F - 2002/14

U Stuttgart, Werkzeugmaschinen
Name der Forschungsstelle

13286 N/1
AiF-Vorhaben-Nr.

01.05.2002 bis 30.04.2004
Bewilligungszeitraum

Schlußbericht für den Zeitraum : 01.05.2004 bis 30.04.2004

(Forschungsstelle .1. von .1.)

zu dem aus Haushaltsmitteln des BMWi über die

AiF
Otto von Guericke

geförderten Forschungsvorhaben

Forschungsthema : Vermeidung der werkzeuginternen Doppelzerspanung und Ansätze zur Reduzierung der werkzeugunabhängigen Doppelzerspanung zur Leistungssteigerung von Holzbearbeitungswerkzeugen

Stuttgart, den 30.04.2004
Ort, Datum

Unterschrift des Projektleiters
(Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. mult. U. Heisel)

Universität Stuttgart
Institut für Werkzeugmaschinen
Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. mult. U. Heisel

Abschlussbericht

Vermeidung der werkzeuginternen Doppelzerspanung und Ansätze zur Reduzierung der werkzeugunabhängigen Doppelzerspanung zur Leistungssteigerung von Holzbearbeitungswerkzeugen

II Inhaltsverzeichnis

		Seite
I	Titelblatt	1
II	Inhaltsverzeichnis	2
III	Verwendete Formelzeichen und Abkürzungen	3
1	Einleitung	4
2	Stand der Technik	5
	2.1 Grundlagen	5
	2.2 Primäre Doppelzerspanung von Holzwerkstoffen im Spanraum	5
	2.3 Sekundäre Doppelzerspanung bei Holzwerkstoffen außerhalb des Spanraumes	6
	2.4 Gängige Spanraumformen	6
	2.5 Werkzeugunabhängige Doppelzerspanung	7
	2.6 Wirtschaftliche Problemstellung	8
3	Forschungsziel und Lösungsweg	9
	3.1 Forschungsziel	9
	3.2 Lösungsweg zur Vermeidung der primären Doppelzerspanung	10
	3.3 Lösungsweg zur Vermeidung der sekundären Doppelzerspanung	12
4	Ablauf der Versuche	14
	4.1 Versuchsstand	14
	4.2 Versuchsdurchführung hinsichtlich der primären Doppelzerspanung	17
	4.3 Sekundärspäne	34
	4.4 Vergleichsuntersuchung	37
5	Gleichlaufnuten	47
	5.1 Problematische Spänerfassung beim Nuten im Gleichlauf	47
	5.2 Simulation des Gleichlaufnutens	47
	5.3 Untersuchte Werkzeuge und Ergebnisse	49
6	Katalogisierte Übersicht der untersuchten Spanräume	55
7	Zusammenfassung und Ausblick	61
8	Literaturverzeichnis	62
9	Anhang	64
	A1 Hochgeschwindigkeitsaufnahmen zur Dopplezerspanung	DVD
	A2 Aufnahmen beim Gleichlaufnuten	DVD

III Verwendete Formelzeichen

Symbol	Einheit	Bedeutung
a_e	[mm]	Einstelltiefe
v_f	[m/min]	Vorschubgeschwindigkeit
n	[min^{-1}]	Motorumdrehungen

Abkürzungen	Bedeutung
GL	Gleichlauf
GG	Gegenlauf
SP	Spanplatte
MDF	MDF – Platte
MH	Massivholz
HS	Hirnschnitt
LS	Längsschnitt
DZ	Doppelzerspanung
SE	Späneerfassung
z.B.: 7_SP_GG_1	Spanraum Nr. 7, Spanplatte im Gegenlauf, Film Nr. 1
3Nuter_2	Nutwerkzeug Nr. 3, Film Nr. 2
IfW	Institut für Werkzeugmaschinen

1 Einleitung

Unter wachsendem Wettbewerbsdruck und immer größer werdender Globalisierung ist die Einsparung von Zeit und Kosten in der industriellen Fertigung von Holz- und Holzwerkstoffprodukten ein wichtiges und aktuelles Thema, wobei die Bearbeitungsgeschwindigkeit, d.h. die Hauptzeit der Maschinen, und der Grad der industriellen Fertigung schon weit ausgereizt sind. Weiteres Potenzial zur Standzeiterhöhung und damit zur Kostenreduzierung liegt in der Vermeidung der Doppelzerspanung.

Bei Holzbearbeitungswerkzeugen treten in Bereichen der Schneiden, die nachweislich während des Zerspanungsvorgangs nicht im Eingriff sind, Ausbrüche und Verschleiß auf. Die Ausbrüche an den Schneidkanten müssen in diesem Bereich also von anderen Ursachen als der Bearbeitung des Werkstoffs herrühren. Im Allgemeinen kann dafür an diesen Schneidkanten die sogenannte Doppelzerspanung verantwortlich gemacht werden. Doppelzerspanung bedeutet, dass schon erzeugte Späne aufgrund unterschiedlicher Ursachen mehrmals mit der Schneide in Berührung kommen und diese dadurch auch mehrfach belasten. Da auch die im Eingriff befindlichen Schneidenpartien durch die Doppelzerspanung mehrmals belastet werden, kann durch eine Beseitigung oder Vermeidung der Doppelzerspanung die Schneide geschont werden.

Ein weiteres Indiz, dass sich die Doppelzerspanung negativ auf die Werkzeugstandzeit auswirkt, sind Beobachtungen bei der Neukonstruktion von Absaughauben. Hier wurden mehrfach Standzeitverbesserungen der Werkzeuge durch die Optimierung von Absaughauben beobachtet. Von den Werkzeugherstellern wurde der Schneidkantenverschleiß durch Doppelzerspanungsvorgänge bisher auf bis zu 30 % der Werkzeugstandzeit geschätzt [1].

2 Stand der Technik

2.1 Grundlagen

Voruntersuchungen am IfW [2] haben gezeigt, dass sich drei Arten der Doppelzerspanung unterscheiden lassen. Dabei werden zwei werkzeugbezogene und eine werkzeugunabhängige Form der Doppelzerspanung unterschieden. Im einzelnen sind dies:
Werkzeugbezogene Doppelzerspanungsvorgänge:

- Primäre Doppelzerspanung
- Sekundäre Doppelzerspanung

Werkzeugunabhängiger Doppelzerspanungsvorgang:

- Dieser hängt in erster Linie von der Konstruktion der Absaughaube ab.

2.2 Primäre Doppelzerspanung von Holzwerkstoffen im Spanraum

Beim Schneidprozess werden durch die Schneide Späne erzeugt, die durch den Schnittprozess nach dem Abtrennen vom Grundwerkstoff beschleunigt werden. Dabei eilen die Späne der Schneide normalerweise leicht voraus, so dass sich bei Holzwerkstoffen ein Winkel der Spänewolke von ca. 30° zur Spanfläche ergibt (siehe Bild 1, linkes Teilbild).

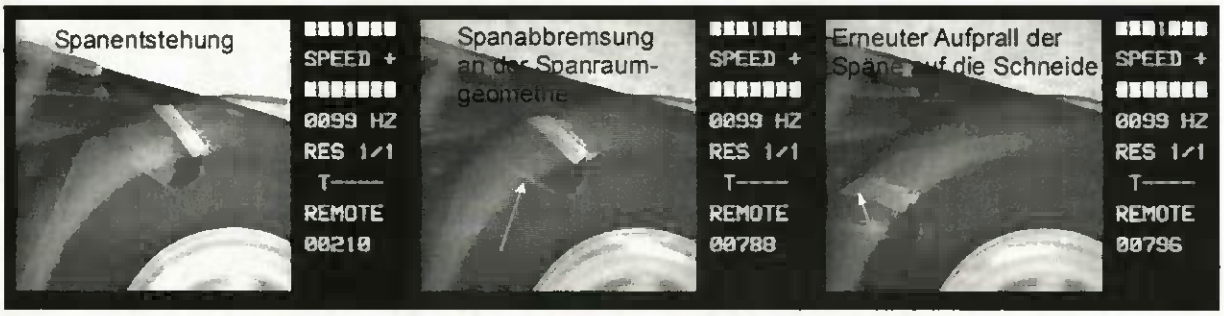


Bild 1: Primäre Doppelzerspanung (Werkstoff MDF)

Die frei im Spanraum fliegenden Spanpartikel sind schneller als die drehende Schneide, so dass die Spanwolke prinzipiell in allen Werkzeugen nach dem Schnittprozess durch Auftreffen auf Begrenzungsflächen des Spanraums abgebremst wird. Dies ist im obigen Bild 1 auf dem mittleren Teilbild zu erkennen. Hier wird die Spanwolke an der der Schneide gegenüberliegenden Fläche des Spanraumes beinahe vollständig abgebremst. Die Spanwolke verliert dadurch einen großen Teil ihrer kinetischen Energie an der Spanraumgeometrie.
Nach diesem Kollisionsvorgang bleiben in manchen Spanraumgeometrien die Späne beinahe bewegungslos im Raum stehen (siehe Bild 1, rechtes Teilbild). Die Werkzeugschneide prallt nun nochmals auf die Späne auf und wird dadurch ein weiteres Mal belastet. Die Späne rutschen dann aufgrund ihrer Fliehkraft über die Spanfläche

aus dem Spanraum des Werkzeugs und werden weggeschleudert. Die soeben beschriebene primäre Doppelzerspanung tritt hauptsächlich bei der Bearbeitung von Holzwerkstoffen auf, wo überwiegend kleine und kleinste Partikel entstehen. Bei Massivhölzern wird die primäre Doppelzerspanung nur beim Hirnholzschnitt beobachtet, da das entstehende Spankollektiv hier den Spänen der Holzwerkstoffe ähnlich ist.

2.3 Sekundäre Doppelzerspanung bei Holzwerkstoffen außerhalb des Spanraumes

Bei Holzwerkstoffen entstehen beim Schnittprozess durch die Druckbelastung der Schneide auf den Werkstoff und die dadurch ausgelöste Zerstörung des Werkstoffgefüges hinter der Schneide Spanpartikel [2]. Im folgenden Bild 2 ist im linken Teilbild die Schneide kurz nach dem Austritt aus dem Werkstoff (Spanplatte) zu sehen. Links von der Schneide sind die Primärspäne, rechts der Schneide die Sekundärspäne, die durch die Werkstoffzerstörung entstanden sind, als keilförmige Spanwolke zu erkennen. Auf dem rechten Teilbild ist die Entstehung von Sekundärspänen bei einem weiteren Werkzeug für mechanischen Vorschub dargestellt.

Bild 2: Sekundäre Doppelzerspanung (Werkstoff Spanplatte)

Die Späne bewegen sich senkrecht zur Schnittfläche auf den Werkzeuggrundkörper zu. Partikel die ihn erreichen, bevor die nächste Schneide folgt, werden daran abgebremst, die anderen Partikel verbleiben zumeist im Bereich zwischen Schnittfläche und Werkzeuggrundkörper (Bild 2, mittleres Teilbild). Durch Kollision mit der nachfolgenden Schneide oder einem Spandickenbegrenzer werden die Späne schließlich aus dem Bereich des Werkzeuges herausgeschleudert. Dadurch werden wiederum die nachfolgenden Schneiden bei Werkzeugen für den mechanischen Vorschub durch schon erzeugte Späne mehrfach belastet.

2.4 Gängige Spanraumformen

Die oben beschriebenen Kenntnisse stammen aus Voruntersuchungen mit konkreten Standardwerkzeugen. Eine Auswahl der gängigsten Spanraumformen aus Werkzeug-

katalogen zeigt das folgende Bild 3. Die graue Fläche ist ein Schnitt durch die Seitenfläche des Spanraums, wobei die schwarze Fläche die Schneide darstellt.

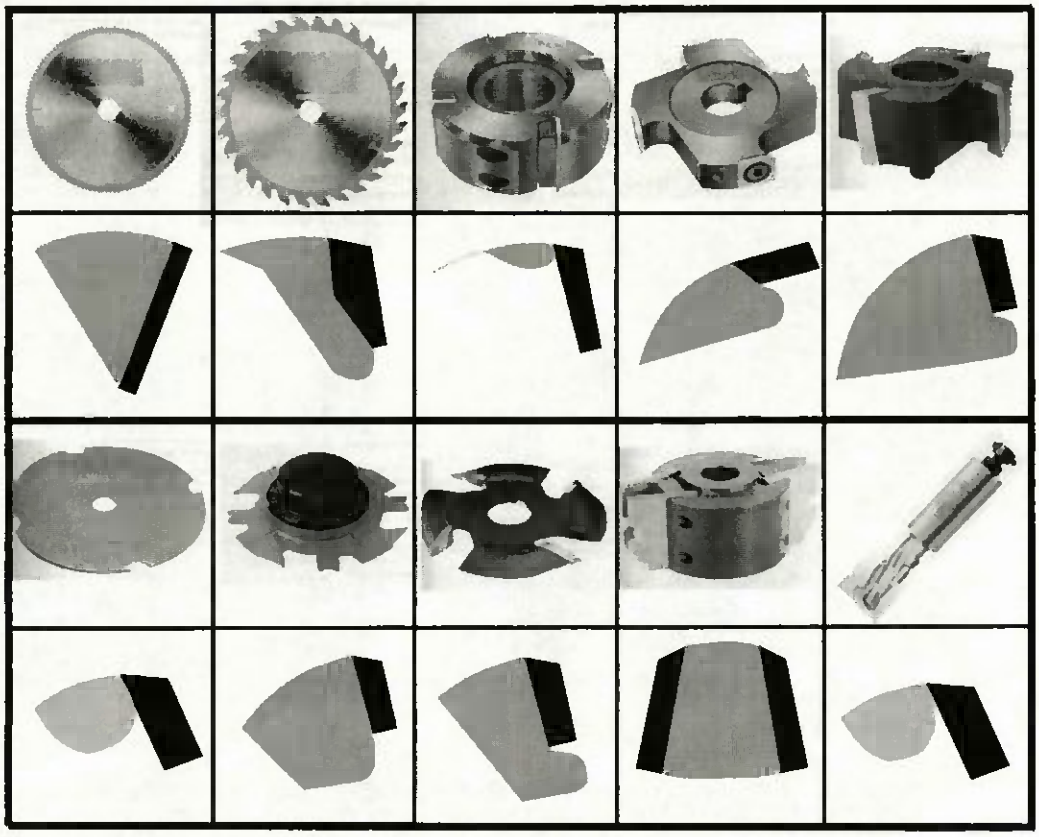


Bild 3: Auswahl gängiger Spanraumformen

2.5 Werkzeugunabhängiger Doppelzerspanungsvorgang

Vollkommen unabhängig von den Doppelzerspanungsvorgängen innerhalb des Werkzeugs gestaltet sich die Doppelzerspanung auch durch äußere Einflüsse. Hier ist als äußerer Einfluss in erster Linie die Gestaltung der Absaughaube zu nennen. Durch eine ungünstige Gestaltung um ein Werkzeug herum, kann es vorkommen, dass Späne nicht direkt in den Absaugstutzen gelangen, sondern durch die Haube wieder auf das Werkzeug zurückgeworfen werden (siehe Bild 4). Hier ist zu erkennen, wie die Späne durch das im Gleichlauf arbeitende Werkzeug auf die linke Haubenwand geschleudert werden, dort abprallen und mit dem Werkzeug im Kreis umlaufen, bis sie an der rechten Haubenwand entlang wieder auf das Werkstück und somit in den Schnittprozess nachfolgender Schneiden geworfen werden. Dadurch kommt es in diesem Bereich selbst bei Massivholz zur Doppelzerspanung. In ähnlicher Weise wurde dies bei der Bearbeitung eines Industrieprojektes am IfW auch bei Holzwerkstoffen beobachtet. Hier wurde weiter beobachtet, wie Späne, die durch Wandreibung einen Großteil ihrer kinetischen Energie verloren hatten, durch die Lüfterwirkung des Werkzeuges wieder angesaugt wurden, und so erneut in den Bereich der Werkzeugschneiden gelangten.

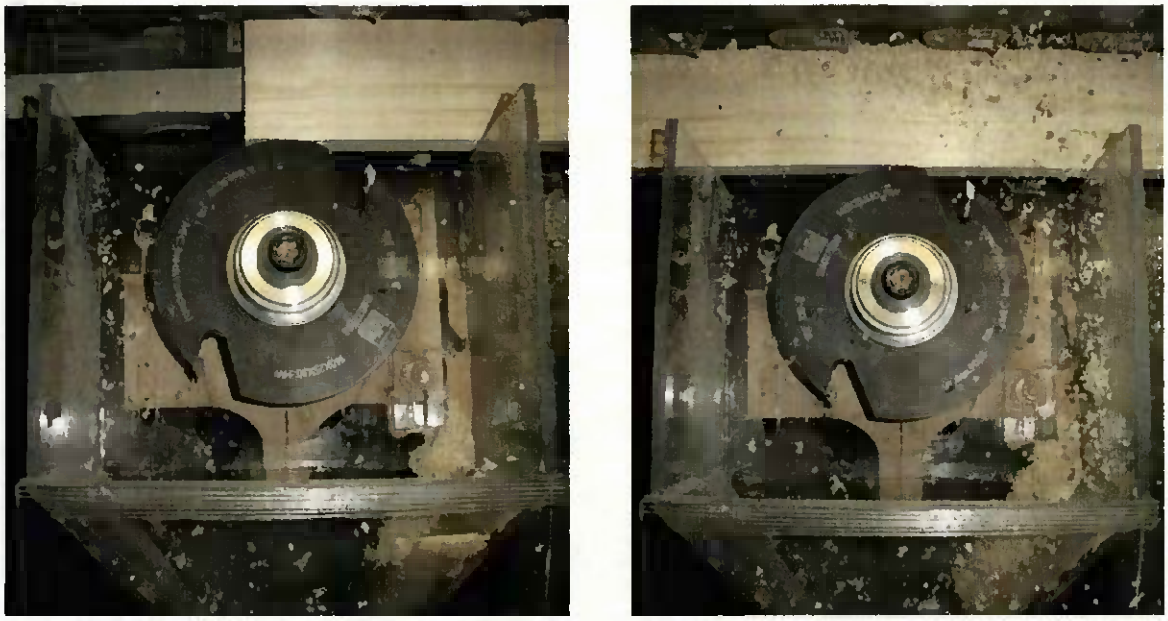


Bild 4: Doppelzerspanung durch ungünstig gestaltete Absaughaube

2.6 Wirtschaftliche Problemstellung

Durch werkzeuginterne Doppelzerspanung werden die Schneidkanten durch die schon erzeugten Späne ein weiteres Mal belastet und abgenutzt. Dies verkürzt die Einsatzdauer der meist sehr kostenintensiven Werkzeuge in der Holzbearbeitung und führt zu einer Verschlechterung der Wirtschaftlichkeit des Zerspanungsprozesses. Können die Schneiden vor der Doppelzerspanung bewahrt werden, kann mit den gleichen Werkzeugen eine höhere Produktivität erzielt werden.
Weiter kann die große Vielfalt der bisher eingesetzten Spanraumgeometrien auf einige wenige mit garantiert doppelzerspanungsfreien Geometrien reduziert werden. Dies kann zur Standardisierung der Spanraumgeometrien und einer wirtschaftlicheren Fertigung der Werkzeuge beitragen.

3 Forschungsziel und Lösungsweg

Im folgenden Kapitel werden das angestrebte Ziel und die realisierten Lösungsansätze behandelt. Des weiteren wird der Lösungsweg bei der primären und sekundären Doppelzerspanung dargestellt.

3.1 Forschungsziel

Es sollen solche allgemein anwendbare Spanraumgeometrien gefunden werden, die eine primäre Doppelzerspanung vollständig vermeiden oder so weit als möglich reduzieren. Weiter sollen Möglichkeiten gefunden werden, um die sekundäre Doppelzerspanung zu vermeiden. Es soll zudem auf experimentellem Weg bestimmt werden, in wie weit die Sekundärspäne den Schneidenverschleiß beeinträchtigen.

