

Titel

Detektion und Auswertung der realen Spanentstehung und Dynamik bei der Holzbearbeitung mittels Kreissägewerkzeugen und deren Optimierung als Konditionierung zur ganzheitlichen Späneerfassung

IGF-Nr.: 19422 N

Forschungseinrichtungen

Forschungseinrichtung: Institut für Werkzeugforschung und Werkstoffe - IFW
Papenberger Strasse 49, 42859 Remscheid



Ansprechpartner beim Institut:

Dipl.-Phys. Ralph Keßler
02191 / 5921.127
kessler@fgw.de

Danksagungen

Das IGF-Vorhaben 19422 N der Forschungsvereinigung Forschungskuratorium Maschinenbau e.V. - FKM, Lyoner Str. 18, 60528 Frankfurt am Main, wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Ausgangssituation

Holz ist neben Naturstein das älteste Werkstoffmaterial der Menschheit. Wald bedeckt dabei mehr als ein Drittel der Landmasse der Erde. Rund ein Viertel der Weltbevölkerung ist von Wäldern und seinem Holz abhängig. Holz bietet sich dabei sowohl als Baustoff, als auch als Energieträger an, wobei aufgrund des Bevölkerungswachstums die Bedeutung des Werk- und Brennstoffes Holz weiter stark steigt. Überall dort, wo Holz als heimischer Rohstoff vorhanden ist, hat das Holzhandwerk Tradition. Dabei ist das Zerspanen von Holz mittels Kreissägeblättern die meistgenutzte Anwendung. Bei der spanabhebenden Bearbeitung entstehen dabei, je nach Anwendung, Werkzeugauslegung und Prozessparametern Späne in unterschiedlichster Größe, die bis zum feinen Holzstaub hinunter reicht.

Seitens der Verarbeiter und der Kunden steigen die Ansprüche hinsichtlich der Bearbeitungsqualität, aber auch hinsichtlich der Energieeffizienz, wobei ein Großteil der Energie durch Absauganlagen verbraucht wird. Hier hat die Branche der Holzindustrie erkannt, dass die werkzeug- und maschinenseitige Optimierung der Späne- und Stauberfassung ein sehr hohes Potential liefert, wie eine aktuelle repräsentative Umfrage innerhalb der Forschungsplattform Holzbearbeitungstechnologie des VDMA belegt [Hoff16].

Die ganzheitliche Erfassung von lungengängigen und damit gesundheitsschädlichen Stäuben und Spänen schonen zudem Anlagen und Werkzeuge. Durch weniger Spanpartikel im Bearbeitungsaggregat entfallen Nebenzeiten für Wartungs- und Reinigungsarbeiten. Standzeiten werden auch beim Werkzeug aufgrund der Reduzierung einer möglichen Doppelzerspanung erhöht. Letzteres schlägt sich wiederum auch auf die erzielte Bearbeitungsqualität nieder.

Die Forderung nach „Simulations- und Berechnungstools zur Bewertung von Staub- und Spanströmung“ steht für die Branche gemäß der Umfrage an erster Stelle. Zum Aufbau eines solchen Systemverständnisses müssen aber zwingend grundlegende Kenntnisse bereits am Werkzeug und im Spanraum vorliegen. Dabei spielt die Kenntnis der realen und hochdynamischen Verhältnisse und Bedingungen bei der Span- und Staubentstehung bereits an der Schneide und der Dynamik im Spanraum eine grundlegende Rolle. Das Wissen über das tatsächliche Späneflugverhalten bildet demnach den Ausgangspunkt, um mit Hilfe von Simulationstools neue Lösungskonzepte zu entwickeln, die sowohl die Erfassungs-, als auch die Energiebilanz optimieren. Um dieses Potential für die Branche und Anwender nutzbar zu machen, muss also grundsätzliches Systemverständnis von der Spänedynamik aufgebaut werden.

