürstenelementen).

Die Bewertungskriterien hierfür werden durch Strömungs- und Druckmessungen, Absaugleistungsmessungen, Luftstaubmessungen und Späne-Erfassungsgradbestimmungen ermittelt und die Ergebnisse analysiert. Angestrebtes Ziel ist es, einen Standard für eine einheitliche Kennzeichnung der Energieeffizienz in Bezug auf die Absaugleistung bei CNC-Bearbeitungszentren zu erstellen. Der hierfür verwendete Versuchsaufbau ist in **Bild 1** dargestellt [10].

Mit dem Versuchsaufbau wird die Effizienz der Spanerfassung aus dem Späneerfassungsgrad und dem dafür eingesetzten Volumenstrom ermittelt, welcher über die Luftgeschwindigkeit und den Rohrquerschnitt des Flex-Schlauchs bestimmt wird.

Der Erfassungsgrad ist der prozentuale Anteil an Spänen und Stäuben, die mit der Absaugung erfasst und der Entsorgung zugeführt werden, gegenüber der Masse an zerspantem Material, welches tatsächlich durch den Bearbeitungsprozess entstanden ist. Die gesamte zerspannte Masse setzt sich dabei aus der über alle Prozessschritte am Werkstück abgetragenen Massen zusammen. Ein guter Erfassungsgrad ist folgendermaßen definiert:

- ein Werkstück ohne Span- und Staubanhaftungen
- keine Spanablagerungen in und um das Bearbeitungszentrum

Bei Holzwerkstoffen unterliegt die Dichte der jeweiligen Werkstoffe einer sehr großen Streuung. Daher ist bei jedem Versuch die Masse des jeweiligen Werkstücks neu zu bestimmen, um die tatsächlich abgetragene Materialmasse ermitteln zu können.

Um aus den Messergebnissen den vorliegenden Volumenstrom zu ermitteln, wird das Produkt der im Versuch gemess-

Musterwerkstück zur Bewertung des Erfassungsgrades bei CNC-Bearbeitungszentren

Maße: 750 mm x 750 mm x 19 mm
 Plattengewicht: ca. 6.980 g
 (bei Spanplatte)

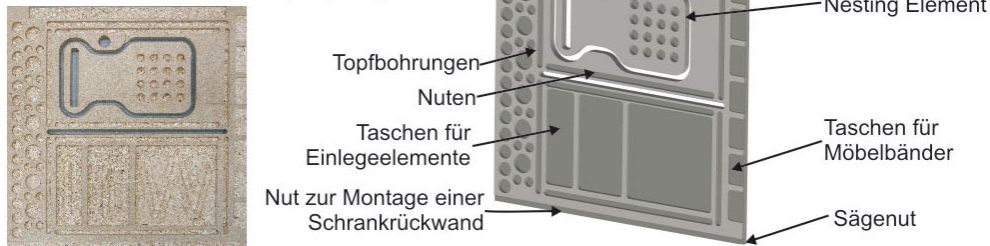


Bild 2. Musterplatte zur Ermittlung des Erfassungsgrads

senen Strömungsgeschwindigkeit und dem Rohrquerschnitt am Anschlussrohr gebildet. Die Strömungsgeschwindigkeit wird, wie in Bild 1 dargestellt, am Anschlussrohr der Maschine gemessen. Zum Einsatz kommt dabei ein Anemometer mit einem Flügelradsensor, der die Luftströmungsgeschwindigkeit an dem definierten Messpunkt im Absaugrohrsystem misst.

4 Geometrie des Musterwerkstücks

Für die Untersuchungen wurde ein Musterwerkstück erarbeitet, welches typische Bearbeitungsoperationen an einem CNC-Bearbeitungszentrum wiedergibt. Als Musterprozess wird die Bearbeitung von plattenförmigen Werkstücken untersucht, um typische Prozesse aus der Möbelfertigung ab- beziehungsweise nachzubilden. In der Möbelbranche werden heute bevorzugt die Holzwerkstoffe Spanplatte und MDF-Platte (mitteldichte Holzfaserverplatte) eingesetzt. In Vorversuchen wurden gängige Bearbeitungsoperationen aus der Möbelfertigung ausgewählt und mit Standardwerkzeugen durchgeführt. Für den Prozess wurden solche Bearbeitungsoperationen gewählt, bei welchen die Absaugung in der Praxis einen geringen Erfassungsgrad aufweist.