Der Fall der werkzeugunabhängigen Doppelzerspanung soll in diesem Forschungsthema nur am Rande untersucht werden, da zum einen schon andere AiF-Forschungsthemen am IfW durchgeführt werden, die sich mit der Auslegung von Absaughauben befassen und zum anderen die Absaughaubengeometrie in Zusammenhang mit der Doppelzerspanung bei der Massivholzbearbeitung in einem Forschungsvorhaben an der Uni Braunschweig bereits untersucht wird. Lediglich der Zusammenhang zwischen Spanraumgeometrie und Verweildauer der Späne im Werkzeug soll hierbei untersucht werden [5 – 9], da es ein brennendes Problem der Industrie beim Gleichlaufnuten darstellt, das mit der Problematik der Doppelzerspanung eng verwandt ist, da in beiden Fällen das Spanverhalten im Spanraum maßgeblichen Einfluss hat.

Es sollen Erkenntnisse darüber gewonnen werden, wie sich die Gestaltung des Spanraumes bei unterschiedlichen Werkzeugen auf die Spanabfuhr aus dem Werkzeug auswirkt. So können Erkenntnisse über die Vermeidung der Doppelzerspanung, aber auch über die Auswirkungen der Spanraumgeometrie, auf den Auswurfzeitpunkt des Spanes aus dem Werkzeug gewonnen werden. Es existieren hier keine Erkenntnisse über die Spanabfuhr aus dem Werkzeug in Korrelation mit der Spanraumgeometrie des Werkzeugs. Der Zeitpunkt des Spanauswurfes aus dem Werkzeug ist die interessierende Schnittstelle bezüglich der Spanabfuhr zwischen den Werkzeugherstellern und den Maschinenherstellern. Nur wenn bekannt ist, wo der Span das Werkzeug verlässt, kann vom Maschinenhersteller eine funktionsfähige Erfassungseinrichtung entworfen werden. Durch systematische Tests sollen Aussagen über den Auswurfzeitpunkt der Späne in Abhängigkeit von der Spanraumgeometrie gefunden werden [10-19]. Weiter sollen neue Möglichkeiten gefunden werden, die sekundäre Doppelzerspanung sicher zu vermeiden oder die Schneide vor der Belastung durch die dabei entstehenden Späne ausreichend zu schützen.

Der deutlichste Nutzen kann in einer Reduzierung der Schneidenbelastung und somit in einer Verlängerung der Werkzeugnutzung liegen (Erhöhung der Standzeit von Werkzeugen um bis zu 30%). Dies betrifft das gesamte, überwiegend klein und mittelständisch orientierte Holzbearbeitungsgewerbe. Dadurch entsteht ein deutlicher Kostenvorteil, die teuren Werkzeuge durch Erhöhung der Standzeit länger einsetzen zu können. Darüber hinaus wird die Ursachenfindung bei Standzeitproblemen für den Maschinenhersteller erleichtert. Die Ursachenforschung zur Problembeseitigung wird auf die Gestaltung der Absaughaube reduziert, vorausgesetzt es wird ein Werkzeug mit doppelzerspanungsfreier Geometrie eingesetzt.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass sich durch die Forschungsergebnisse die Schnittstellenproblematik zwischen Werkzeughersteller und Maschinenhersteller vereinfacht. Die Problemsuche bei Standzeitproblemen wird deutlich minimiert. Die Werkzeughersteller haben erstmals die Möglichkeit durch klare Kriterien und Vorgaben in der Spanraumgestaltung Doppelzerspanungsvorgänge im Werkzeug zu vermeiden und damit die Nutzungsdauer des einzelnen Werkzeugs zu verlängern.

3.2 Lösungsweg zur Vermeidung der primären Doppelzerspanung

In einem ersten Schritt sollen die verschiedenen Spanraumgeometrien an einem Versuchswerkzeug untersucht werden. Dazu werden von den Spanräumen synchronisierte Hochgeschwindigkeitsaufnahmen während der Zerspanung gemacht, auf denen der Flug der Spanwolke durch den Spanraum visuell beobachtet werden kann. Diese Untersuchungen werden sowohl für den Gleich- als auch für den Gegenlauf durchgeführt. Untersucht wird vor allem die Gruppe der Holzwerkstoffe (MDF, Spanplatte, etc.), da bei ihnen hauptsächlich die Doppelzerspanung auftritt. Als Stichversuche sollen aber auch verschiedene Massivhölzer, vor allem im Hirnschnitt, betrachtet werden. Nach Absprache mit dem Arbeitskreis werden vorwiegend harte Massivholzarten untersucht (Buche, Eiche).

Es wurde ein Versuchswerkzeug konstruiert und gebaut, in welches verschiedene Spanraumformen als Einsätze eingebaut werden können. Dazu ist das Versuchswerkzeug mit geeigneten Auflageflächen zu versehen, in welche die Einsätze mit den unterschiedlichen Spanraumgeometrien befestigt werden können. Dadurch wird zwar das Versuchswerkzeug komplexer und kostenintensiver, es muss jedoch nicht für jeden zu untersuchenden Spanraum ein neues Werkzeug hergestellt werden. Zudem wird, was bei einer Verwendung der Standardwerkzeuge nicht möglich ist, der Spanflug an einem einzigen Werkzeug untersucht. Das bedeutet, es wird nur die Spanraumform des Werkzeugs variiert, alle anderen Bedingungen bleiben gleich (siehe Bild 5). Das Werkzeug wurde so entworfen werden, dass auch bei den üblichen Drehzahlen keine Gefährdung von ihm für das Versuchspersonal ausgeht. Nach jedem

Austausch der Spanraumeinsätze sind die Werkzeuge mit den eingebauten Spanräumen neu zu wuchten. Dies lässt sich nicht vermeiden, da durch Einbau- und Fertigungsungenauigkeiten der in Einzelfertigung angefertigten Spanraumeinsätze die erforderliche Wuchtgüte, auch durch eine symmetrische Konstruktion des Werkzeugs und durch Auslegung der Einsätze auf gleiches Gewicht, nicht erreicht werden kann.

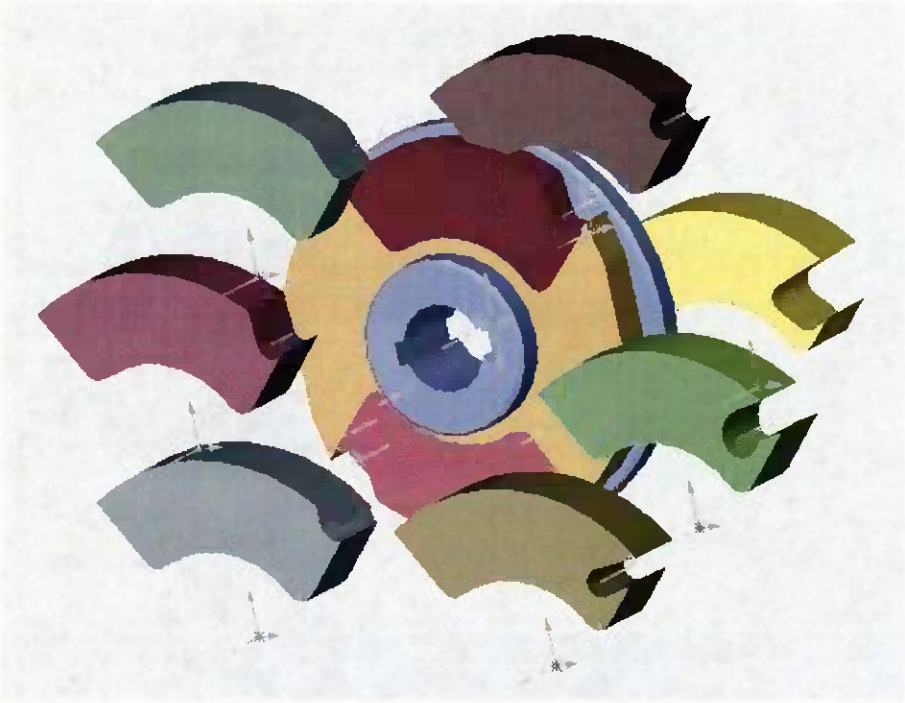


Bild 5: Versuchswerkzeug und Spanraumeinsätze

Der Flug der Späne durch den Spanraum lässt sich visuell mit einer synchronisierten Hochgeschwindigkeitskamera beobachten und bewerten. Dabei wird ersichtlich, welche Spanraumform für die Vermeidung der primären Doppelzerspanung bei welchen Werkstoffen und Schnittbedingungen geeignet ist.

Auf der Grundlage der Untersuchungen aller gängigen Spanraumformen werden die Spanräume ausgewählt, die am besten zur Vermeidung der Doppelzerspanung geeignet sind. Auf der Basis dieser Geometrien werden die Spanraumformen weiterentwickelt, so dass die werkzeuginterne Doppelzerspanung durch Primärspäne möglichst vollständig ausgeschlossen werden kann. Dabei können beispielsweise die Spanräume schräg zur Schneidkante angeordnet werden, Spanraumgeometrien nach den gewonnenen Erkenntnissen abgewandelt und weiterentwickelt werden, Spanleitstufen auf die Schneide aufgesetzt oder eingeschliffen oder die Schneiden generell anders angeordnet werden.

Auf Wunsch des projektbegleitenden Ausschusses wird aus den gewonnenen Ergebnissen ein Katalog erstellt, der dem Werkzeughersteller erlaubt, eine optimale Spanraumgeometrie, passend zu den konkreten Arbeitsbedingungen, zu konstruieren.

3.3 Lösungsweg zur Ermittlung der sekundären Spanmenge

Zur Ermittlung der Spanmenge, die als Sekundärspäne bei der Zerspanung von Holzwerkstoffen (Spanplatte, MDF) auftreten, wird das Versuchswerkzeug mit einer mitdrehenden Erfassungseinrichtung hinter der Schneide ausgestattet. Dies ist ein eingebautes Rohr (siehe Bild 6). Es ist darauf zu achten, dass dieses Rohr mit dem Werkzeuggrundkörper dicht abschließt, beide Sammelelemente das gleiche Gewicht haben und am Schneidenflugkreis entsprechend der gewünschten Vorschubgeschwindigkeit auf einen exakten Durchmesser geschliffen sind.

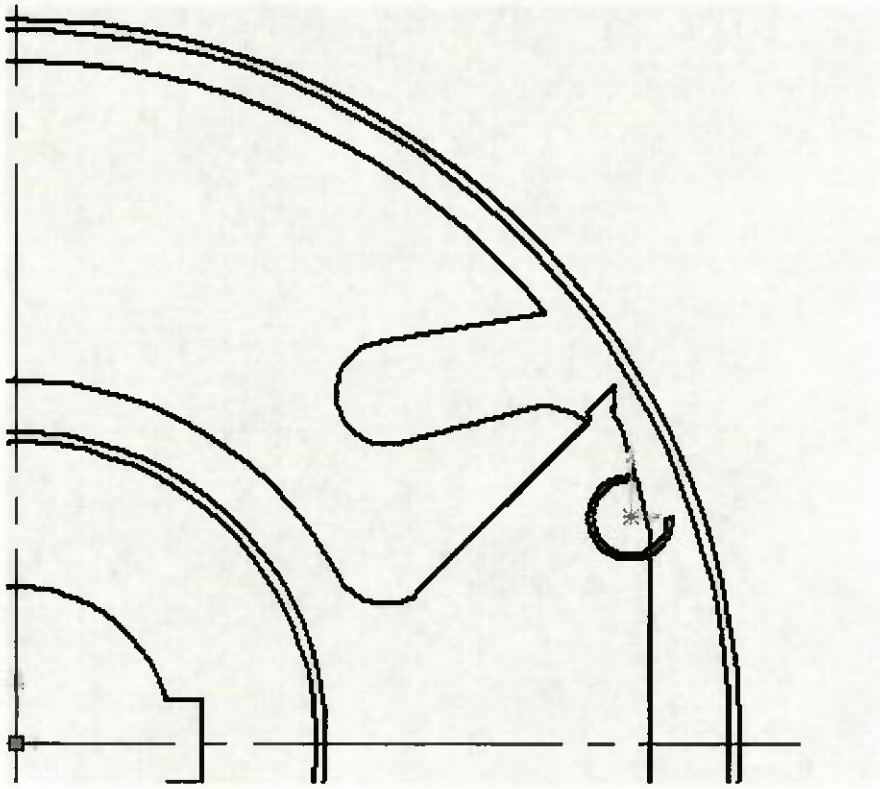


Bild 6: Skizze der Erfassungseinrichtung für Sekundärspäne

Die rohrförmige Sammeleinrichtung ist in einem bestimmten Abstand in radialer Richtung versetzt, da an den schon vorhandenen Aufnahmen zu erkennen ist, dass sich die sekundären Späne nicht gleich an der Rückseite der Schneide bilden (Bild 7), sondern eine gewisse Zeit zur Auflösung benötigen.

Dadurch kann der Einfluss der Sekundärspäne auf die Belastung der Schneiden durch die Doppelzerspanung abgeschätzt werden. Es kann abgeschätzt werden, ob

die Sekundärspanmenge ausreicht, um mit einem signifikanten Anteil an der Schädigung der Schneide durch Doppelzerspanung beizutragen.

Bild 7: Keilförmige Wolke aus Sekundärspänen

Die Schneide kann durch ein Spanabweiserelement ähnlich dem Spandickenbegrenzer von Werkzeugen für den Handvorschub vor den Sekundärspänen geschützt werden (siehe Bild 8). Auch kann eine Blindschneide, das heißt eine Schneide, die kurz nach der eigentlichen Schneide folgt und einen etwas kleineren Schneidenflugkreis hat, die entstandenen Sekundärspäne ausräumen und so die nachfolgende, nächste Schneide schützen. Die Blindschneide kann eventuell auch in die Freifläche der eigentlichen Schneide als "Spanleitstufe" eingeschliffen werden (siehe Bild 8). Zu beachten ist bei all diesen Konstruktionen, dass die Spandicke nicht beliebig groß werden kann.

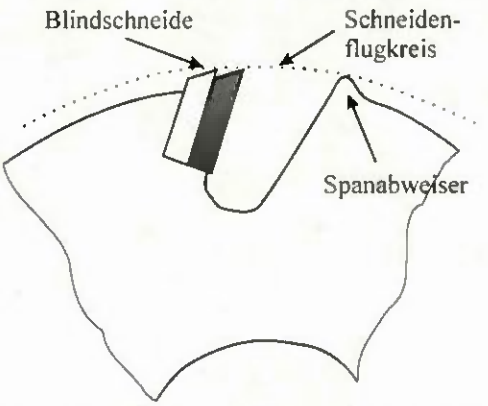


Bild 8: Skizze des Werkzeugs mit Blindschneide und Spanabweiserelement

4 Ablauf der Versuche und Versuchsergebnisse

Nachdem die Firma Leuco den Grundkörper des Versuchswerkzeugs hergestellt hat, wurden die unterschiedlichen Spanraumeinsätze am IfW gefertigt und die nachfolgend beschriebenen Untersuchungen mit Hilfe einer Hochgeschwindigkeitskamera durchgeführt.

4.1 Versuchstand

Die Versuche wurden im Gleich- und Gegenlauf durchgeführt. Die dabei untersuchten Werkstoffe waren Spanplatte und MDF. Als Massivholz wurde Buche eingesetzt.
Anfänglich wurden die Versuche mit einer Drehzahl von 3000 min^{-1}, nach einer Anregung des Arbeitskreises mit betriebsnäheren Arbeitsbedingungen und Drehzahlen von 6000 min^{-1} durchgeführt. Das Versuchswerkzeug war bezüglich der maximal zulässigen Drehzahl auf 6000 min^{-1} beschränkt.
Für die Versuche wurde eine am Institut vorhandene Durchlaufmaschine der Firma Homag verwendet (Bild 9, 10).

Bild 9: Versuchsaufbau zur Gleichlaufbearbeitung

Bild 10: Versuchsaufbau zur Gegenlaufbearbeitung

Um das Spanverhalten zu beobachten, wurde der Versuchstand so aufgebaut, dass mit einer Hochgeschwindigkeitskamera synchronisierte Aufnahmen, sowohl für den Gleichlauf, als auch für den Gegenlauf gemacht werden konnten. Die Hochgeschwindigkeitskamera wurde dabei mit einem Stroboskop synchronisiert, so dass ein langsam drehendes Bild erzeugt werden kann.

Es wurde eine digitale Hochgeschwindigkeitskamera der Firma Weinberger Deutschland GmbH eingesetzt. Mit dem Kamerasystem Speedcam Lite 500 können schnelle Bewegungsabläufe per CCD-Kamera aufgezeichnet und in einem digitalen Halbleiter-Ringspeicher gespeichert werden. Die aufgenommenen Szenen lassen sich beliebig langsam auf dem Videomonitor betrachten und auf ein externes Aufnahmegerät aufzeichnen.

Das Hochgeschwindigkeits-Kamerasystem Speedcam Lite 500 besteht aus folgenden Komponenten:

- zentrale Steuereinheit mit Netzanschluss
- CCD-Kamera mit Objektiv und zwei Kamerakabeln
- Handfernbedienung für das Kamerasystem

Die Daten, die von der Aufnahmeeinheit geliefert werden, werden in der zentralen Steuereinheit gespeichert und können über den zusätzlichen Monitor vergrößert be-

trachtet werden. Da der Speicher der Steuereinheit jeweils nur eine Sequenz speichern kann, müssen die Daten vor der nächsten Aufnahme auf ein VHS-Videoband überspielt werden.

Mit Hilfe der Handfernbedienung werden sämtliche Funktionen des Kamerasystems gesteuert. Die Handfernbedienung wird direkt an das Steuergerät angeschlossen.

Die Bildfrequenz bei der Aufnahme ist von der gewählten Auflösung abhängig und beträgt maximal 9.999 Bilder pro Sekunde bei externer Frequenz. Mit angeschlossener Handsteuerung beträgt die Bildfrequenz maximal 3.000 Bilder pro Sekunde (siehe Tabelle 2). Das System wird von einem internen Quarz synchronisiert und läuft mit der, von der Auflösung abhängigen, Maximalfrequenz. Daneben kann das System auch mit beliebigen Frequenzen bis maximal 9.999 Hz mit angeschlossener Steuerung betrieben werden. Dazu muss das System extern synchronisiert werden.
Der Speicher ist so ausgeführt, dass Bildfolgen von zwei Sekunden aufgenommen werden können. Bei geringeren Frequenzen als die jeweilige Grundfrequenz können auch längere Sequenzen aufgenommen werden.

Speedcam Lite 500	
RES 1/1	256 x 256 Pixel
RES 1/2	256 x 128 Pixel
RES 1/4	256 x 64 Pixel
RES 1/8	256 x 32 Pixel

Tabelle 1: Auflösungen

Speedcam Lite 500	
RES 1/1	500 B/sec.
RES 1/2	1000 B/sec.
RES 1/4	1500 B/sec.
RES 1/8	3000 B/sec.

Tabelle 2: Bildfrequenzen

4.2 Versuchsdurchführung hinsichtlich der primären Doppelzerspanung

Das folgende Kapitel beinhaltet eine ausführliche Beschreibung der durchgeführten Versuche. Für jede untersuchte Spanraumgeometrie wurde ein Protokoll angefertigt. Alle Filme, die im Rahmen des Projekts gemacht wurden, werden auf eine DVD gebrannt und als Anhang diesem Abschlussbericht beigefügt.
Für eine schnelle Orientierung und bessere Veranschaulichung der Versuchsprotokolle wurden dabei einzelne Bilder ausgewählt und dem Protokoll angehängt.
Für eine schnelle Orientierung und bessere Veranschaulichung der Versuchsprotokolle wurden dabei einzelne Bilder ausgewählt und dem Protokoll angehängt.