Forschungsziel

Vorrangiges Ziel des Forschungsprojektes war die Entwicklung und Validierung eines Messverfahrens, welches die Span- und Staubentstehung und die hochdynamischen Prozesse im Spanraum, aber auch außerhalb des Spanraums und der Schnittfuge optisch abbilden kann. Hierdurch wurde erstmalig die individuelle Spanentstehung und -dynamik kontinuierlich sicht- und analysierbar.

Die Messungen haben die unterschiedlichen Spanentstehungsszenarien auch unter verschiedenen Prozessparametern beobachtbar gemacht, und zeigen, welche Faktoren, wie z.B. die Zahngeometrie und die Spanraumgestaltung, Einfluss auf die Spanentstehung, sowie den Spanabflug aus dem Werkzeug und der Schnittfuge nehmen. Die Erkenntnisse aus den Messungen tragen dazu bei, ein Systemverständnis aufzubauen und bilden die wissenschaftlich fundierte Grundlage zur Optimierung des Gesamtprozesses. Die Teilziele sind dabei:

- Etablierung eines dynamischen Prüfstands zur in-situ-Messung der Span- und Staubentstehung
- Abbildung der dynamischen Prozesse im Spanraum
- Verständnisaufbau aller Spanentstehungsszenarien bei definierter Prozessführung
- Determinierung der Eingangsvoraussetzungen zur nachgelagerten Simulation des Spanprozesses
- Abbildung des Abflugverhaltens der Späne am Spanraum

Vorgehensweise und Forschungsergebnisse

Eine bisherige Methode zur Untersuchung des Spanverhaltens bei der Zerspanung ist es, mittels einer Stroboskoplampe in Verbindung mit einer Hochgeschwindigkeitskamera [Sche00] den entsprechenden Zahn nach 360° Umlauf beleuchtet zu betrachten. Eine gering zeitversetzte Synchronisation zwischen Kameraaufnahme und Werkzeugdrehzahl ermöglicht hier den Anschein einer kontinuierlichen Beobachtung eines Spans. Span und Spanraum werden hier aber nicht kontinuierlich abgebildet, der Span ist nach einer Werkzeugumdrehung ein anderer und der Spanraum ist nicht im Stillstand, er bewegt sich mit der Zeit aus dem Bild heraus.

Theoretisch ist auch eine Beobachtung ohne Stroboskoptechnik denkbar, dazu muss allerdings ein Bildausschnitt der gesamten Schnittbogenlänge beobachtet werden. Deutlich limitiert ist dieser Ansatz durch die Leistungsfähigkeiten der Hochgeschwindigkeitskameras. Bei typischen Schnittgeschwindigkeiten von 80 m/s sind sehr hohe Bildwiederholfrequenzen nötig, bei denen die Bildauflösungen der Kameras an ihre Grenzen stoßen. In diesem Vorhaben wurde eine Einheit verwendet, welche das unter Einsatzdrehzahl rotierende Kreissägewerkzeug optisch in den Stillstand versetzt.



Abb. 1: Rotierendes Werkzeug (links) optisch in den Stillstand versetzt (rechts)

Dadurch lässt sich der Bildausschnitt auf einen oder nur wenige Zahnräume reduzieren, so dass damit die Auflösung der Kamera bei den benötigten 50.000 fps bis 80.000 fps ausreicht.

Die beschriebene, optische Einheit ermöglichte in Verbindung mit einer entsprechenden Hochgeschwindigkeitskamera eine kontinuierliche Beobachtung des Zahnes und dessen Wirkweise am Werkstück im dynamischen Zustand. Hierdurch wird das Span- und Staubverhalten nicht –wie bei der bekannten Stroboskoptechnik– statistisch über mehrere Umläufe detektiert, sondern die Dynamik des individuellen Zerspanvorgangs kann kontinuierlich beobachtet werden. Dadurch wurden erstmals die Entstehung der Sägespäne und des Sägestaubes und deren real dynamisches Verhalten innerhalb des Spanraumes im Trennprozess und beim Austritt des Werkzeuges aus dem Werkstück bestimmbar gemacht. Dieses gilt dann für die unterschiedlichsten, individuellen und realen Spanentstehungsszenarien.