Das am IfW entwickelte Musterwerkstück für die Bearbeitungsoperationen ist in Bild 2 abgebildet. Die Grundmaße der Platte vor dem Bearbeitungsprozess betragen 750 mm x 750 mm bei einer Plattenstärke von 19 mm. An dieser Musterplatte wird die Standardbearbeitungsoperation „Kantenbesäumen“ mit einem Schaftfräser ($d = 16$ mm; $z = 3$) durchgeführt. Das Besäumen der Kanten ist eine Standardoperation, die bei jedem Werkstück am Anfang der Bearbeitung steht.

Danach werden mit einem Topfbohrer mit einem Durchmesser von $d = 26$ mm und einer Zähnezahl $z = 2$ Topfbohrungen gefräst, die zum Einbringen von Türbeschlägen in das Möbelstück dienen. Anschließend werden mit dem oben genannten

Schaftfräser Nuten und Taschen mit verschiedenen Frästiefen in das Musterwerkstück eingebracht. Die Nutlängen auf dem Werkstück sind dabei länger als die Breite der Absaughaube. Diese häufig im realen Einsatz vorkommenden Spezifikationen bereiten den Absauganlagen meist Probleme bei der Erfassung der Späne. Dies liegt daran, dass der Spänenstrahl über die erzeugte Nut unter dem Bürstenvorhang aus dem Absaugraum herausgeführt wird, wie in Bild 3 zu erkennen ist. Derartige Nuten werden bei der Montage von Schubladen mit Kugelauszügen zur sogenannten „Nutmontage“ benötigt.

Am Rand des Werkstücks werden Taschen mit einer Tiefe von 4 mm angebracht, wie sie für eine Montage von Möbelbändern benötigt werden. Zusätzlich wird eine Aussparung, welche zur Montage einer Schrankrückwand notwendig ist, eingebracht. Dieser Bearbeitungsschritt ist prozesstechnisch so gestaltet, dass sich beim Fräsen kleine Stege vom Werkstück lösen, die den Absaugprozess durch ihre Größe behindern.

Danach werden drei größere Taschen für Einlegeelemente mit einer Frästiefe von 10 mm in die Musterplatte eingebracht.

Ein weiterer Bearbeitungsschritt in der Musterplatte ist die Herstellung eines Nesting-Elements. Hierbei zerspannt der oben genannte Schaftfräser im Volleingriff die komplette Werkstückdicke und schneidet ein Element aus der Platte aus. Solche Bearbeitungsoperationen führen dazu, dass Luft von unterhalb des Werkstücks angesaugt werden kann, wodurch die Strömungsverhältnisse durch die Bearbeitung bedeutend verändert werden. Ein Kreissägeblatt bringt weiter an den Stirnseiten des Musterwerkstücks im Gegenlauf Nuten ein. Der bei diesem Vorgang entstehende Spänenstrahl befördert die Späne- und Staubpartikel seitlich zum Werkstück, das heißt entgegen der Wirkrichtung der Absaugung.

In Voruntersuchungen konnte gezeigt werden, dass bei anderen üblichen Bearbeitungsprozessen weniger Probleme bei

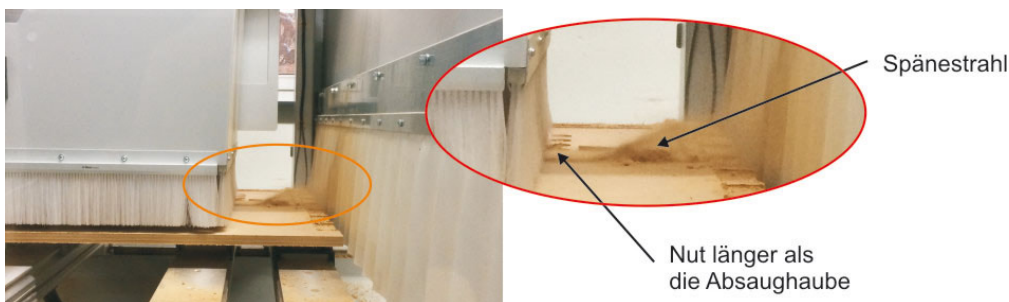


Bild 3. Aus der Absaughaube austretender Spänenstrahl bei der Bearbeitung von Holzwerkstoffen