Spanraumgeometrie Nr. 1

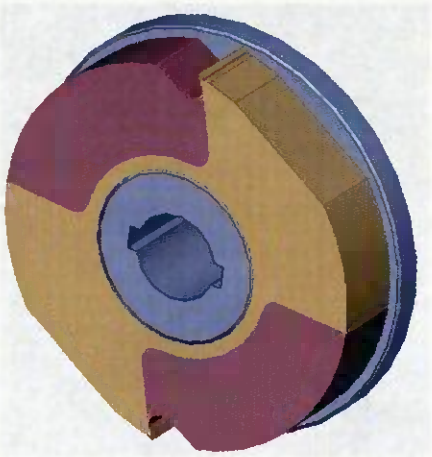


Bild 11: Spanraumgeometrie Nr. 1

Schnittbedingungen

v_f = 8 m/min und 20 m/min
n = 3000 / 6000 min^{-1}
a_e = 2 – 3 mm

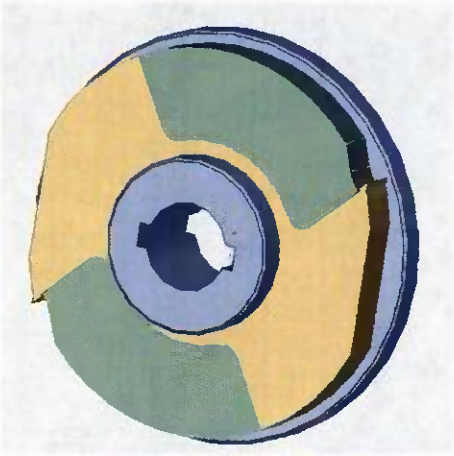
Dieser erste Spanraum (siehe Bild 11) ist eine Geometrie, die sehr breit in der Praxis Anwendung findet. Hinsichtlich der Doppelzerspanung ist als positiv einzuschätzen. Beim Fräsen im Gleich- und Gegenlauf tritt keine Doppelzerspanung auf. Die Späne sind schwierig zu erfassen, da sie in Richtung Werkstück fliegen. Dieses Verhalten ist besonders stark beim Fräsen im Gleichlauf ausgeprägt.

Ergebnisse

Bild 12: Gleichlauf mit Spanraumgeometrie 1

Bild 13: Gegenlauf mit Spanraumgeometrie 1

Spanraumgeometrie Nr. 2



Schnittbedingungen

v_f = 8 m/min und 20 m/min
n = 3000 / 6000 min^{-1}
a_e = 2 – 3 mm

Bild 14: Spanraumgeometrie Nr. 2

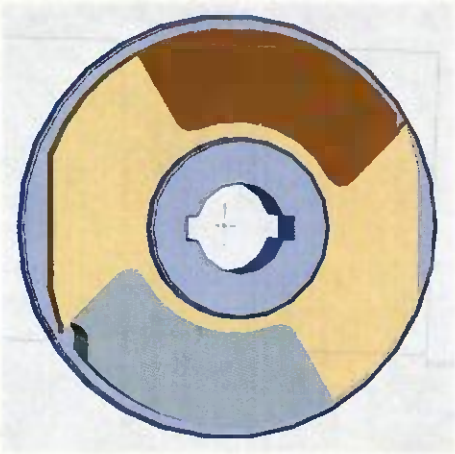
Diese Spanraumgeometrie (siehe Bild 14) ist kürzer in radialer Richtung im Vergleich zu Geometrie 1 und die Späne treten schneller aus dem Spanraum aus. Sie treffen nochmals auf die Schneide auf. Die Doppelzerspanung ist nicht vermeidbar. Bezüglich der Spänerfassung sind die Absaugungsmöglichkeiten begrenzt. Die Spanwolke ist in Richtung Werkstück gerichtet.

Ergebnisse

Bild 15: Gleichlauf mit Spanraumgeometrie 2

Bild 16: Gegenlauf mit Spanraumgeometrie 2

Spanraumgeometrie Nr. 3 und 4



Schnittbedingungen

v_f = 20 m/min
n = 3000 / 6000 min^{-1}
a_e = 2 – 3 mm

Bild 17: Spanraumgeometrie Nr. 3 und 4

Der kleine Spanraum im Bild 17 simuliert die Spanräume bei Schaftfräsern, Sägeblättern etc. Die schräge Ausführung derselben Geometrie wurde nach dem Grundgedanken angefertigt, die Spanwolke seitlich von der Schneide abzulenken.Die Aufnahmen weisen darauf hin, dass solch kleine Spanräume generell ungünstig sind: Die Spanwolke trifft direkt auf die Schneide (sichere Doppelzerspanung). Die Späne sind ungünstig zu erfassen. Die schräge Variante vermeidet jedoch die Doppelzerspanung der Spanwolke durch die Schneide und bewirkt eine bessere Spanentsorgung.

Ergebnisse

Bild 18: Gleichlauf mit Spanraumgeometrie 3

Bild 19: Gegenlauf mit Spanraumgeometrie 3

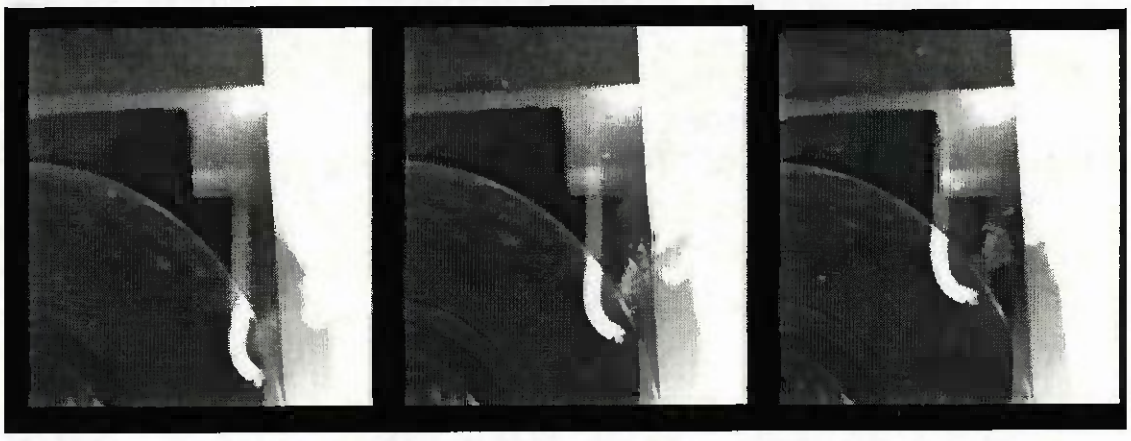


Bild 20: Gleichlauf mit Spanraumgeometrie 4

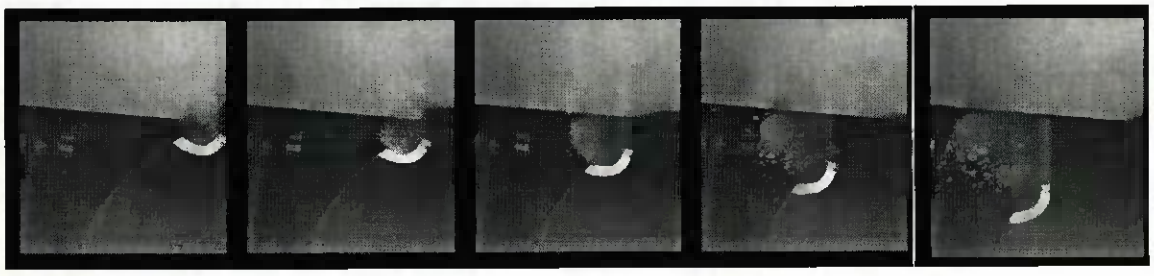
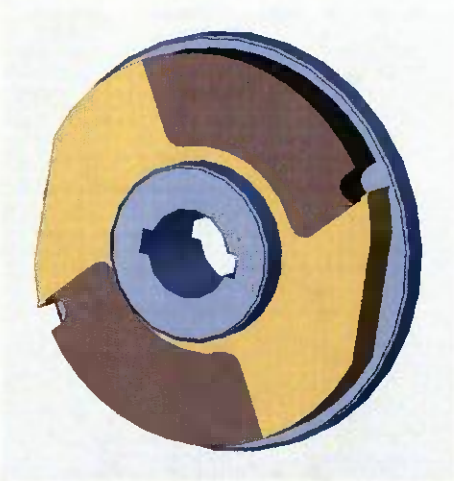


Bild 21: Gegenlauf mit Spanraumgeometrie 4

Spanraumgeometrie Nr. 5



Schnittbedingungen

$v_f = 20$ m/min
$n = 3000 / 6000$ min^{-1}
$a_e = 2 - 3$ mm

Bild 22: Spanraumgeometrie Nr. 5

Der tief eingefräste Radius des Spanraumeinsatzes (siehe Bild 22) beschleunigt die Späne so, dass keine Doppelzerspanung auftritt. Beim Fräsen mit der Spanraumgeometrie 5, sowohl im Gleichlauf als auch im Gegenlauf, beobachtet man ein deutlich verbessertes Spanflugverhalten. Auch bezüglich der Entsorgung sind die Späne im Vergleich zu den ersten Spanräumen bequemer zu erfassen, aber immer noch in Richtung auf den Werkstoff gerichtet.

Ergebnisse

Bild 23: Gleichlauf mit Spanraumgeometrie 5

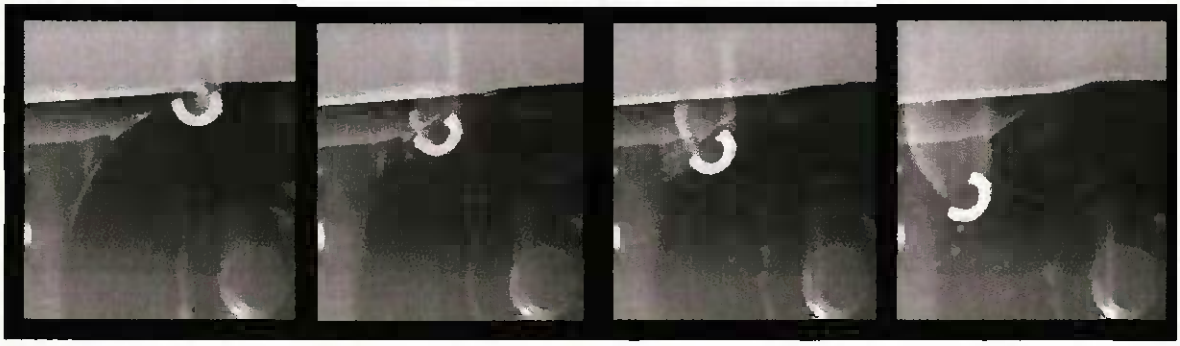
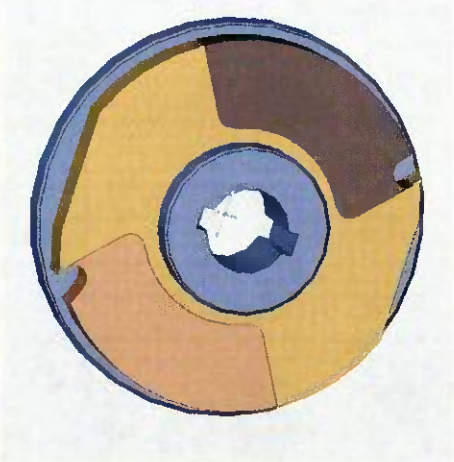


Bild 24: Gegenlauf mit Spanraumgeometrie 5

Spanraumgeometrie Nr. 6



Schnittbedingungen

$v_f = 20$ m/min
$n = 3000 / 6000$ min^{-1}
$a_e = 2 - 3$ mm

Bild 25: Spanraumgeometrie Nr. 6

Die Spanraumgeometrie 6 wurde mit denselben Abmaßen wie der 5. Spanraum angefertigt, wobei die Endkontur abgeschrägt wurde (nach einem Vorschlag aus dem Arbeitskreis).Die Ergebnisse zeigen, dass sich kein signifikanter Unterschied zu Spanraumgeometrie 5 ergibt. Der Spanflug hat bezüglich der Doppelzerspanung dasselbe Verhalten wie beim 5. Spanraum. Die Richtung der Spanwolke ist ähnlich wie bei Spanraumgeometrie 5 (siehe Bild 26).

Ergebnisse

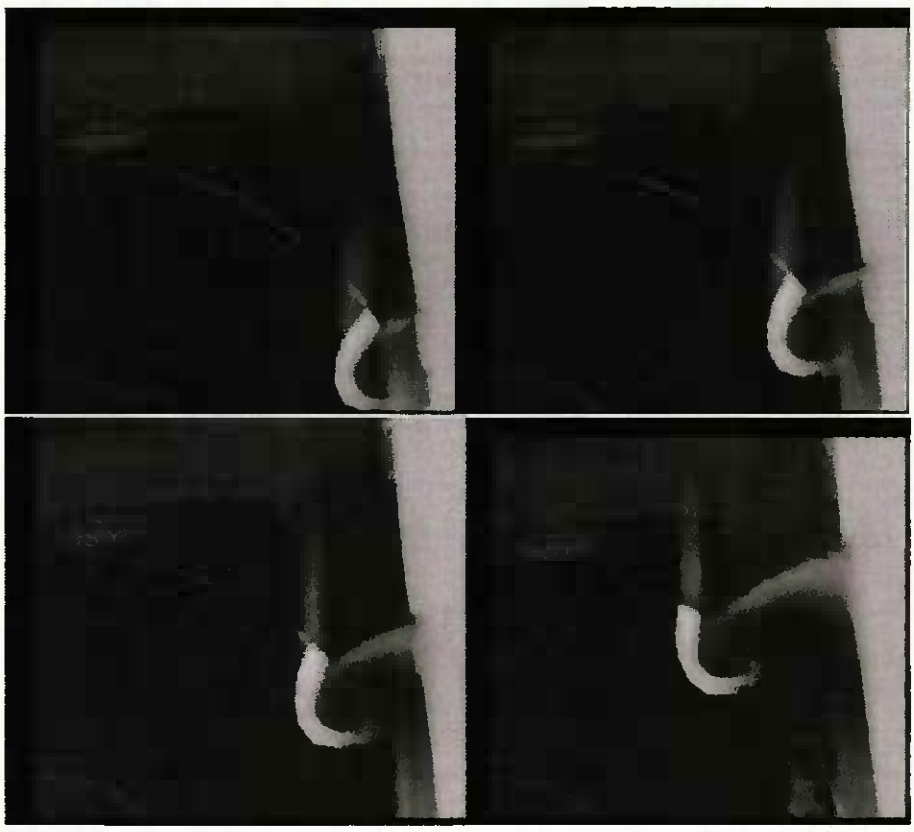


Bild 26: Gleichlauf mit Spanraumgeometrie 6

Spanraumgeometrie Nr. 7

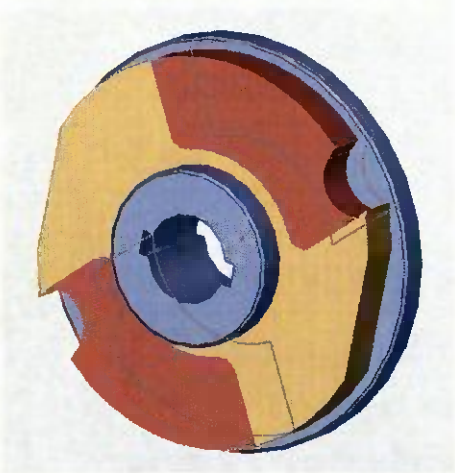


Bild 27: Spanraumgeometrie Nr. 7

Schnittbedingungen

$v_f = 20$ m/min
$n = 3000 / 6000$ min^{-1}
$a_e = 2 - 3$ mm

In der Praxis werden auch Werkzeuge mit größeren Spanräumen benutzt. Aus diesem Grund wurde die Spanraumgeometrie 7 gefertigt und untersucht (siehe Bild 27). Die Späne haben einen längeren Weg in diesem Spanraum zurückzulegen, zeigen jedoch ein gutes Auswurfverhalten. Man beobachtet fast keine Doppelzerspanung. Ein sehr kleiner Teil der Späne belastet die Schneide doppelt, indem er verzögert ausgeworfen wird und nochmals die Schneide tangiert. Die Spanwolke ist in Richtung auf das Werkstück gerichtet, wird aber später bezüglich des Werkzeugs zum Werkstoff ausgeworfen, was die Erfassung erleichtert.

Ergebnisse

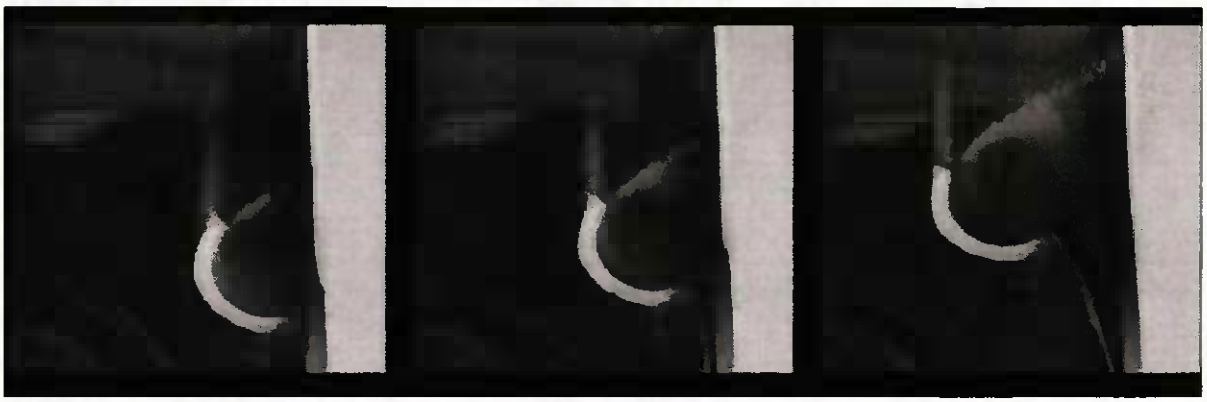
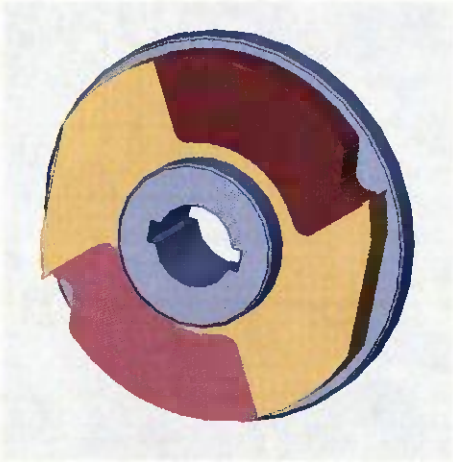


Bild 28: Gleichlauf mit Spanraumgeometrie 7

Bild 29: Gegenlauf mit Spanraumgeometrie 7

Spanraumgeometrie Nr. 8



Schnittbedingungen

$v_f = 20$ m/min
$n = 3000 / 6000$ min^{-1}
$a_e = 2 - 3$ mm

Bild 30: Spanraumgeometrie Nr. 8

Zur Ausführung der Spanraumgeometrie 8 führte die Vermutung, dass der mit einer Phase (Absatz) eingefrästen Radius die Späne beschleunigt und etwas seitlich auswerfen würde. Die Versuchsergebnisse zeigen, dass die Vermutung richtig war. Man darf behaupten, dass der 6. Spanraum zu den optimalen Spanraumgeometrien zählt. Er vermindert die Doppelzerspanung und erleichtert die Spanentsorgung. Es ist jedoch zu erwähnen, dass ein sehr kleiner Teil der gesamten Spanmenge ein zweites Mal auf die Schneide trifft.