Abb.2: Rotiertes Sägeblatt steht optisch still und Werkstück rotiert

Dabei erscheint das Bearbeitungswerkzeug optisch still und das zu bearbeitende Werkstück rotiert. Hierzu mussten die folgenden Komponenten erarbeitet, aufgebaut und an den Prüfstand adaptiert werden:

Die optische Einheit

Die optische Einheit musste zur ortsfesten Spindel, die zur Werkzeugaufnahme diete, geometrisch ausgerichtet werden, dass die jeweiligen Achsen koaxial in alle Raumrichtungen waren. Zudem musste die Drehzahl der Spindel hinreichend genau und zeitnah an die optische Einheit übermittelt werden, damit Drehzahlschwankungen durch den Werkzeugeingriff in der optischen Einheit nachgeregelt werden.

Die Hochgeschwindigkeitskamera

Die Hochgeschwindigkeitskamera, inklusive hinreichender Beleuchtung des Beobachtungsraums, musste so durch die optische Einheit adaptiert werden, dass die optische Zugänglichkeit bei der Spanentstehung jeder Zeit gegeben ist. Hierzu wurde unter anderem die kameraseitige Seite der Schnittfuge durch ein durchsichtiges Medium ersetzt. Dieses gewährleistete, dass die Späne und Stäube nicht seitlich in axialer Richtung ausweichen konnten und so möglichst realitätsnah im Spanraum durch die Schnittfuge geführt und kontinuierlich beobachtet werden können.

Die Vorschubeinheit

Aufgrund der Voraussetzung, dass die Spindel ortsfest sein musste, um die geometrische Anordnung zur optischen Einheit nicht zu verlieren, musste das jeweilige Werkstück am Kreissägewerkzeug mit hinreichender Vorschubgeschwindigkeit vorbeigeführt werden.

Die verwendete Lineareinheit erlaubt gewichtsabhängig Vorschubgeschwindigkeiten von bis zu 10 m/s. Um den realen Prozess im Sägewerk abbilden zu können waren bis zu 3,3 m/s (= 200 m/min) gefordert. Die Vorschubeinheit ist dabei vertikal für unterschiedliche Schnitttiefen einstellbar und kann in horizontaler Richtung zum Erreichen von Vorschubgeschwindigkeiten von bis zu 200 m/min entsprechend beschleunigen und wieder entsprechend sicher abbremsen.

Es wurden geeignete Versuchswerkzeuge ausgewählt und beschafft. Es wurden Versuche mit handelsüblichen Werkzeugen mit verschiedenen Zahnformen und Spanwinkeln durchgeführt. Dabei sind beispielsweise WZ und DZ sowie positive und negative Spanwinkel zum Einsatz gekommen, um die unterschiedlichen Spanentstehungsmechanismen entsprechend abbilden, untersuchen und determinieren zu können.

Zur Berechnung der Flugbahnen und Kinematik (Geschwindigkeit und Beschleunigung) der Späne mussten die Koordinaten aus den aufgenommenen Hochgeschwindigkeitsvideos in ein geeignetes System des Kreissägeblattes transformiert werden. Auf den Videos, welche durch das optische Derotatorsystem aufgenommen wurden, ist jeweils ein scheinbar stillstehendes Teilsegment des verwendeten Kreissägeblattes, die Spanbildung und der Flug der Späne im Bezugssystem des ruhenden Werkzeuges zu sehen. Das Labor mit der Vorschubeinheit und dem eingeklemmten Werkstück kreist in diesem System um die Drehachse des Kreissägeblattes. Um nun die Spantrajektorien, im Video drehenden Laborsystem, in ein real ruhendes Laborsystem zu überführen, musste eine entsprechende Transformation durchgeführt werden.

Zur Berechnung der Kinematik im Laborsystem standen letztlich als verlässliche Größen die Bildwiederholfrequenz des Videos und die bekannte Geometrie des Werkzeuges (Radius, Abstand zweier Zähne etc.) zu Verfügung.