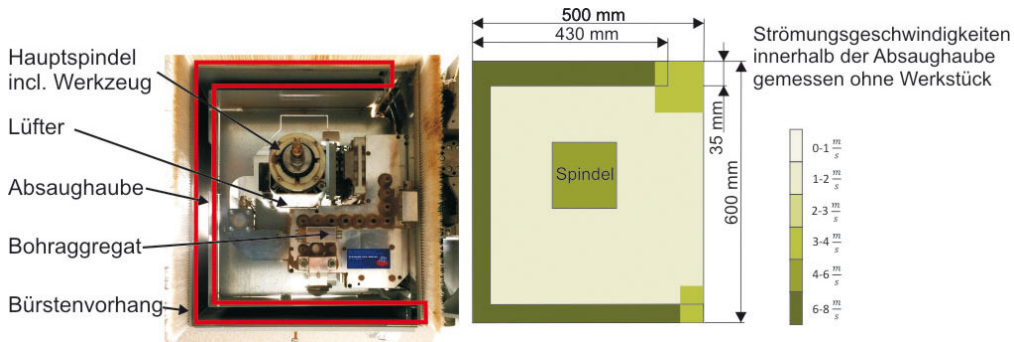


Bild 4. Eingesetzte Absaughaube für die Parameterstudie mit Abmessungen und Luftgeschwindigkeiten (Blickrichtung von unten in den Arbeitsraum)

der Späneerfassung auftreten. So zählen etwa Bohrzyklen mit Wendelbohrern zu den weniger problematischen Prozessen, da die Spanabfuhr durch die Wendelnut in Richtung des Luftstroms erfolgen kann. Solche weniger kritischen Bearbeitungsprozesse wurden nicht in der Musterplatte berücksichtigt, um erschwerte Bedingungen zu simulieren.

5 Einfluss der Strömungsgeschwindigkeit auf die Späneerfassung

Die Parameterstudie zur Späneerfassung wurde an einer Versuchsmaschine mit einer quadratischen Absaughaube durchgeführt: Der Aufbau und die Abmessungen sind in **Bild 4** dargestellt.

Zur Analyse der Strömungsverhältnisse in der Absaughaube wurden die Luftgeschwindigkeiten mit einem Anemometer mit Hitzedrahtsonde an verschiedenen Positionen innerhalb der Haube erfasst. Auf der rechten Seite von Bild 4 sind die gemessenen Luftgeschwindigkeiten in der Absaughaube dargestellt. Hierbei kann festgestellt werden, dass die Luftgeschwindigkeiten innerhalb der Absaughaube stark variieren. Gründe hierfür liegen in der konstruktiven Gestaltung der Absaughaube. Die Strömungsverhältnisse werden dabei maßgeblich durch die Position der Öffnung zum Absaugstutzen am äußeren, linken Rand der Haube beeinflusst. Zusätzlich bewirkt der Lüfter zur Kühlung der Hauptspindel zusätzliche Luftbewegungen innerhalb der Haube, wodurch die Späne verwirbeln, bevor diese der Absaugung zugeführt werden. Auch die Querschnittsänderung

zwischen Absaugrohr und Haube führt zu einem Abfall der Strömungsgeschwindigkeit.

Zur Verifizierung der Herangehensweise für die Beurteilung des Späneerfassungsgrades mit dem entwickelten Musterwerkstück wurden Versuche mit variierten Strömungsgeschwindigkeiten in der Absaugung durchgeführt. Die TRGS 553 schreibt für CNC-Bearbeitungszentren eine Mindestluftgeschwindigkeit von $\gg 20$ m/s am Anschlussstutzen der Absauganlage als Mindestanforderung für staubgeminderte Arbeitsplätze vor [8, 9]. Im Zuge der Untersuchungen werden deshalb die Erfassungsgrade der Späne für Luftgeschwindigkeiten von 13 m/s bis 30 m/s am Anschlussstutzen untersucht, um den Einfluss der Absaugleistung auf die Späneerfassung darzustellen.