Ergebnisse

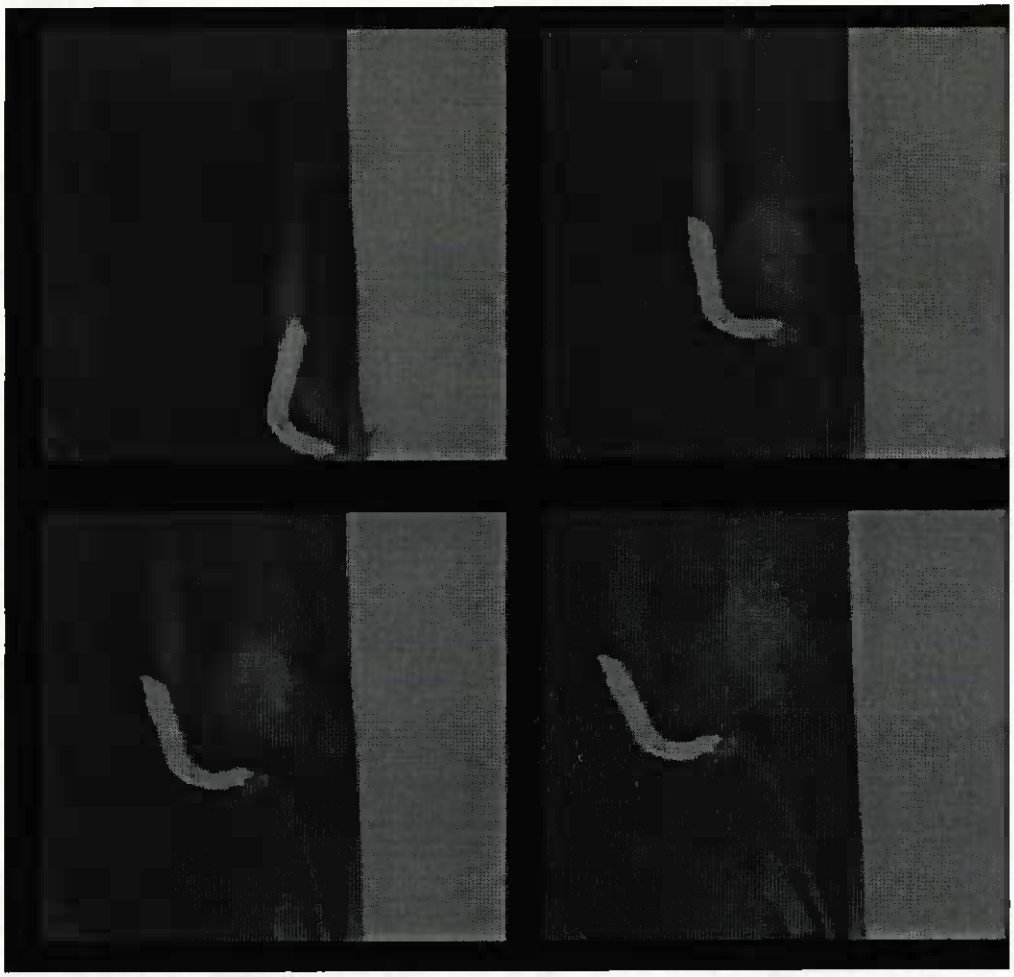


Bild 31: Gleichlauf mit Spanraumgeometrie 8

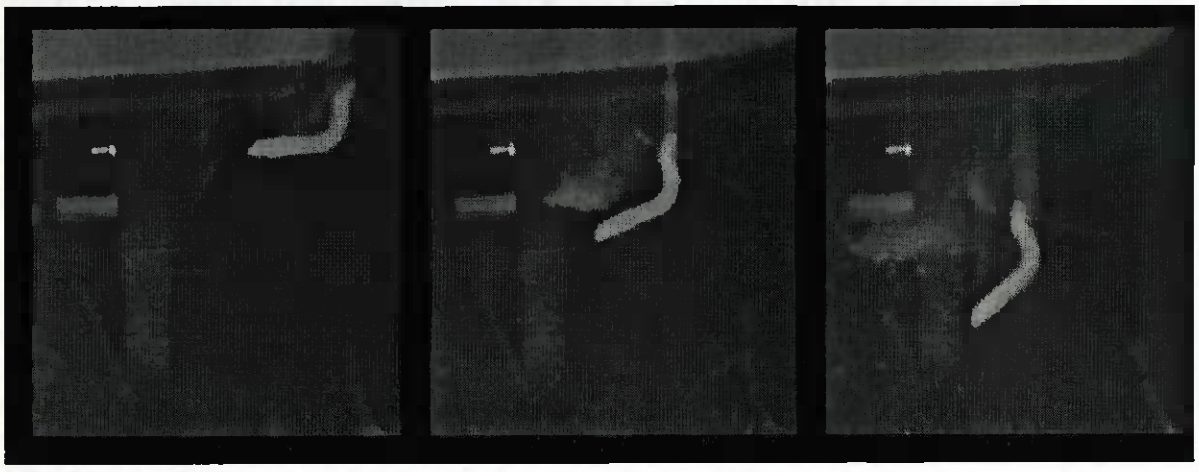


Bild 32: Gegenlauf mit Spanraumgeometrie 8

Spanraumgeometrie Nr. 9

Schnittbedingungen

v_f = 20 m/min
n = 3000 / 6000 min^{-1}
a_e = 2 – 3 mm

Bild 33: Spanraumgeometrie Nr. 9

Mit diesem Versuch beginnt eine Reihe von Untersuchungen von tief ausgefrästen Spanräumen, die eine möglichst längere Verweildauer der Späne im Spanraum gewährleisten. Die im Bild 33 dargestellte Geometrie 9 ist eine tief ausgefräste Schneckenform, bei der keine Doppelzerspanung auftritt. Der Spanflug ist parallel zur Vorschubrichtung und gleichzeitig weg vom Werkstück orientiert, was die Späneerfassung erleichtert.

Ergebnisse

Bild 34: Gleichlauf mit Spanraumgeometrie 9

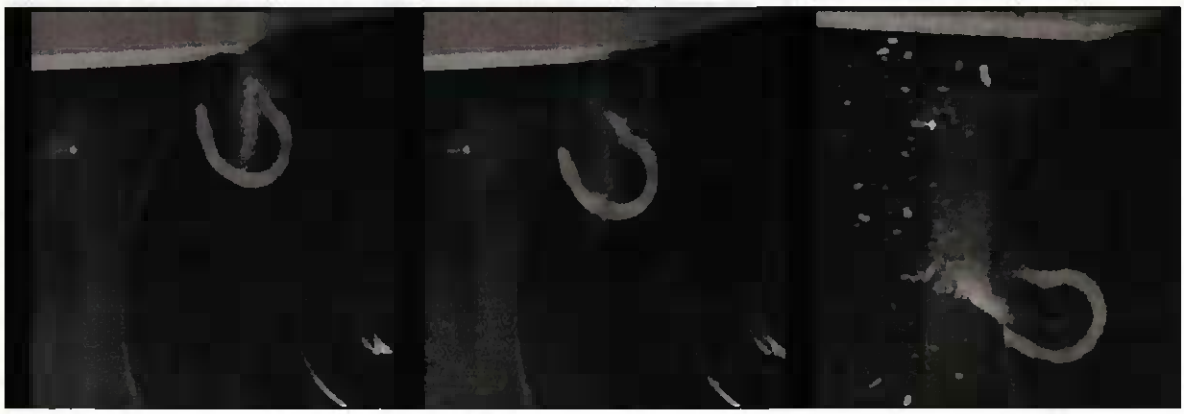
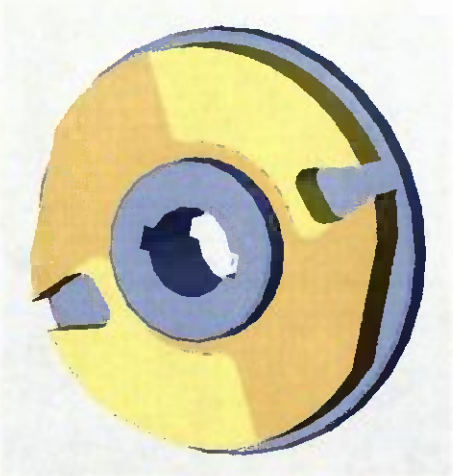


Bild 35: Gegenlauf mit Spanraumgeometrie 9

Spanraumgeometrie Nr. 10



Schnittbedingungen

v_f = 20 m/min
n = 3000 / 6000 min^{-1}
a_e = 2 – 3 mm

Bild 36: Spanraumgeometrie Nr.10

Die Spanraumgeometrie 10 ist im unteren Teil breiter ausgefräst (siehe Bild 36) und ungünstig hinsichtlich der Doppelzerspanung. Gleichzeitig ist die Spanflugrichtung positiv bezüglich der Späneerfassung, da die Späne durch die tiefe Geometrie aus dem Arbeitsbereich geführt werden und lange im Spanraum verweilen.

Ergebnisse

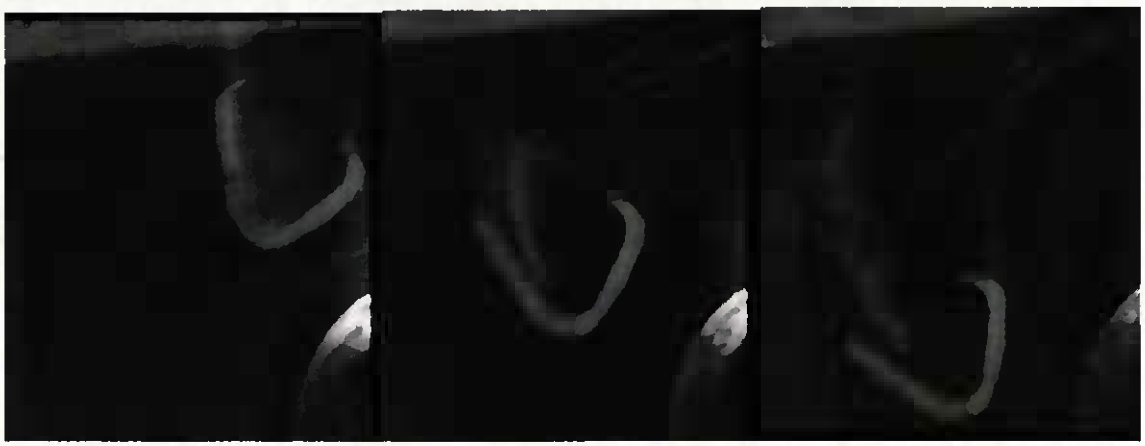


Bild 37: Gleichlauf mit Spanraumgeometrie 10

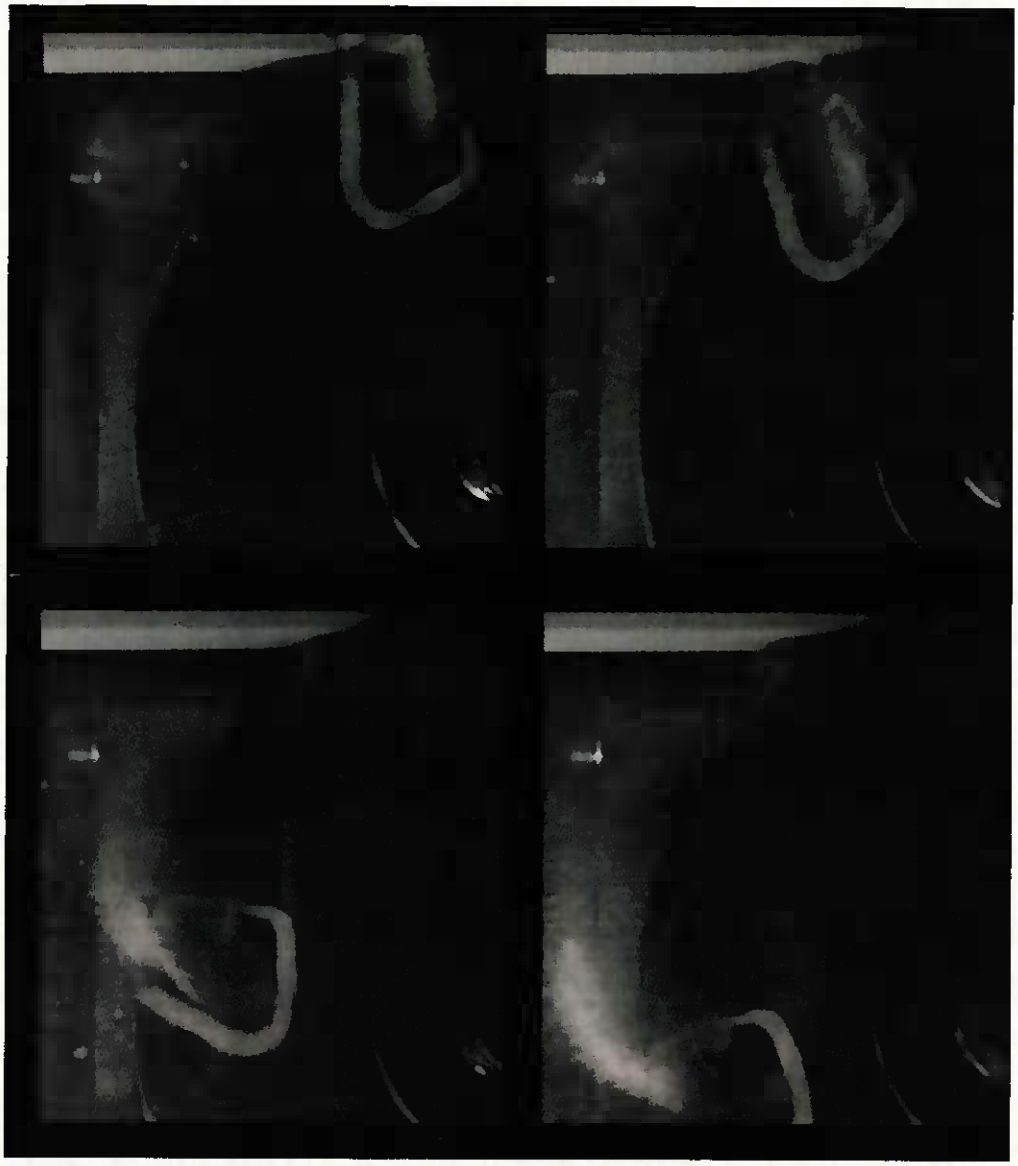


Bild 38: Gegenlauf mit Spanraumgeometrie 10

Spanraumgeometrie Nr. 11

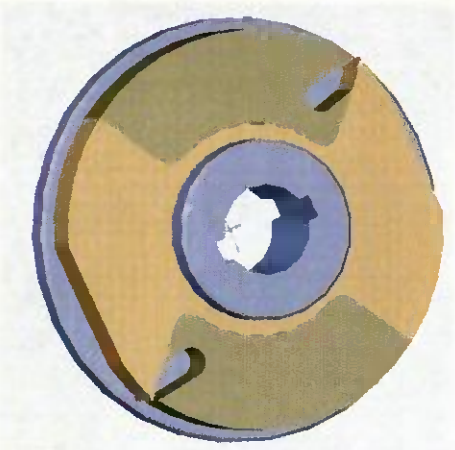


Bild 39: Spanraumgeometrie Nr. 11

Schnittbedingungen

$v_f = 20$ m/min

$n = 3000 / 6000$ min^{-1}

$a_e = 2 – 3$ mm

Die Spanraumgeometrie 11 ist fast geschlossen. Er funktioniert sehr gut, um die ganze Spanmenge spät auszuwerfen, wirkt sich aber negativ auf die Dopplezerspanung aus. Die Geschlossenheit der Geometrie vermeidet eine schnelle Spanabfuhr und wirft die Spanwolke genau auf die Schneide, was eigentlich zu vermeiden ist.

Ergebnisse

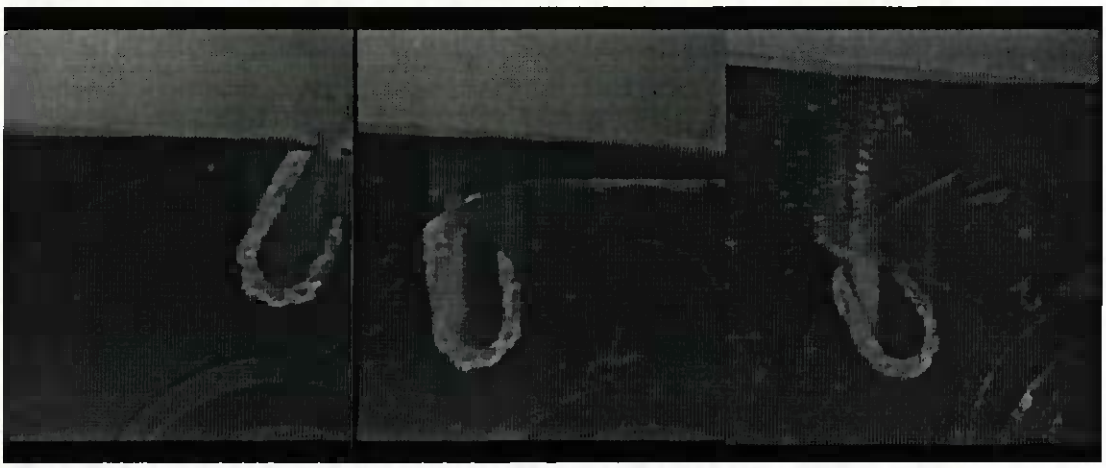


Bild 40: Gleichlauf mit Spanraumgeometrie 11

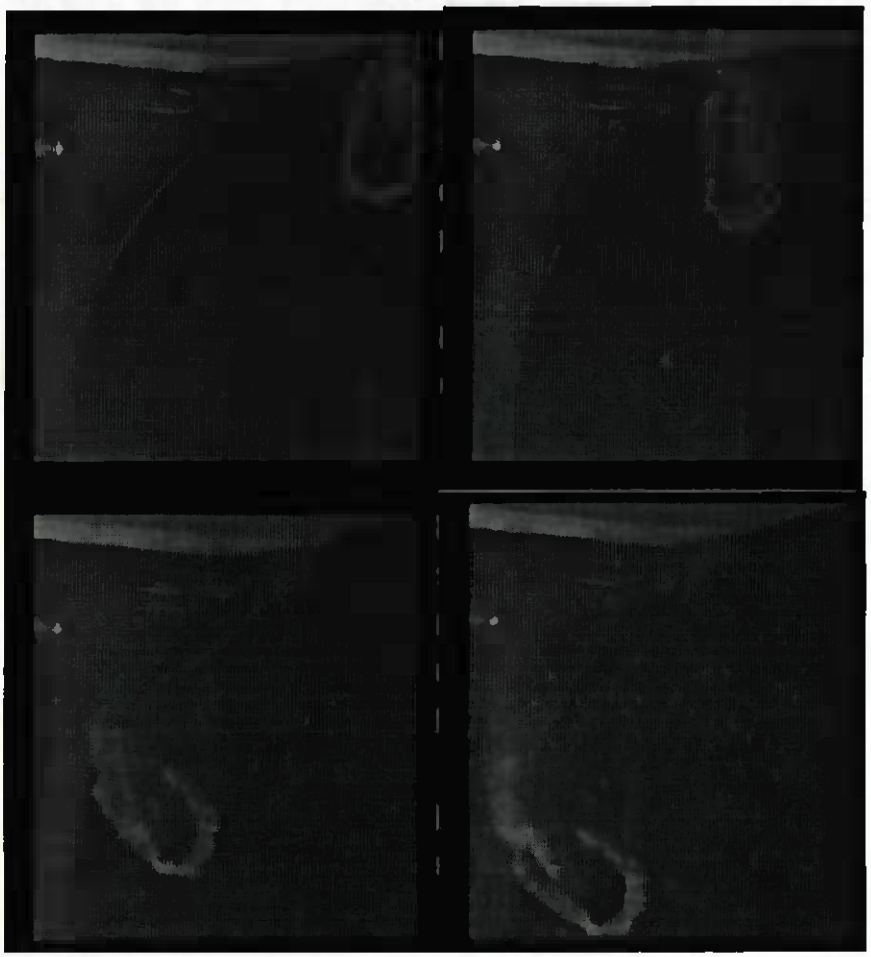


Bild 41: Gegenlauf mit Spanraumgeometrie 11

Spanraumgeometrie Nr. 12

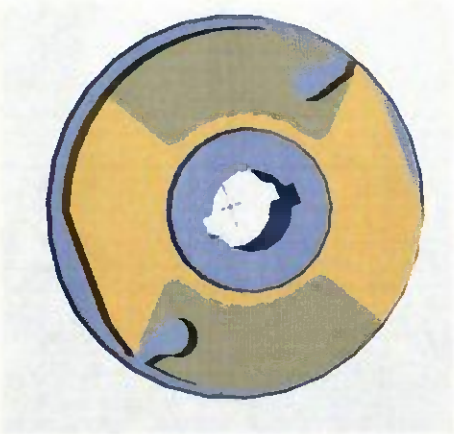


Bild 42: Spanraumgeometrie Nr.12

Schnittbedingungen

v_f = 20 m/min
n = 3000 / 6000 min^{-1}
a_e = 2 – 3 mm

Die Geometrie 12 ist der neunten Geometrie sehr ähnlich, jedoch spiegelverkehrt ausgeführt. Er wirkt sich aber sehr negativ auf die Doppelzerspanung aus. Hinsichtlich der Späneerfassung ist diese Geometrie positiv einzuschätzen. Die Späne fliegen nicht in Richtung Werkstück.