In den Schnittversuchen wurden jeweils für die untersuchten Zahnformtypen die Prozessparameter Schnittgeschwindigkeit und Vorschub variiert. Aufgenommen wurden die individuellen Spanentstehungen, die Spanformen und die Spangrößen für die jeweiligen Werkzeug- und Prozessparameter. So konnten die unterschiedlichen Zerspanungsszenarien erfasst und analysiert werden.

Die Abbildung 3 zeigt exemplarisch die Spanbildung im Längsschnitt bei Fichtenholz mit der Wechselverzahnung eines Versuchssägeblattes im Bezugssystem des rotierenden Werkzeuges, d.h. das Werkzeug mit dem Spanraum steht scheinbar still und die Umgebung/das Labor dreht sich um das Werkzeug herum. Im Folgenden ist es immer wichtig zu unterscheiden, in welchem Bezugssystem, -Laborsystem oder rotierendes Werkzeugsystem- der Späneflug beschrieben wird.

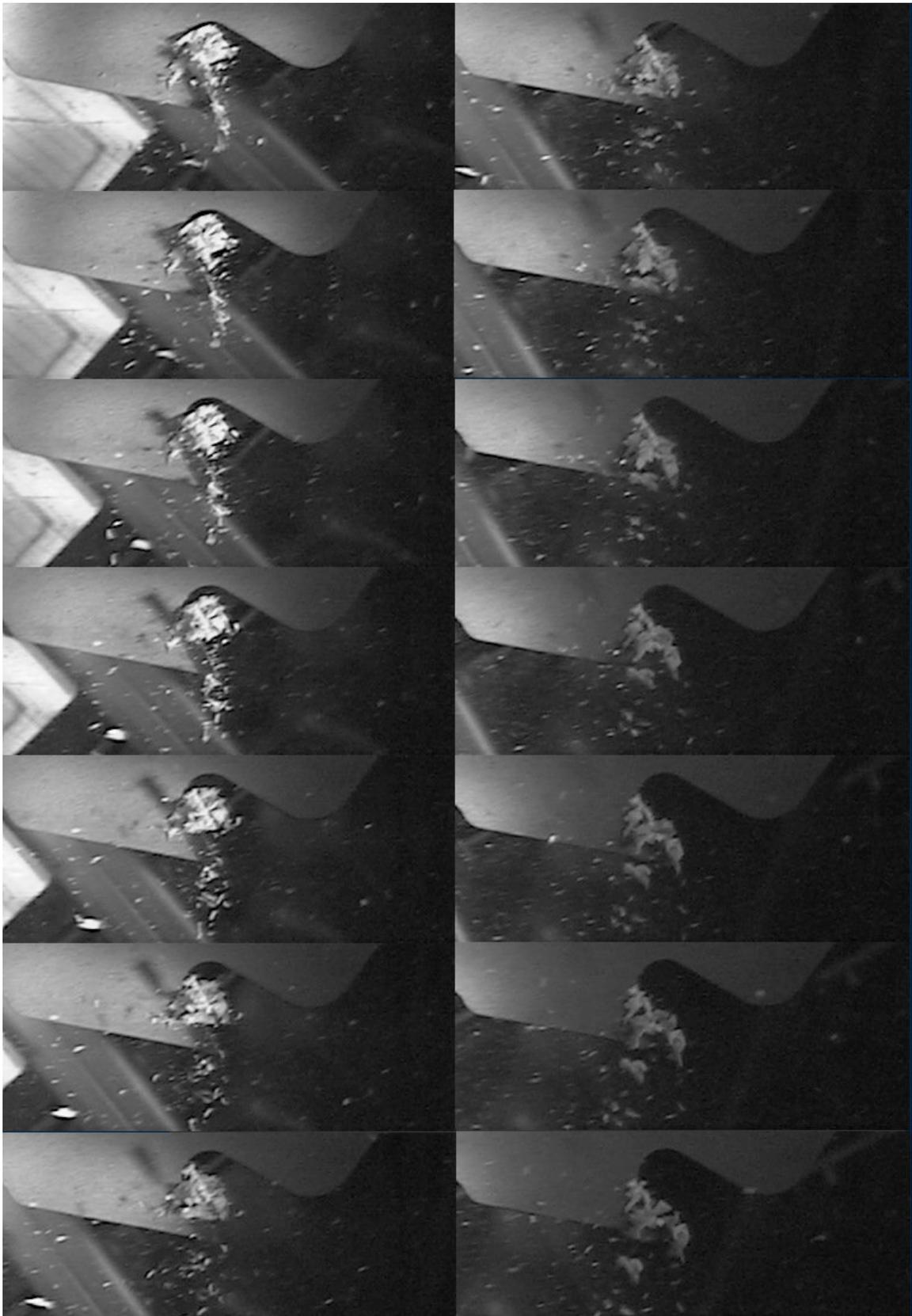


Abb. 3: Spanentstehung bei einer Versuchssäge mit Wechselzahn. Die Bildfolge zeigt die Entstehung des Spans und das Einrollen im Spanraum bei einer Schnittgeschwindigkeit von etwa 80 m/s und einer Vorschubgeschwindigkeit von 120 m/min. Die Aufnahmen wurden mit der Hochgeschwindigkeitskamera mit 70.000 fps und Blick durch die optische Einheit aufgenommen.

Von Interesse ist aber die Kinematik, d.h. die geometrische Betrachtung von Flugbahn, Geschwindigkeit und Beschleunigung, der Späne im Laborsystem. So konnten durch die Transformation aus dem Werkzeugsystem in das Laborsystem die Flugbahnen der einzelnen Späne dargestellt werden.