Bild 5 verdeutlicht, dass bei abnehmender Luftgeschwindigkeit am Anschlussstutzen der Erfassungsgrad bei den untersuchten Werkstoffen (Spanplatte, MDF-Platte) zurückgeht. Bei der geforderten Luftgeschwindigkeit von 20 m/s liegt der Erfassungsgrad für Spanplatten bei 82,1 % und bei MDF bei 91,5 %.

Der Unterschied im Erfassungsgrad ist bei den beiden gewählten Extrema der Luftgeschwindigkeit (11 m/s beziehungsweise 30 m/s) erkennbar. Der Anteil der auf dem Werkstück und rund um das Bearbeitungszentrum liegenden Späne nimmt bei zunehmenden Luftgeschwindigkeiten zwar stetig ab, das heißt der Erfassungsgrad der Absaughaube nimmt zu, jedoch ist bei höheren Luftgeschwindigkeiten eine asymptotische Annäherung an einen bestimmten „Grenzerfassungsgrad“ festzustellen. Daraus kann abgeleitet werden, dass es für jede vorliegende Absaughaube einen maximal möglichen Erfassungsgrad gibt, der aber erst bei sehr hohen Luftgeschwindigkeiten erreicht

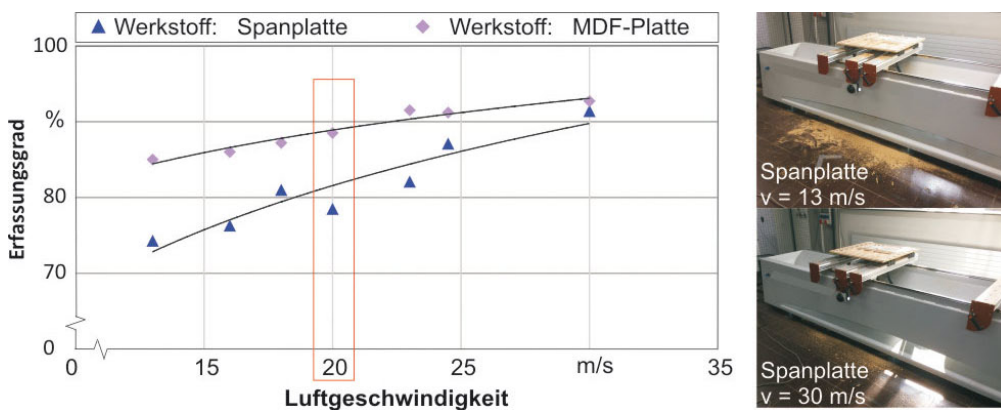


Bild 5. Visualisierte Messergebnisse der Parameterstudie bezüglich der erreichten Erfassungsgrade in Abhängigkeit von der Luftgeschwindigkeit am Anschlussstutzen der Absaughaube

wird. Da aber die eingestellte Luftgeschwindigkeit in direktem Zusammenhang zur Energieeffizienz der Absauganlage steht, ist ein Optimum zwischen der Luftgeschwindigkeit und dem gewünschten Erfassungsgrad zu suchen. Lässt sich kein zufriedenstellender Wert finden, so sollten konstruktive Änderungen der Absaughaube durchgeführt werden. Erschwerend ist zu berücksichtigen, dass unterschiedliche Materialien beziehungsweise Spänearten bei ansonsten gleichen Rahmenbedingungen unterschiedliche Erfassungsgrade liefern.

In der durchgeführten Studie ist weiter festzustellen, dass bei der Bearbeitung von MDF die Absaugung einen besseren Erfassungsgrad gegenüber Spanplatte erreicht. Hier spielt das pneumatische Förderverhalten verschiedener Spangeometrien eine bedeutende Rolle im Abtransport der Späne. Siebanalysen zeigen, dass Spanpartikel bei der Bearbeitung von MDF deutlich homogener und feiner ausfallen, als bei der Bearbeitung von Spanplatten.