Ergebnisse

Bild 43: Gleichlauf mit Spanraumgeometrie 12

Bild 44: Gegenlauf mit Spanraumgeometrie 12

Spanraumgeometrie Nr. 13

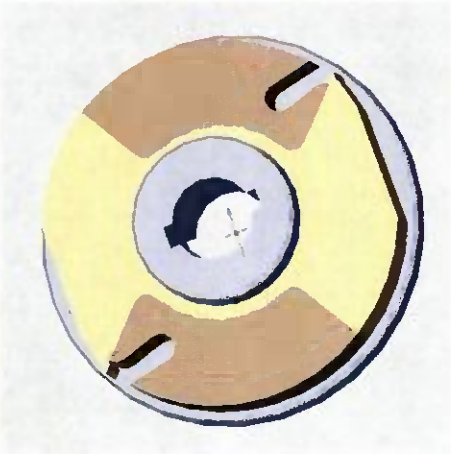


Bild 45: Spanraumgeometrie Nr. 13

Schnittbedingungen

v_f = 20 m/min
n = 3000 / 6000 min^{-1}
a_e = 2 – 3 mm

Bei der Geometrie 13 (siehe bild 45) wurde der schon vom Spanraum 8 bekannte Absatz integriert. Der Absatz lenkt die Späne so ab, dass sie fast keine Doppelzerspanung verursachen. Die Richtung des Spanflugs ist günstig für die Erfassung, da die Späne parallel zur Vorschubrichtung ausgeworfen werden.

Ergebnisse

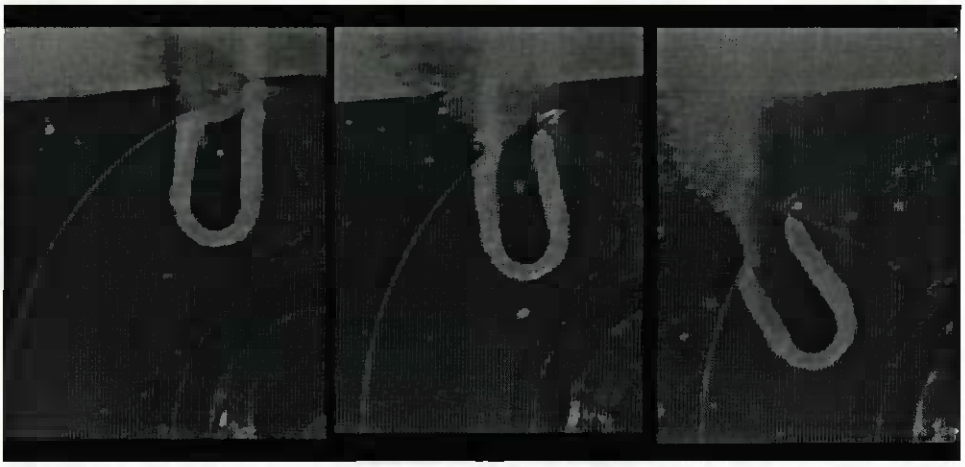


Bild 46: Gleichlauf mit Spanraumgeometrie 13

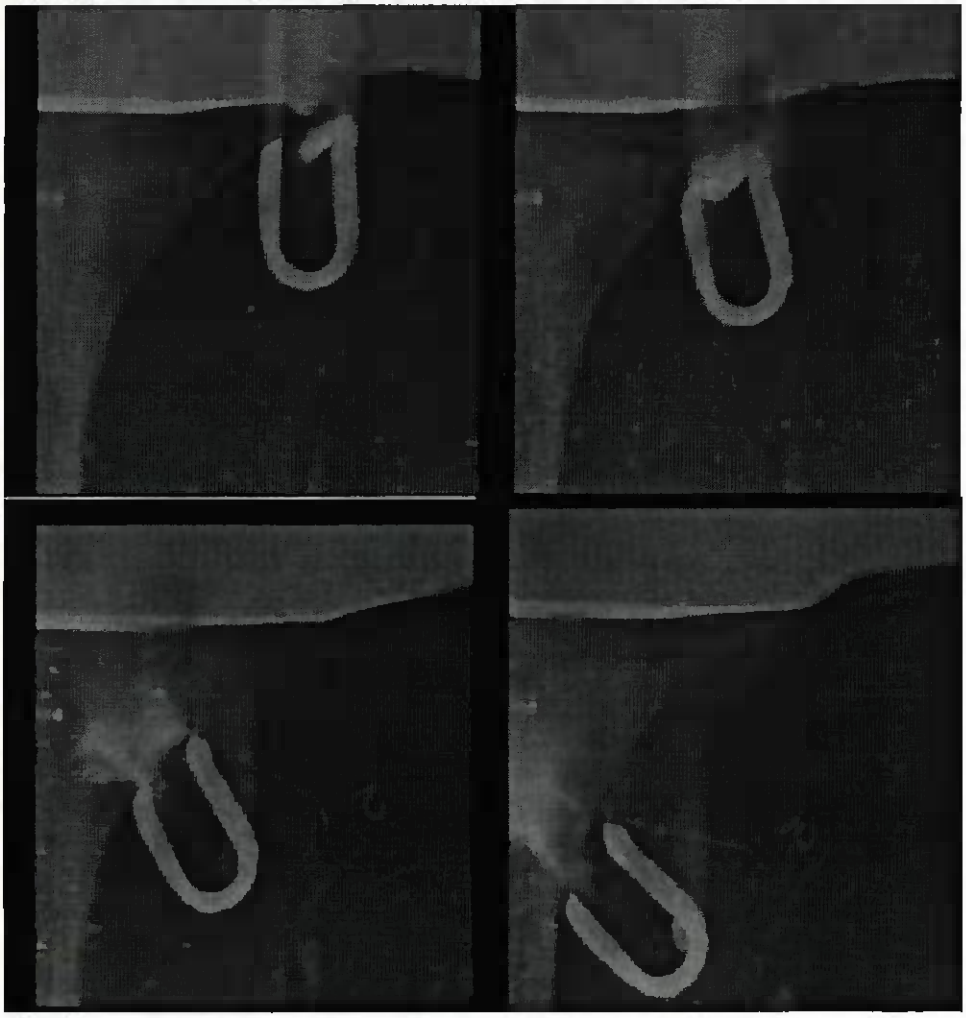


Bild 47: Gegenlauf mit Spanraumgeometrie 13

Spanraumgeometrie Nr. 14

Schnittbedingungen

$v_f = 20$ m/min
$n = 3000 / 6000$ min^{-1}
$a_e = 2 - 3$ mm

Bild 48: Spanraumgeometrie Nr. 14

Das Ziel bei der Untersuchung der Geometrie 14 war es, die Rolle der Absatzgröße bezüglich der Spänerfassung zu ermitteln. Der Absatz im Bild 48 ist wesentlich größer ausgeführt, seine Wirkung aber hinsichtlich der Doppelzerspanung ist negativ. In Bezug auf die Späneerfassung ist das Spanauswurfverhalten in diesem Fall doch positiv.

Ergebnisse

Bild 49: Gleichlauf mit Spanraumgeometrie 14

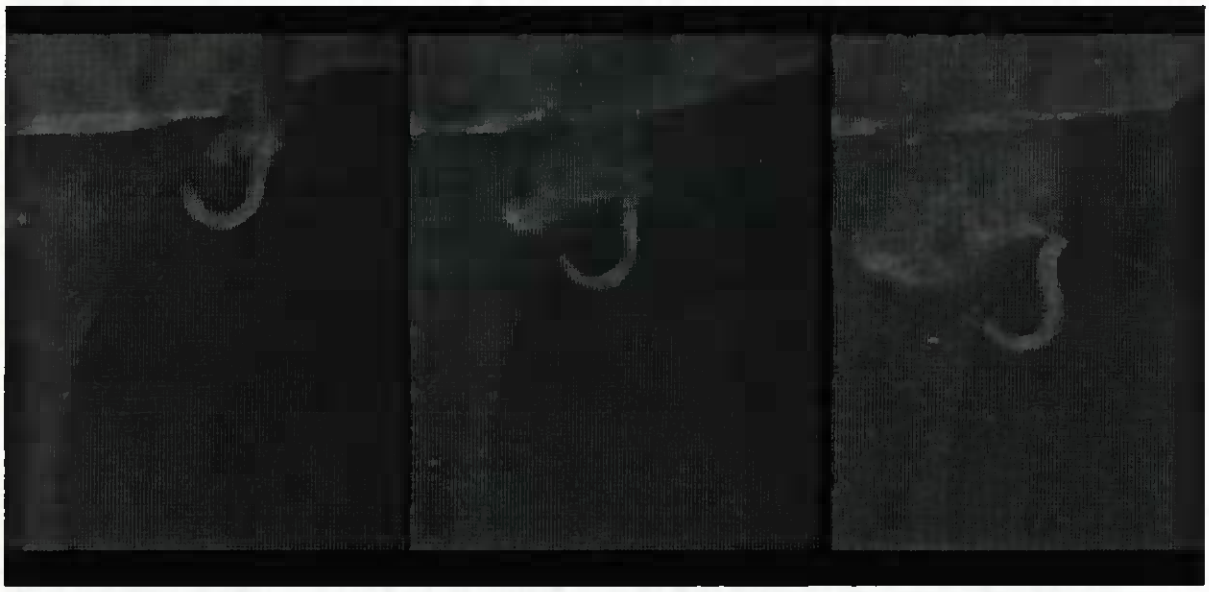


Bild 50: Gegenlauf mit Spanraumgeometrie 14

4.3 Untersuchung der Sekundärspäne

Die Sekundärspäne bilden sich als keilförmige Wolke hinter der Schneide. Dies wird ausgelöst vom Schneidendruck des Werkzeugs auf das Werkstück. Die Sekundärspanbildung wird nur bei Holzwerkstoffen, wie Spanplatten und MDF-Platten beobachtet.

Das Ziel der Untersuchung ist es, die Menge der Sekundärspäne zu messen und anschließend zu berechnen, welchen Anteil am gesamten Spanvolumen sie ausmachen. Dazu wurde eine rohrförmige Sammeleinrichtung hinter der Schneide eingebaut, die die Aufgabe hat, die Wolke aus Sekundärspänen aufzunehmen, sie wird in Bild 51 gezeigt.

Bild 51: Versuchswerkzeug mit Sekundärspäneerfassungseinrichtung

Die Größe und die Position des Rohrs wurden frei ausgewählt. Der äußerste Punkt dieser Sammeleinrichtung wurde in Bezug auf den Flugkreisdurchmesser so berechnet, dass das Rohrende während der Zerspanung das Werkstück nicht berührt. So liegt das Außenmaß des Rohrs zwischen dem Flugkreisdurchmesser (135 mm) und dem Grundkörperdurchmesser (132 mm). Es wurde anhand folgenden Daten berechnet: Gearbeitet wird mit 6000 Umdrehungen pro Minute mit einer Vorschubgeschwindigkeit $v_f = 20$ m/min. Aus Formel *(1)*

$$f_z = \frac{v_f}{n \cdot z} \qquad (1)$$

ist zu errechnen, dass der Zahnvorschub $f_z = 1,66$ mm beträgt.

Es ist die Frage zu beantworten, bis wohin darf die Sammeleinrichtung über den Werkzeuggrundkörper hinausragen. Die Sammeleinrichtung wurde um mindestens den Wert der maximalen Spanungsdicke in radialer Richtung zurückgesetzt: Dies sind 0,497 mm. Das Begrenzungsmaß wurde mit Hilfe der Formel *(2)* und *(3)* ermittelt:

$$h_{max} = f_z \cdot \sin\varphi \cdot \sin\kappa, \qquad (2)$$

wobei κ der Einstellwinkel (hier 90 °) und φ den Eingriffswinkel darstellt, der nach Formel *(3)* berechnet wurde:

$$\kappa = \arccos \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot a_e}{D}\right). \qquad (3)$$

Die Berechnungen wurden mit der Einstelltiefe $a_e = 3$ mm und dem Flugkreisdurchmesser D = 135 mm durchgeführt.

Damit das Sammelrohr das Werkstück nicht berührt und gleichzeitig möglichst alle Sekundärspäne aufnimmt, wurde die Rohrendkontur um 0,497 mm vom Flugkreisdurchmesser zurückgesetzt.

Wie man aus Bild 52 für die Spanplatte und Bild 53 für die MDF-Platte erkennen kann, wurden die Sekundärspäne sehr schnell aus der Sammeleinrichtung nach außen geworfen. Nur ein kleiner Teil davon bleibt im Rohr. Die Ursache dafür liegt an den auftretenden Fliehkräften an den Spänen.

Bild 52: Sekundärspanuntersuchungen an Spanplatte

Bild 53: Sekundärspanuntersuchungen an MDF – Platte

Um das Auswerfen der Sekundärspäne nach außen zu verhindern, wurde das Sammelrohr in radialer Richtung nach innen gebogen. Das ist genauer in Bild 54 zu erkennen.

Bild 54: Sammeleinrichtung mit gebogenem Ende

Es ist zu festzustellen, dass wieder ein Teil der Sekundärspanmenge die Sammeleinrichtung verlässt oder gleich vor dem gebogenen Ende des Rohrs nach außen geworfen wird. Die Hochgeschwindigkeitskameraaufnahme von Bild 55 stellt den Weg der Sekundärspäne beim mit gebogener Sammeleinrichtung ausgerüsteten Werkzeug dar.

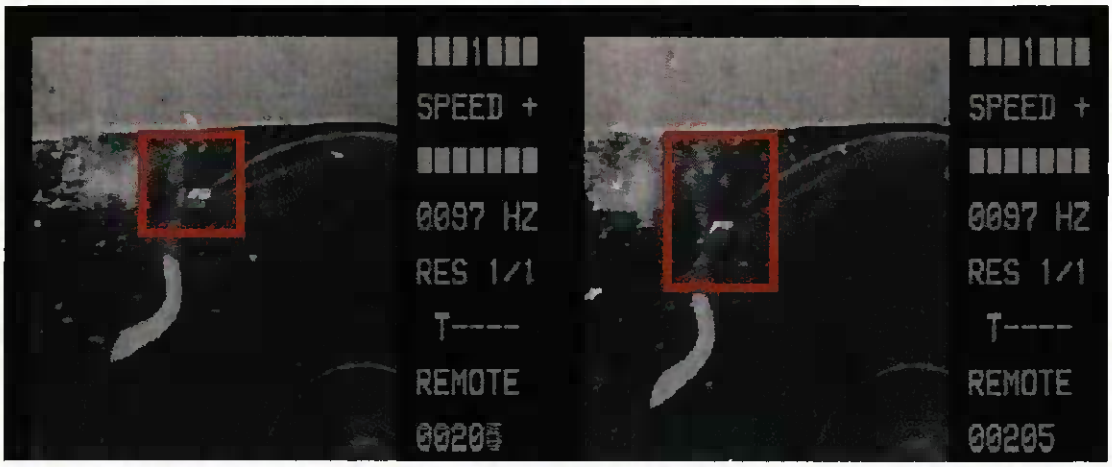


Bild 55: Sekundärspäne bei gebogenem Sammelrohr

Ein objektives Maß für die Sekundärspanmenge konnte jedoch nicht ermittelt werden, da eine reine Erfassung der Sekundärspäne nicht möglich war. Die Sekundärspanuntersuchungen haben nochmals bewiesen, dass sich Späne hinter der Schneide bilden. Um deren Einfluss zu vermeiden, ist ein Spanabweiserelement oder eine Blindschneide hinter der wirklichen Schneide einzubauen.

4.4 Vergleichsuntersuchung

Bislang gibt es in der Fachliteratur keine Hinweise, in wie weit die Doppelzerspanung die Schneidenabstumpfung beeinflusst. Nach Angaben der Werkzeughersteller liegen schätzungsweise 30% des Schneidenverschleißes an der Doppelzerspanung.

Diese Vergleichsuntersuchung stellt erstmals eine genaue Messung und Quantifizierung der Schneidenabstumpfung dar, indem man das Werkzeug mit jeweils einem doppelzerspanungsfreien (hier Spanraumgeometrie 8) und einem doppelzerspanungsbehafteten (hier Spanraumgeometrie 11) Spanraumeinsatz ausrüstet. Dadurch ist ein objektiver Vergleich der Schneidenabstumpfung mit und ohne Doppelzerspanung möglich.

Die Schneiden wurden zwischen den Versuchen jeweils frisch nachgeschärft. Die Messungen der Rauhigkeit wurden mit einem mechanisch wirkenden Tastschnittgerät der Firma Taylorix durchgeführt. Bild 57 zeigt das Rauhigkeitsprofil der beiden Schneiden nach dem ersten Nachschärfvorgang (das Werkzeug ist zweischneidig), bezogen auf die Schneidenlänge. Diese erste Versuchsreihe wurde mit einem sehr ungünstigen Spanraumeinsatz (siehe Bild 56) durchgeführt, wobei die Späne direkt ein zweites Mal auf die Schneide treffen.