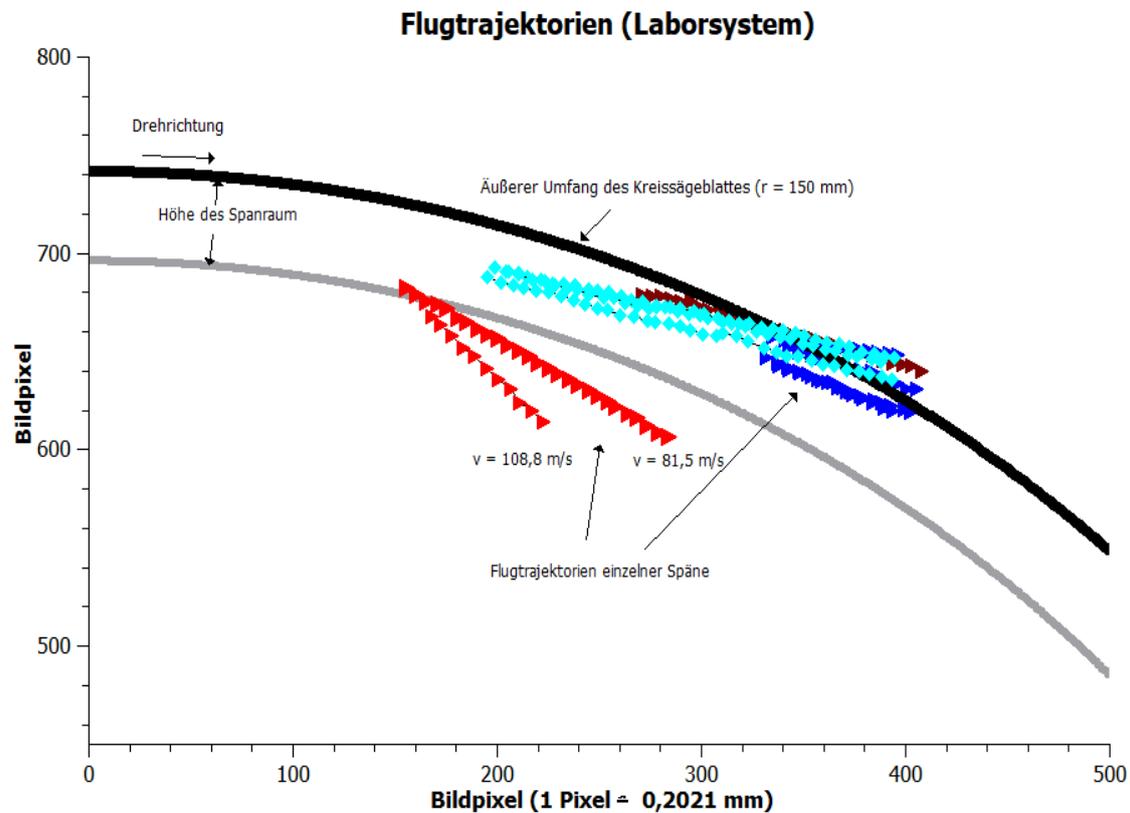


Abb. 4: Flugtrajektorien einzelner Späne im Laborsystem

Aus den ermittelten Daten ergibt sich zunächst tendenziell, dass die Abflugwinkel der Späne und die beobachtete Auffächerung von der Größe und Form des Spanraums abhängen. Mit größerem Verhältnis von Spanraumbreite zu Spanraumtiefe werden die Winkel größer. Das ergibt sich zunächst allein aus der Tatsache, dass bei einem großen Verhältnis sich die möglichen Abflugwinkel rein geometrisch weiter aufspreizen können.

Neben der Form und Größe der Spanräume hat auch die Vorschubgeschwindigkeit einen Einfluss auf die Fluggeschwindigkeiten. Es wurden beispielsweise bei einer Vorschubgeschwindigkeit von 2 m/s Fluggeschwindigkeiten der Späne gemessen, die über der Schnittgeschwindigkeit des Werkzeuges lagen.

Fließspäne beispielsweise sammeln sich nicht immer am Spanraumgrund, sondern werden entlang eines relativ großen und runden Spanraumbodens zur gegenüberliegenden Seite des Schneidzahnes gedrückt. Diese Seite des Spanraumes neigt sich je nach Spanraumgestaltung etwas vom gegenüberliegenden Zahn weg, sodass der Spanraum nach außen hin weiter geöffnet sein kann.

Die Späne erhalten also durch dieses Gleiten, angetrieben von fortdauernder Spanbildung am Schneidkeil, durch den Spanraum eine zusätzliche Geschwindigkeitskomponente, weg vom Zahn, zur Schnittgeschwindigkeit. Hierdurch wird auch eine Doppelzerspanung vermieden, da der Austritt der Späne aus dem