6 Fazit und Ausblick

Im Rahmen der Arbeiten wurde ein Musterprozess zur Beurteilung von Erfassungsgraden entwickelt. Dieser orientiert sich an für die Holzbearbeitung typischen Bearbeitungsoperationen zur Herstellung von Möbelstücken aus Plattenmaterialien. Bei der Auswahl der Bearbeitungsprozesse wurden vor allem solche berücksichtigt, bei denen in Voruntersuchungen ein geringer Späneerfassungsgrad durch die Absaugung festgestellt wurde. Die mit dem Musterwerkstück durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass der Erfassungsgrad neben der Luftgeschwindigkeit innerhalb der Haube auch von den zerspannten Werkstoffen beeinflusst wird. Hierbei zeigt sich, dass MDF-Späne gegenüber Spanplattenspänen bei gleicher Luftgeschwindigkeit mit einem höheren Erfassungsgrad abgesaugt werden.

Die im Rahmen der bisher durchgeführten Arbeiten entwickelte Methode beurteilt durch den verwendeten standardisierten Bearbeitungsprozess den Erfassungsgrad von Maschinen- und Absaugkonzepten und zwar unabhängig vom Aufbau der Anlagen und der notwendigen Peripherie (Einzelabsaugung, Zentralabsaugung oder Gruppenabsaugung) [11]. Da die Luftgeschwindigkeit am Maschinenanschluss als Kriterium herangezogen wird, fließen die unterschiedlichen Bedingungen im Absaugsystem wie etwa wechselnde Strömungsbedingungen, verursacht durch die Anzahl der angeschlossenen Maschinen, nicht in die Beurteilung mit ein.

Dieser Musterprozess zur Bewertung von Absaugsystemen ist Grundlage für weitere Untersuchungen zur Verbesserung der Effizienz von Absaugsystemen an CNC-Bearbeitungszentren für die Holzbearbeitung. Aktuell werden weitere Bearbeitungszentren mit unterschiedlichen Ausführungen der Absaughauben untersucht.

Literatur

- [1] Lachenmayr, G.; Kreimes, H.: Energietechnik für die Holzindustrie. Weyarn: Retru-Verlag 2006
- [2] Dressler, M.; Kreidler, A.: Alles unter der Haube? HOB – Die Holzbearbeitung 55 (2008) Nr. 12, S. 36–37
- [3] N. N.: Schuko. Energiespar-Idee. HOB – Die Holzbearbeitung 55 (2008) Nr. 5, S. 66. Internet: http://www.schuko.de/fileadmin/files/presse/HOB_Schuko_VacoFlow_Energiesparidee_05-2008.jpg. Zuletzt aufgerufen: 30.10.2017
- [4] Westkämper, E.; Bertlin, L.; Freytag, J.; Fuß, M.; Prekwinkel, F.: Konstruktive Maßnahmen zur Reduzierung der Staubemission an spanenden Holzbearbeitungsmaschinen. Schriftreihe des IWF, Technische Universität Braunschweig. Essen: Vulkan-Verlag 1991
- [5] Heisel, U.; Birenbaum, C.: Absaughauben optimal eingesetzt. HK Holz- und Kunststoffverarbeitung 44 (2009) Nr. 2, S. 108–111
- [6] Schneider, M.; Rambacher, M.: CNC-Bearbeitungszentren. HOB – Die Holzbearbeitung 56 (2009) Nr. 10, S. 18–41
- [7] Blecken, J.: Optimierung der Staub- und Späneerfassung in stationären Holzbearbeitungsmaschinen. Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 2004
- [8] N. N.: Technische Regeln für Gefahrenstoffe (TRGS) 553: Holzstaub. Ausgabe August 2008
- [9] N. N.: Technische Regeln für Gefahrenstoffe (TRGS) 900: Grenzwerte in der Luft am Arbeitsplatz – Luftgrenzwerte. Ausgabe Januar 2006
- [10] N. N.: BG-Information Holzstaub Gesundheitsschutz. Mainz Berufsgenossenschaft Holz und Metall 2009
- [11] Tech, T.; Bodden, P.; Albert, J.: Rationelle Energienutzung im holzbe- und verarbeitenden Gewerbe. Wiesbaden: Vieweg-Verlag 2003