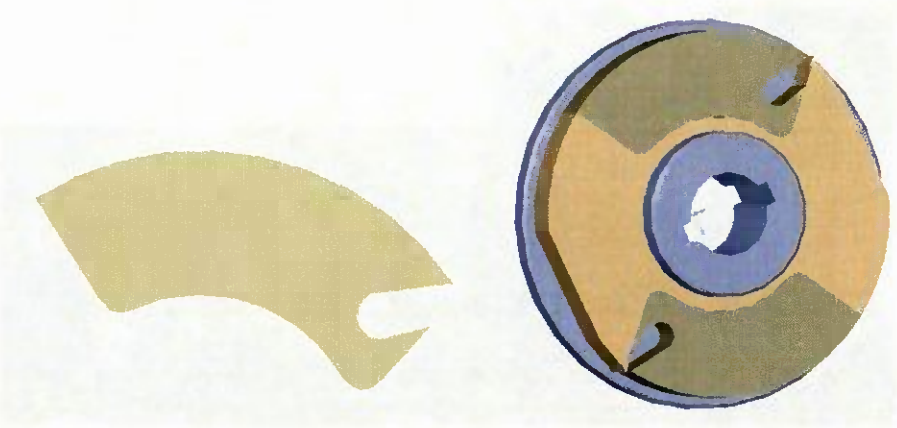


Bild 56: Ungünstiger Spanraum Nr. 11

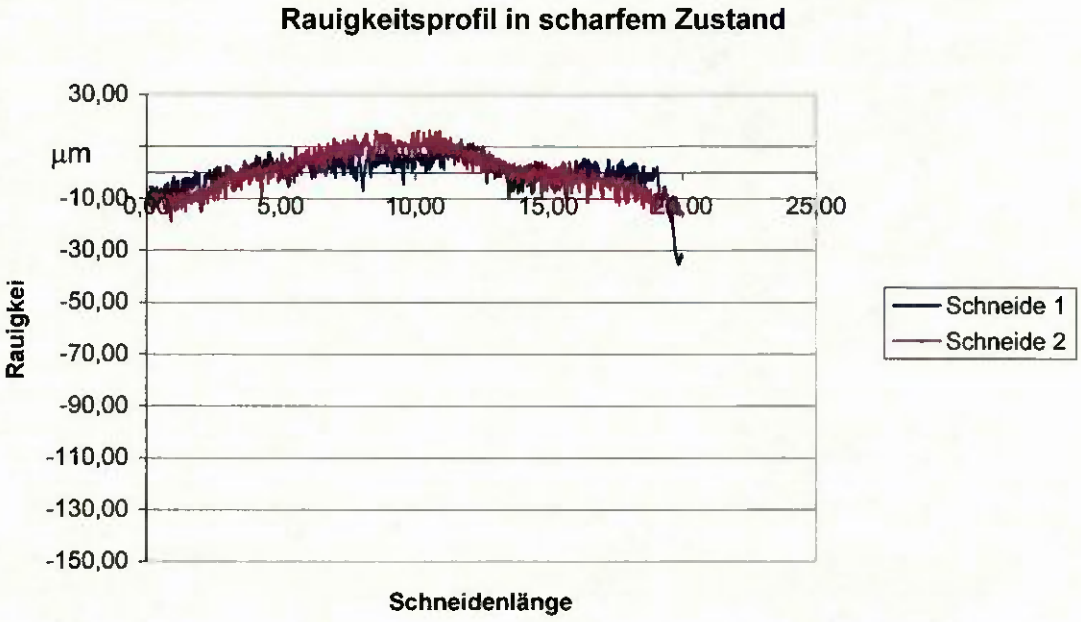


Bild 57: Rauigkeitsprofil im scharfen Zustand

Das verwendete Werkstück war eine beschichtete Spanplatte mit einer Stärke von 10 mm. Die beschichtete Spanplatte hat eine höhere Dichte in der Beschichtungszone und dementsprechend sind dort die Schneidenversatzwerte viel größer, als in der Spanplattenmittelschicht. Die Prinzipskizze des Versuchsaufbaus ist in Bild 58 (links – frontal und rechts – seitlich) dargestellt.

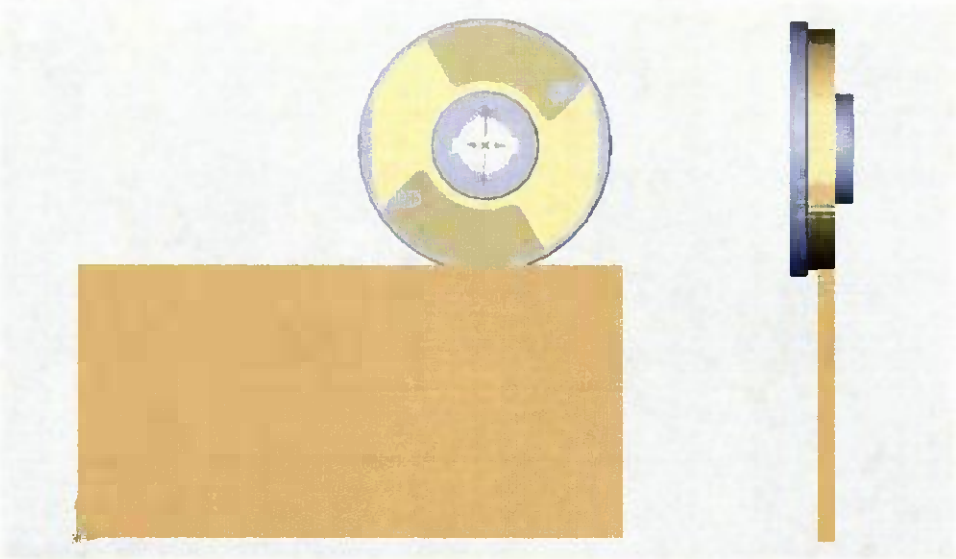


Bild 58: Prinzipskizze

Die Schartigkeitsprofile der beiden Schneiden, ausgerüstet mit dem für die Doppelzerspanung ungünstigsten Spanraumeinsatz, nach 600 m Vorschubweg verglichen mit dem Anfangszustand sind in Bild 59 und Bild 60 dargestellt. In Bild 59 ist der Unterschied in den Rauigkeitswerten in Folge des Verschleißes für die Schneide 1 gezeigt und in Bild 60 – für die Schneide 2.

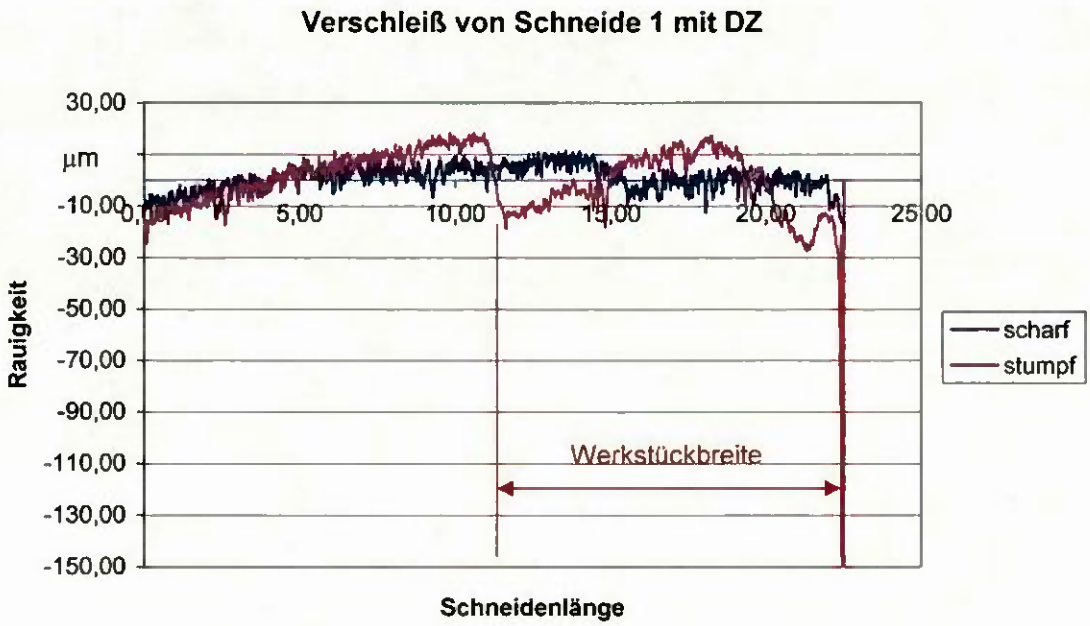


Bild 59: Verschleiß von Schneide 1 nach 600 m mit Doppelzerspanung

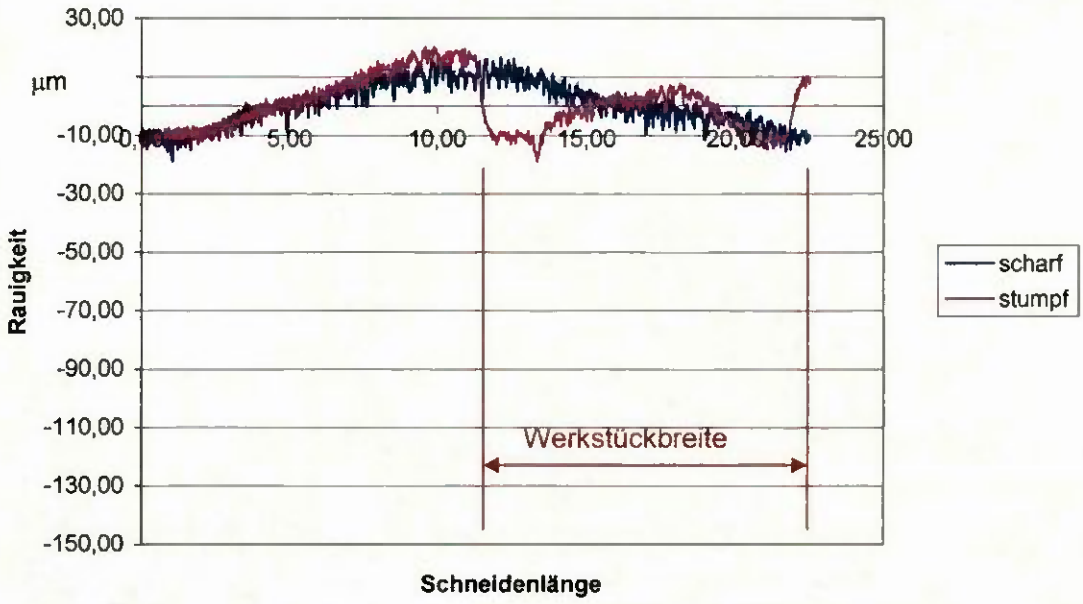


Bild 60: Verschleiß der Schneide 2 nach 600 m mit Doppelzerspanung

Um den Verschleiß an der Werkzeugschneide beurteilen zu können, wurde die Verschleißmarkenbreite am Schneidkeil mit Hilfe eines Stereo-Auflichtmikroskopes des Typs MZ 6 der Fa. Leica gemessen. Hierbei können mittels einer CCD-Zeilenkamera der Marke JVC Bilder in einen Computer übertragen und mit Hilfe des Programms Image C vermessen werden. Die Prinzipskizze zu der Verschleißermittlung bei allen Messungen wird in Bild 61 gezeigt.

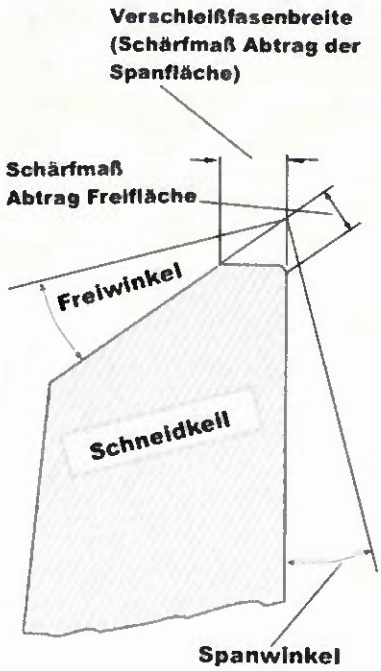


Bild 61: Prinzipskizze der Verschleißfasenbreitenmessung

Die mikroskopischen Aufnahmen der ersten Versuchsreihe (Spanraum Nr. 11) der Schneide 1 in scharfem und abgestumpftem Zustand (nach 600 m) sind in Bild 62 (rechts – scharf, links – stumpf) dargestellt. Bild 63 (rechts – scharf, links – stumpf) stellt die entsprechenden mikroskopischen Aufnahmen der Schneide 2 dar.

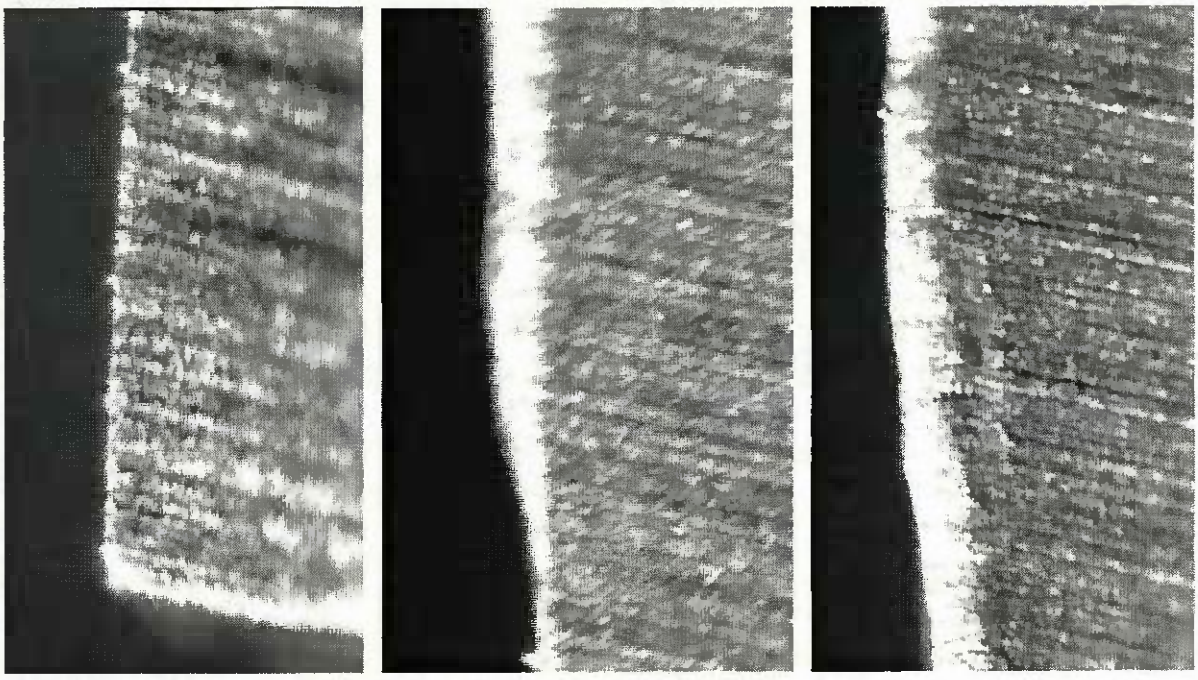


Bild 62: Scharfer und abgestumpfter Zustand der Schneide 1 mit DZ

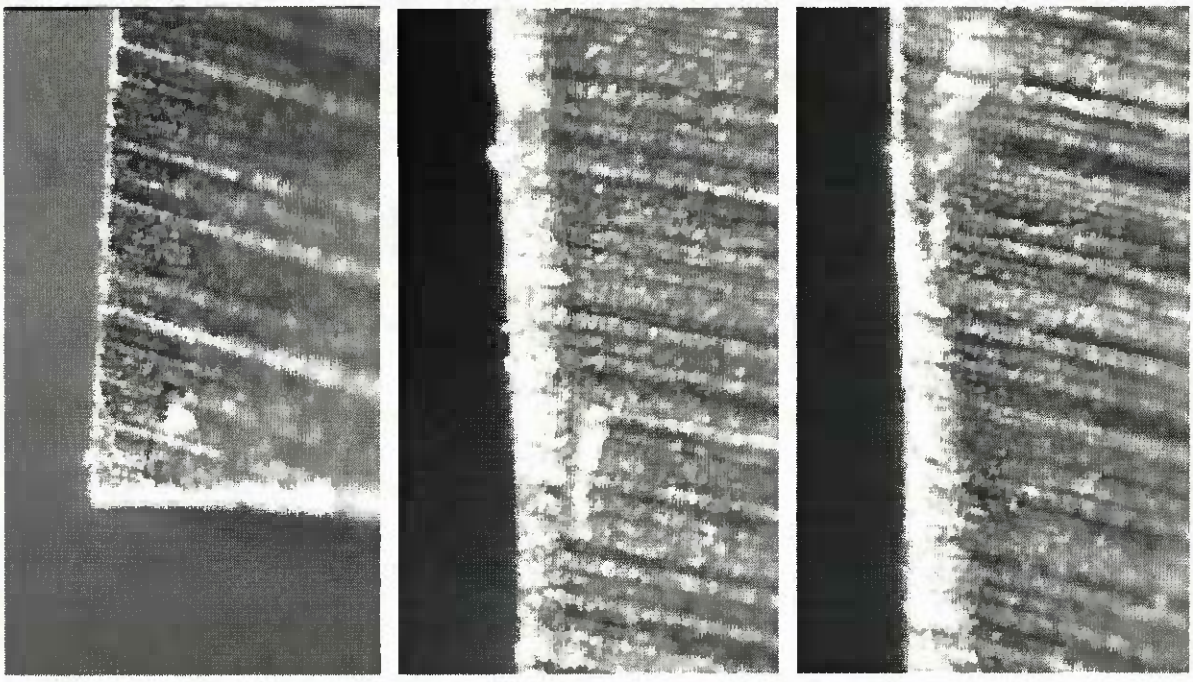


Bild 63: Scharfer und abgestumpfter Zustand der Schneide 2 mit DZ

Es wurde während der Vergleichsuntersuchung bei der ersten Versuchsreihe eine systematische Messung der Abstumpfung nach wenigen Metern, nach 50 m, nach 100 m, nach 300 m und nach 600 m durchgeführt. Bild 64 zeigt die ausgewerteten

Ergebnisse. Im Diagramm wurde weiter ein Mittelwert des Verschleißes von Schneide 1 und 2 ermittelt.

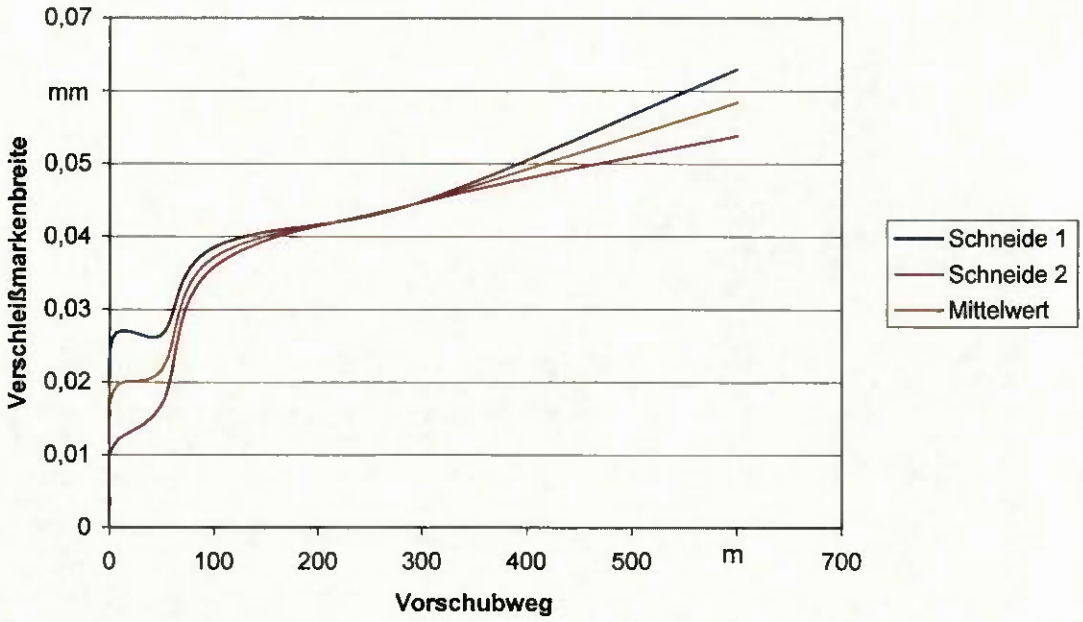


Bild 64: Verschleiß nach 600 m mit Dppelzerspanung

Nach einem zweiten Nachschärfvorgang wurde dieselbe Vorgehensweise, aber mit einem doppelzerspanungsfreien Spanraumeinsatz (siehe Bild 65) wiederholt.