Spanraum im Wesentlichen auf der gegenüberliegenden Seite des Zahnes stattfindet und nicht entlang der Zahnbrust. Die Vorschubgeschwindigkeit hat dabei ebenfalls einen Einfluss. Bei kleinerer Vorschubgeschwindigkeit fällt der Effekt geringer aus. Dies kann mit der mittleren Spandicke begründet werden. Die mittlere Spandicke ist proportional zur Vorschubgeschwindigkeit, also bei der kleineren Vorschubgeschwindigkeit dünner. Diese dünneren Späne brechen leichter und lassen sich nicht mehr so geordnet durch den Spanraum schieben.

Bei negativen Spanwinkeln schneidet der Schneidkeil das Holz nicht mehr sauber, sondern reißt eher die Späne aus dem Holz. Es entsteht dann kein Fließspan mehr. Die entstehenden Späne gleiten dann auch nicht an der Spanfläche in Richtung Spanraumgrund, sondern fliegen eher Richtung gegenüberliegende Seite des Spanraumes und sammeln sich tendenziell an dem Bogen, den der Spanboden mit der gegenüberliegenden Seite bildet. Der Abflug der Späne findet dann auch hier eher auf der vom Schneidzahn gegenüberliegenden Seite statt, sodass ein Abfließen über Spanfläche und Schneidkante des Zahnes vermieden wird.

Zusammenfassung

Bei der Holzbearbeitung mittels Kreissägewerkzeuge entstehen Holzspäne und -stäube, die energieaufwendig mittels aufwendiger Absauganlagen entfernt werden müssen. In dem vorliegenden Forschungsvorhaben wurde die reale Spanentstehung und Dynamik sowie deren Optimierung zur ganzheitlichen Spanerfassung untersucht.