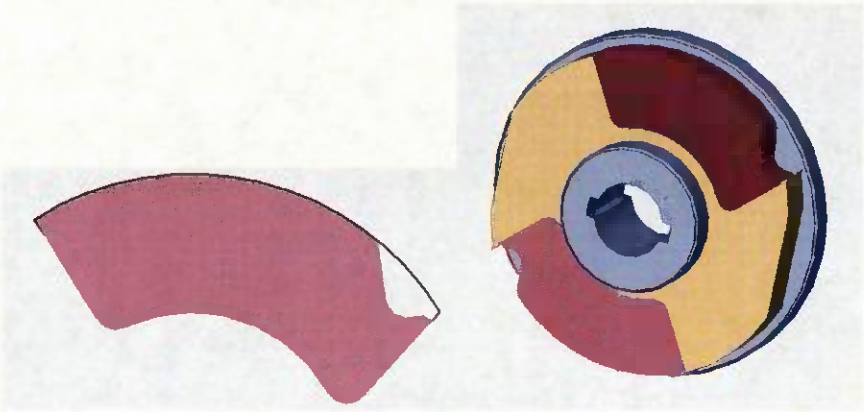


Bild 65: Spanraumgeometrie 8, mit Absatz

Die Rauigkeitsprofile der beiden Schneiden nach dem erneuten Nachschärfen sind in Bild 66 dargestellt.

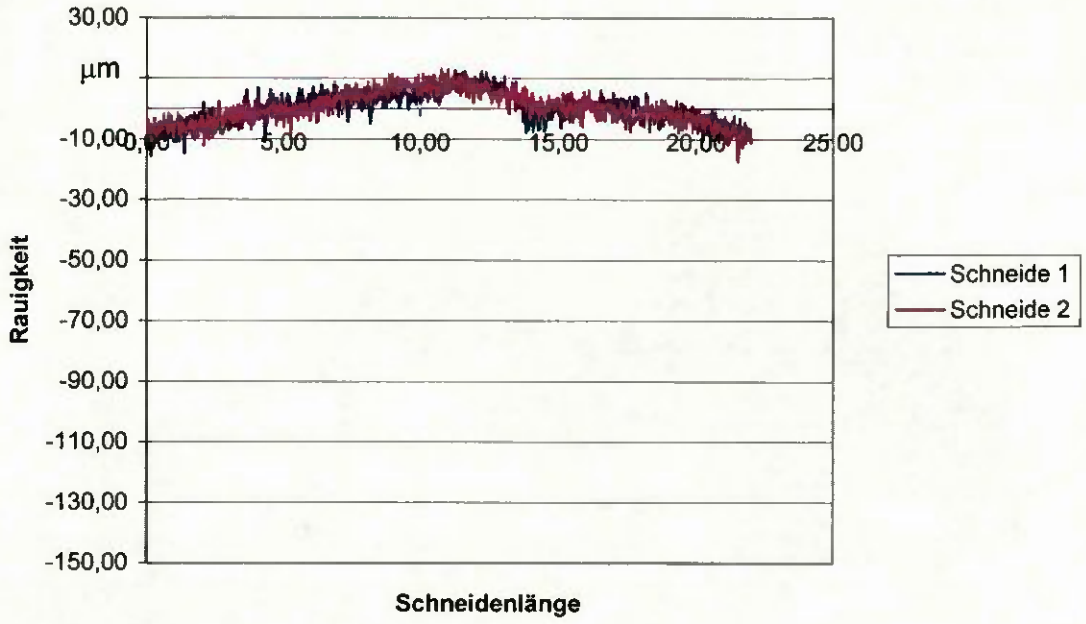


Bild 66: Rauigkeit in scharfem Zustand nach dem zweiten Nachschärfen

Dieselbe Vorgehensweise wie bei der ersten Versuchsreihe wird auch mit dem doppelzerspanungfreien Werkzeug (zweite Versuchsreihe) verfolgt. Die Schnittbedingungen und die gefahrenen Vorschubmeter (600 m) bleiben gleich. Ein Vergleich zwischen den Rauigkeitsprofilen im scharfen und im abgestumpften Zustand wird für die Schneide 1 in Bild 67 und für die Schneide 2 in Bild 68 dargestellt.

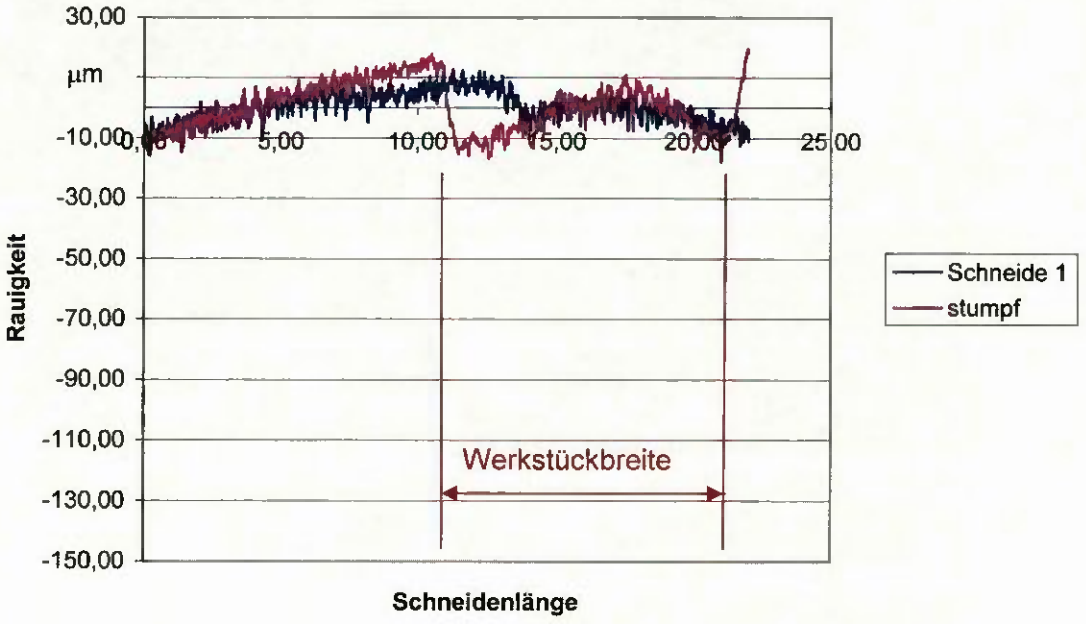


Bild 67: Verschleiß der Schneide 1 nach 600 m ohne Doppelzerspanung

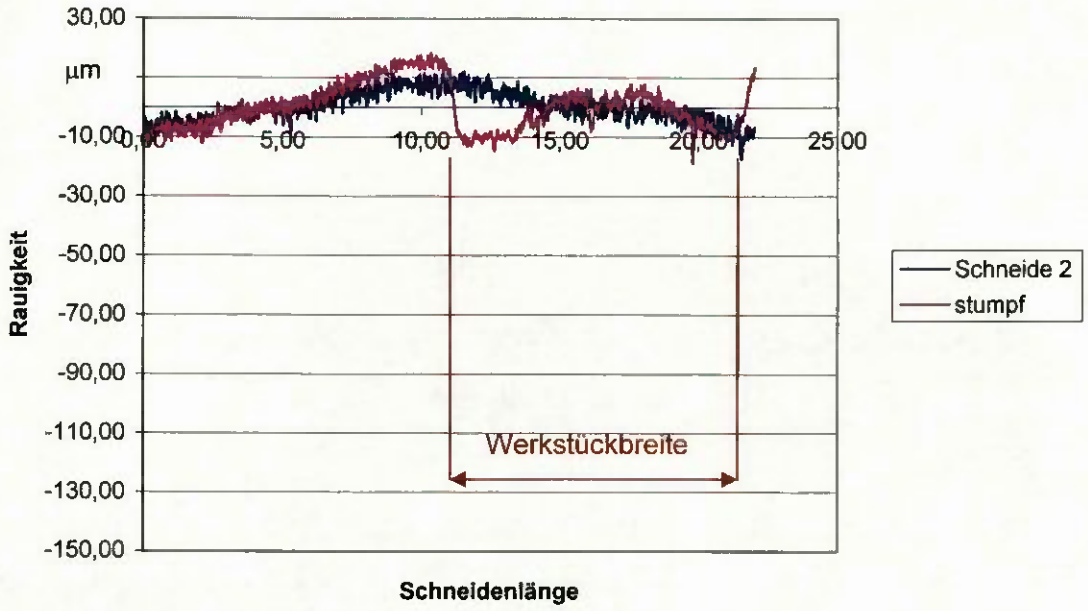


Bild 68: Verschleiß der Schneide 2 nach 600 m ohne Doppelzerspanung

Anschließend wurden nach demselben Prinzip wie in Bild 61 die Verschleißmarkenbreite der Schneide 1 und 2 entsprechend nach 2 m, nach 50 m, nach 100 m, nach 300 m und nach 600 m unter dem Mikroskop aufgenommen und vermessen. Die Ergebnisse sind in Bild 69 zusammengefasst und dargestellt.

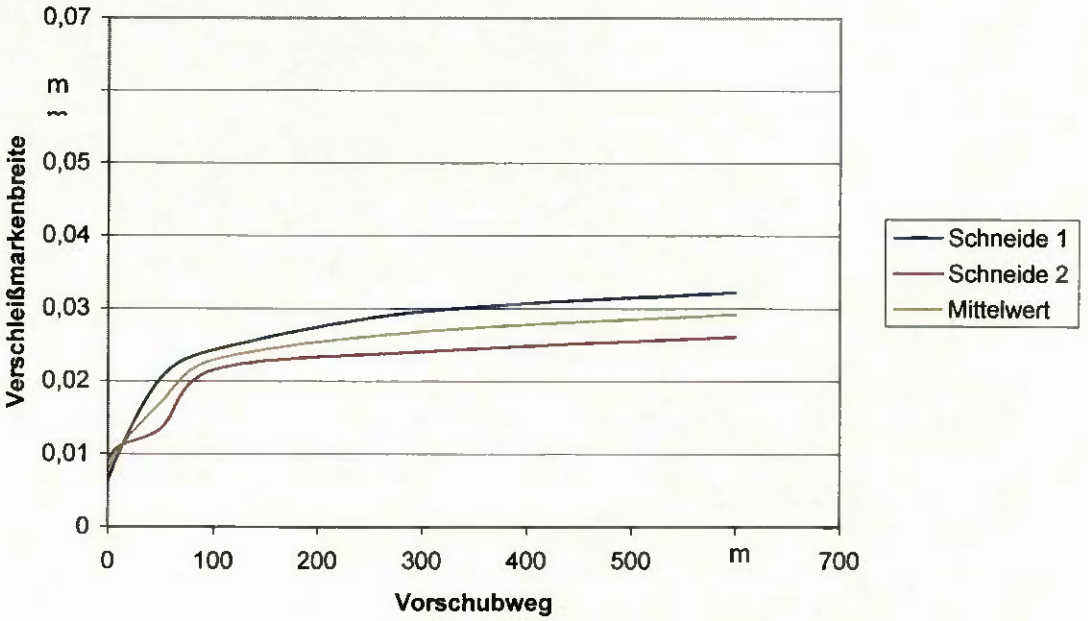


Bild 69: Verschleiß nach 600 m ohne Doppelzerspanung

Die Mikroskopaufnahmen der scharfen und abgestumpften Schneiden 1 und 2 werden in Bild 70 für die Schneide 1 und in Bild 71 für die Schneide 2 gezeigt.

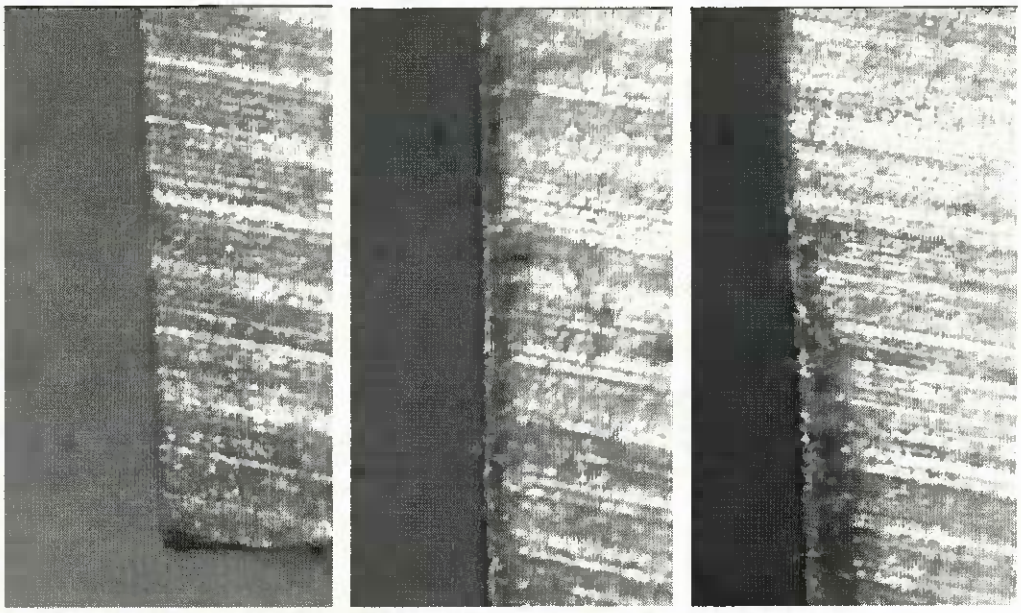


Bild 70: Scharfer und abgestumpfter Zustand der Schneide 1 ohne DZ

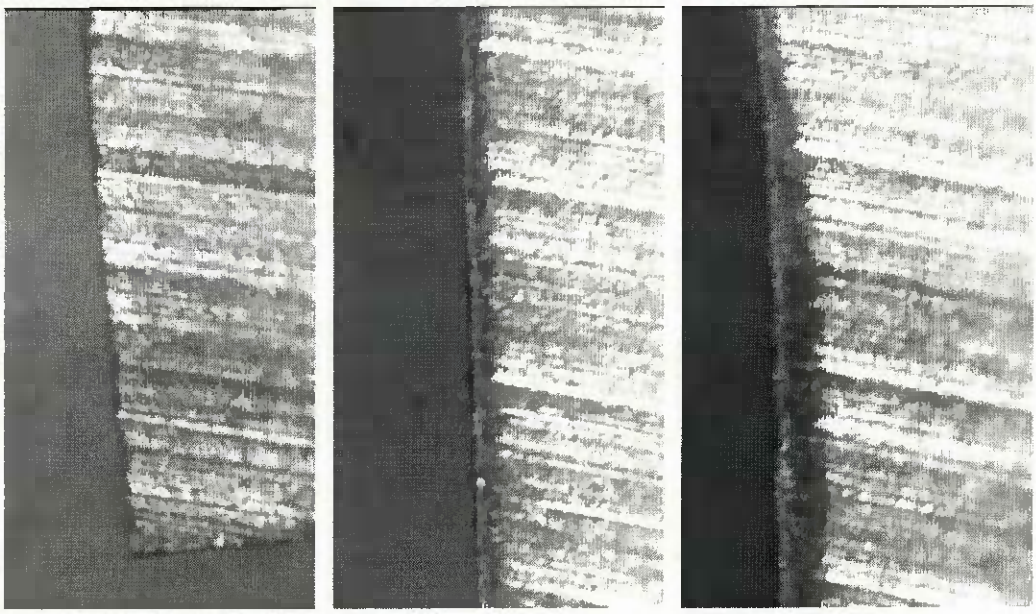


Bild 71: Scharfer und abgestumpfter Zustand der Schneide 2 ohne DZ

Zusammenfassend wurde ermittelt, dass der Schneidenverschleiß (Verschleißmarkenbreite) bei doppelzerspanungsfreien Werkzeugen 50 % kleiner als bei doppelzerspanungsbehafteten Werkzeugen ist (siehe Bild 72).

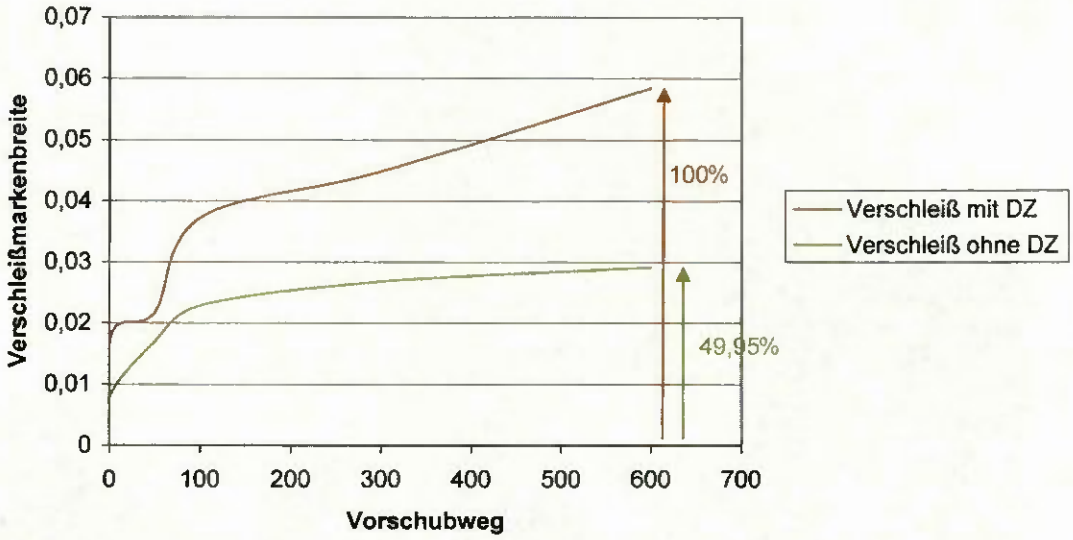


Bild 72: Mittelwert der Verschleißmarkenbreite mit und ohne Doppelzerspanung

Um wieviel sich die Standzeit eines doppelzerspanungfreien Werkzeugs bezogen auf nicht doppelzerspanungfreie Werkzeuge verlängern wird, lässt sich objektiv nicht einschätzen. Es ist jedoch eindeutig, dass eine Hartmetallschneide, die ohne Doppelzerspanung 600 m im Einsatz war, eine 50 % geringere Verschleißmarkenbreite im Vergleich zur Schneide mit Doppelzerspanung aufwies. An den mikroskopischen Aufnahmen in Bild 73 lässt sich mit gewöhnlichem Auge der Verschleißunterschied einschätzen: Rechts ist die Verschleißmarkenbreite nach 600 m mit Doppelzerspanung zu sehen und links die Verschleißmarkenbreite ohne Doppelzerspanung bei gleichen Laufmetern.