Es konnte ein Messverfahren entwickelt und validiert werden, welches die individuelle Span- und Staubentstehung und die hochdynamischen Prozesse im Spanraum, aber auch außerhalb des Spanraums und der Schnittfuge optisch kontinuierlich abbilden kann.

Hierzu wurde eine Hochgeschwindigkeitskamera an eine optische Einheit adaptiert, welche durch ein mitrotierendes Dove-Prisma die schnelldrehenden Kreissägeblätter optisch in den Stillstand versetzt. Erst hierdurch wurde es möglich, die hochdynamischen Prozesse der Spanbildung und des Spänefluges auch bei realen Schnittgeschwindigkeiten von 80 m/s zu untersuchen.

Um den realen Prozess im Sägewerk abbilden zu können, wurde eine Vorschubeinheit für den Versuchsstand entwickelt, welche das Werkstück mit einer Vorschubgeschwindigkeit von bis zu 200 m/s dem Sägeprozess zuführen kann.

So konnten unter-schiedlichen Spanentstehungsszenarien auch unter verschiedenen Prozessparametern beobachtbar gemacht werden und zeigten, welche Faktoren -wie z.B. die Zahn-geometrie und die Spanraumgestaltung- Einfluss auf die Spanentstehung, sowie den Spanabflug aus dem Werkzeug und der Schnittfuge nehmen.

Es wurden jeweils für die untersuchten Zahnformtypen die Prozessparameter *Schnittgeschwindigkeit* und *Vorschub* variiert. Dadurch konnte die geometrische Form des Spans, wie beispielsweise die Mittenspanndicke, variiert und die Einflüsse der Prozessparameter bei der Spanentstehung untersucht werden. Als Werkstücke wurden Fichte (Weichholz), Buche (Hartholz), MDF und PVC untersucht.

In Abhängigkeit der Zahnformtypen und der Prozessparameter wurde die Spanentstehung, die Flugtrajektorien und Austrittswinkel sowie deren Geschwindigkeiten bestimmt. Es konnte gezeigt werden, dass die auftretenden Geschwindigkeiten der Späne durch Spannungen im Holz oder durch bestimmte Formgebung des Spanraumes deutlich über der Schnittgeschwindigkeit des Sägeprozesses liegen können und beispielsweise so über die Geometrie des Spanraumes beeinflussbar sind.

Die gewonnen Erkenntnisse werden helfen, eine ganzheitliche Spanerfassung zu realisieren. Die ermittelten kinematischen Daten des Spanabfluges liefern zusätzliche Eingangsdaten für die rechnerische Simulation des nachgelagerten Spanfluges zur Optimierung von Absauganlagen.

Ein besonderer Dank gilt allen Mitgliedern im projektbegleitenden Ausschuss für die gute Zusammenarbeit und für die Unterstützung bei der Durchführung der Forschungsarbeiten.

Eine Langfassung der Forschungsarbeiten kann in Form eines Schlussberichts bei dem Forschungskuratorium Maschinenbau e.V. - FKM, Lyoner Str. 18, 60528 Frankfurt am Main angefordert werden.

Weiter Informationen erhalten Sie bei Herrn Dipl.-Phys. Ralph Keßler unter 02191 5921.127 oder auch direkt bei der Forschungsgemeinschaft Werkzeuge und Werkstoffe e.V., Papenberger Str. 49, 42859 Remscheid, www.fgw.de.

Literatur:

[Hoff16] Hoffmeister, H.-W.: Workshop Holstaub – Auswertung der Umfrage; 3. Sitzung des FPH-Beirats, Lemgo, 24.02.2016 (2016).

[Sche00] Scheurich, H.: Ermittlung des Späneauswurfs aus dem Werkzeug und Dokumentation des Spanflugverhaltens im Spanraum; Diplomarbeit Universität Stuttgart (2000)