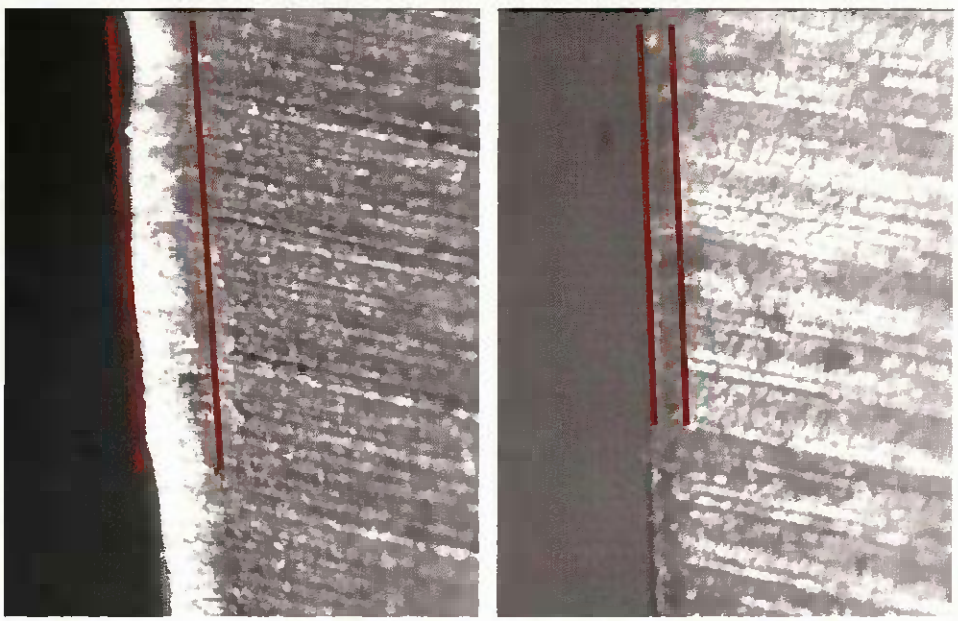


Bild 73: Verschleißmarkenbreite mit und ohne Doppelzerspanung

5 Gleichlaufnuten

Auf Wunsch der Industriepartner aus dem Arbeitskreis wurden im Rahmen des Forschungsvorhabens zusätzliche Untersuchungen hinsichtlich des Gleichlaufnutens durchgeführt. Im folgenden Kapitel soll kurz auf die Probleme beim Gleichlaufnuten und auf die Untersuchungsergebnisse eingegangen werden.

5.1 Problematische Spänerfassung beim Nuten im Gleichlauf

In der Holzbearbeitungsbranche ist das Gleichlaufnuten die wirtschaftlichste Lösung zur Erzeugung von Nuten in beschichteten Holzwerkstoffen, indem die Schnittkante möglichst weniger Ausbrüche hat. Nutet man im Gleichlauf, so drückt die Werkzeugschneide immer von oben gegen den Werkstoff auf die Beschichtung. Dadurch platzt diese nicht ab, sondern wird durch das Werkzeug geschnitten.

Die Probleme, die im Gleichlauf jedoch auftreten, liegen in der Spanabfuhr. Eine relativ große Spanmenge bleibt nach der Zerspannung in der Nut und verstopft diese. Die Folgen sind längere Reinigungszeiten und höhere Staubkonzenration in der Luft.

Nach Angaben der Werkzeughersteller liegt der Grad der Spänerfassung etwa bei 70 %, was nicht als befriedigend bezeichnet werden kann.

5.2 Simulation des Gleichlaufnutens

Alle Untersuchungen wurden am IfW mit Versuchswerkzeugen der Firmen Leitz und Leuco durchgeführt.

Mit Hilfe einer Acrylglasscheibe gelang es, die Nut während der Zerspanung zu beobachten. Die Acrylglasscheibe wurde als Nutwand benutzt. Die Aufnahmen der Spanräume der Nutwerkzeuge wurden mit der Hochgeschwindigkeitskamera, welche in Kapitel 4.1 beschrieben ist, durchgeführt.

Zwei Spanplatten wurden versetzt um 1 mm zusammen verschraubt. Seitlich an der unteren Platte wurde dann die Acrylglasscheibe befestigt (Bild 74). Bild 75 zeigt eine Aufnahme des Versuchswerkstücks. Das Nuten erfolgt von oben oder von unten, je nach Versuchsaufbau, um immer im Gleichlauf zu arbeiten.

Nach jedem Nutvorgang wurde die obere Spanplatte abgeschraubt, auf der Kreissäge der Nutansatz abgesägt, um sie erneut über der unteren Spanplatte zu befestigen.

Es wurden weiter Aufnahmen mit einer herkömmlichen Digitalkamera gemacht, wobei gezielt der Spankeil im Arbeitsraum der Maschine beobachtet wurde. Diese Aufnahmen wurden im Anhang beigefügt.

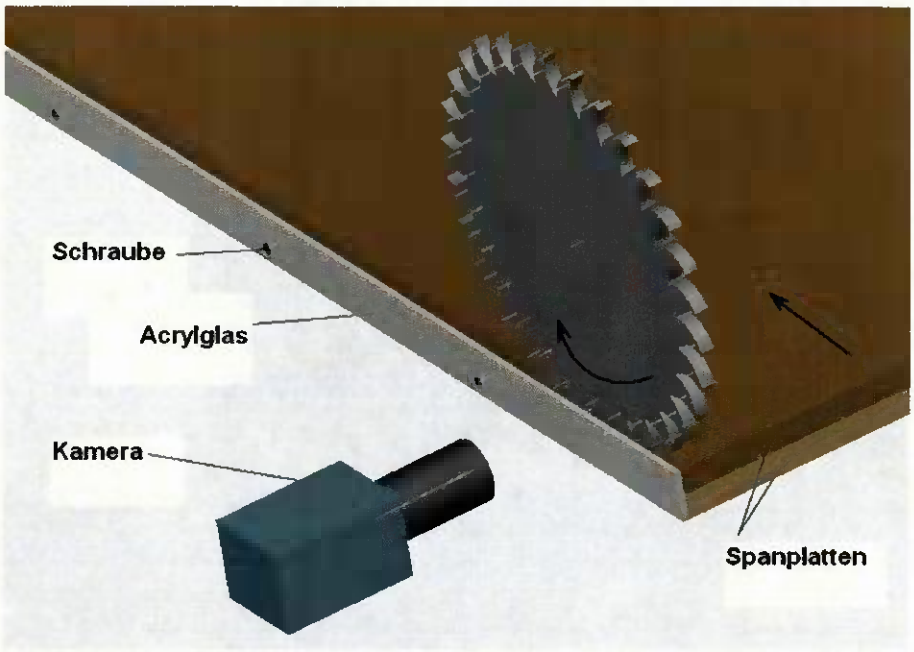


Bild 74: Prinzipskizze des Versuchsaufbaus

Bild 75: Fotobild des Versuchswerkstücks

Bei der Simulation des Gleichlaufnutens mit Acrylglasscheibe erfolgt die Zerpanung an der Nutwand. Die Ergebnisse sind trotz der unterschiedlichen Reibverhältnisse in der Nutwand repräsentativ und zeigen erstmals den Zerspanungsvorgang in der Nut selbst. Es kann beobachtet werden, wie die Späne entstehen und wie sie über unterschiedlich gestaltete Spanräume abgeführt werden können.

5.3 Untersuchte Werkzeuge und Ergebnisse

Die Versuche wurden an einer Durchlaufmaschine der Firma Homag mit folgenden Schnittbedingungen durchgeführt:

- Nuttiefe: 13 - 15 mm
- Drehzahl: 3000/6000 min^{-1}
- Vorschubgeschwindigkeit: 20 m/min
- Werkstoff: Spanplatte

Zur besseren Orientierung wurden für die Nutwerkzeuge Nummern von 1 bis 10 vergeben. Aus jedem Film wurde ein Bild ausgeschnitten. Die Filme selbst sind auf eine DVD gebrannt und als Anhang beigefügt.

Bild 76: Nutwerkzeug Nr. 1 mit schrägen Spanräumen

Beim Nutwerkzeug Nr. 1 (Bild 76) sind die Spanräume schräg ausgeführt, wobei die Schneiden eine Breite von 10 mm in axialer Richtung haben. Die schräge Geometrie des Spanraums weist ein positives Verhalten bezüglich der Spanabfuhr auf. Trotzdem wurde beobachtet, dass ein Teil der Spanmenge entlang der Nut fliegt.

Bild 77: Nutwerkzeug Nr. 2 mit schrägen Spanräumen

Das Nutwerkzeug Nr. 2 ist auch mit schrägen Spanräumen ausgerüstet (siehe Bild 77), dessen Breite jedoch nur bei 4 mm liegt. Ein gewisser Anteil an Späne bleibt nach der Zerspanung in der Nut, da das schmale Werkzeug nicht in der Lage ist, alle Späne aus der Nut heraus zu werfen.

Bild 78: Nutwerkzeug Nr. 3 mit schneckenförmigen Spanräumen

Das Nutwerkzeug Nr. 3 (Bild 78) schneidet eine Nut der Breite 10 mm und hat schneckenförmige Spanräume. Diese Spanraumgeometrie hat einen guten Füllungsgrad, die Späne wurden weit über die Nutoberkante ausgeworfen. Trotzdem bleibt nach der Zerspanung die Nut nicht sauber und eine Reinigung ist notwendig.

Bild 79: Nutwerkzeug Nr. 4 mit schneckenförmigen Spanräumen

Beim Werkzeug Nr. 4 sind Spanräume (Bild 79) ebenfalls schneckenförmig ausgeführt. Dieses Nutwerkzeug erzeugt Nuten, die nur 4 mm breit sind. Das Verhalten der Späne bezüglich der Spanabfuhr ist ähnlich wie beim Nutwerkzeug Nr. 3. Der größere Anteil der Späne wird über die Nutoberkante ausgeworfen.

Bild 80: Nutwerkzeug Nr. 5 mit großen Spanräumen

Das Nutwerkzeug Nr. 5 (Bild 80) erzeugt eine Nut der Breite 12 mm. Die größeren Spanräume schaffen es, die Späne lediglich aus der Nut heraus abzuführen, sind jedoch schlechter bezüglich der Spanabfuhr im Vergleich zu den schneckenförmigen Spanraumgeometrien.

Bild 81: Nutwerkzeug Nr. 6 mit schneckenförmigen Spanräumen

Das Nutwerkzeug Nr. 6 (Bild 81) ist im Prinzip gleich wie das Nutwerkzeug Nr. 3, nur die Wellenaufnahme ist unterschiedlich (für eine 30-er Welle). Die Bilder zeigen sehr klar, wie voll der Spanraum mit Spänen gefüllt wurde. Das Spanabfuhrverhalten ist jedoch nicht ausreichend.

Bild 82: Nutwerkzeug Nr. 7 mit tiefen geschlossenen Spanräumen

Das Nutwerkzeug Nr. 7 weist exotische Spanräume auf (siehe Bild 82), die fast geschlossen sind. Es ist ein dünnes Werkzeug. Das Spanverhalten bezüglich der Spanabfuhr ist als positiv einzuschätzen, da der Spankeil senkrecht zur Vorschubrichtung und weg von der Nut gerichtet ist. Die Nut ist fast sauber nach dem Zerspanprozess.

Bild 83: Nutwerkzeug Nr. 8 mit großen geschlossenen Spanräumen

Das Werkzeug Nr. 8 (Bild 83) ist ein vierschneidiges dünnes Nutwerkzeug mit tief ausgefrästen geschlossenen Spanräumen. Die Späne wurden von den Spanräumen aufgenommen und über der Nutoberkante ausgeworfen. Das Spanverhalten bezüglich der Spanabfuhr ist ähnlich wie bei Nutwerkzeug Nr. 7.

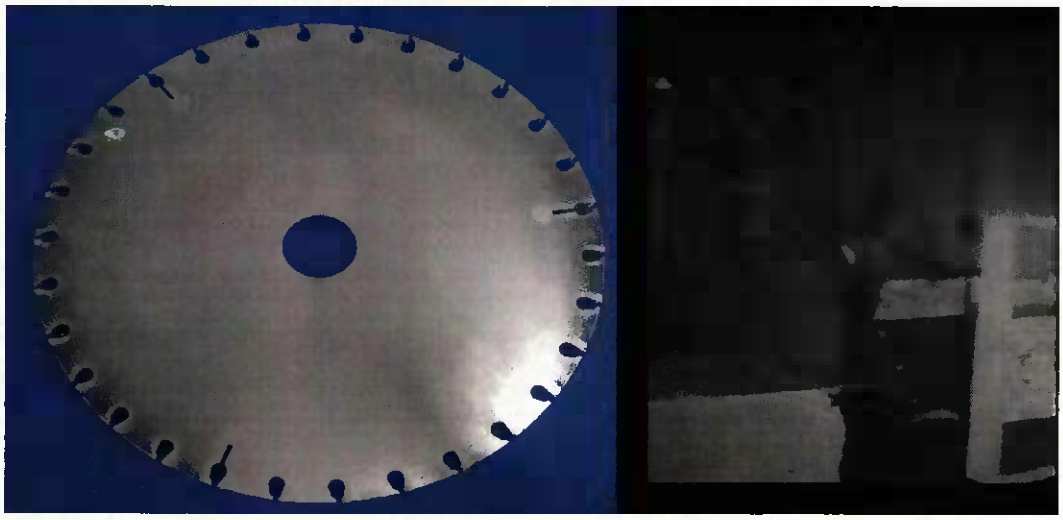


Bild 84: Nutwerkzeug Nr. 9

Das Nutwerkzeug Nr. 9 (Bild 84) besitzt relativ kleinere Spanräume, die gleichzeitig ziemlich geschlossen ausgeführt sind. Die Spanwolke bleibt länger im Spanraum und wird aus der Nut herausgeführt. Der Spankeil ist senkrecht zur Nut und nicht in Richtung Werkstück gerichtet.

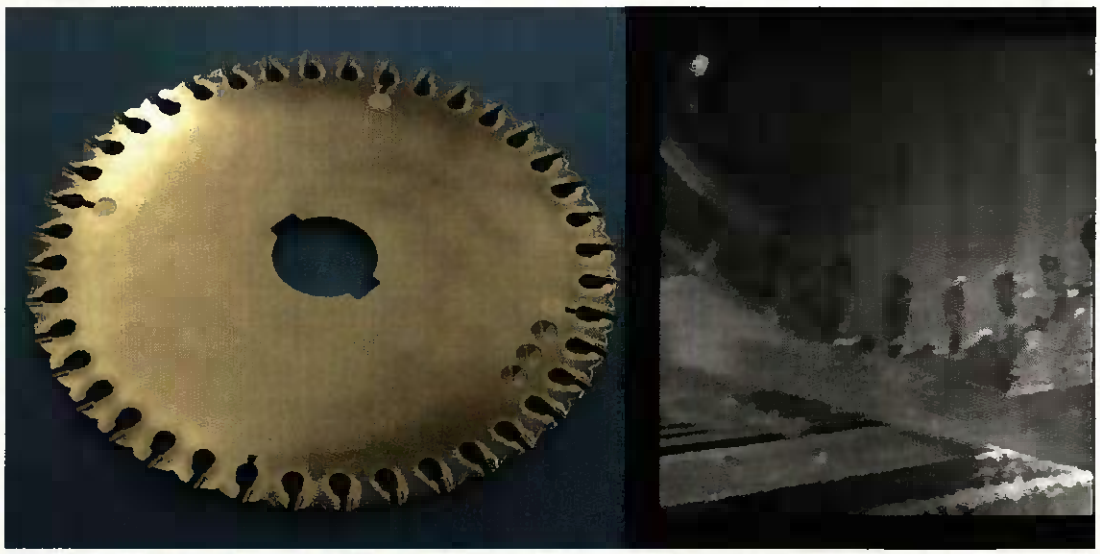


Bild 85: Nutwerkzeug Nr. 10 mit Sonderspanraumgeometrien

Beim Nutwerkzeug Nr. 10 (Bild 85) sind Sonderspanraumgeometrien zu beobachten. Die Späne füllen die Spanräume aus. Die Spankeilwolke ist senkrecht zum Werkstück und der Vorschubrichtung gerichtet, was eine bessere Spanabfuhr gewährleistet, allerdings reicht dies nicht, alle Späne abzuführen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die fast geschlossenen Spanräumen und die schneckenförmigen Spanräumen die beste Spanabfuhr bewirken. Diese Formen erfassen die meisten Späne und werfen sie erst zu einem späteren Zeitpunkt aus dem Werkzeug aus. Zu diesem Zeitpunkt ist die Schneide schon aus der Nut ausgetreten. Dann übernimmt die Aufgabe der weiteren Spanabfuhr die Absaughaube.

Die Lösung des Problems der Spanabfuhr beim Gleichlaufnuten von Holzwerkstoffen liegt in einer feinen Anpassung zwischen der Geometrie der Spanräume des Werkzeugs und der Geometrie der Absaughaube selbst.

Der in Kapitel 6 systematisch zusammengestellte Katalog kann auch dazu dienen, die richtige Wahl für die Spanraumgeometrie entsprechend der verwendeten Kombination aus Werkzeug und Haube, zu treffen.

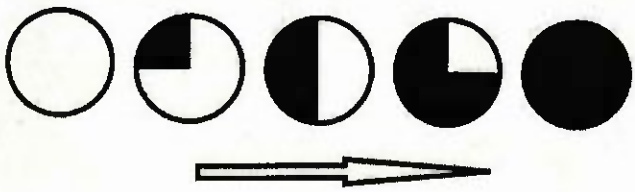
6 Katalogisierte Übersicht der untersuchten Spanräume

In diesem Kapitel wird der Katalog dokumentiert, der aus den gewonnenen Ergebnissen der Untersuchungen erstellt wurde. Diese systematische Information über die unterschiedlichen Spanraumgeometrien wird dem Werkzeughersteller oder Werkzeuganwender die Möglichkeit geben, das Werkzeug nach seinen konkreten Ansprüchen effizienter zu gestalten bzw. zu nutzen. Die Darstellungsweise wurde nach den Bedürfnissen der Werkzeughersteller gewählt. Sie entspricht einem Schema, das erfolgreich zur Kommunikation zwischen Werkzeugherstellern und Maschinenbauern, für eine optimale Auslegung der Absaughaube, eingesetzt wird.
Der Katalog besteht aus folgenden Angaben:

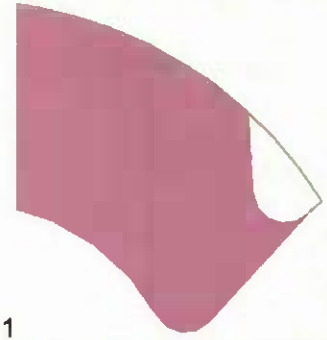
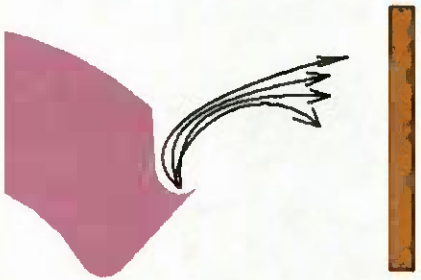
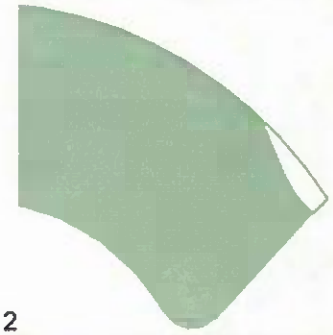
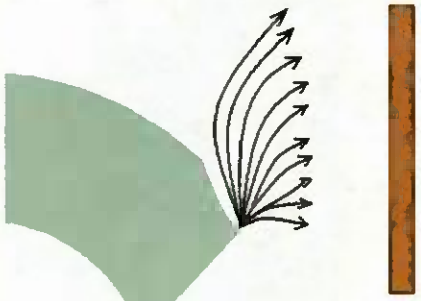
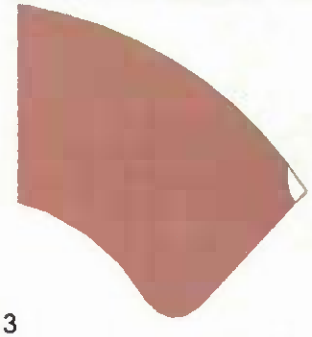
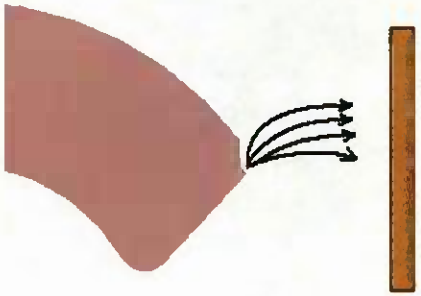
- Spanraumgeometrie
- Skizze des entsprechenden Spanflugkeils und der –richtung
- Kurzer Kommentar über das Spanflugverhalten

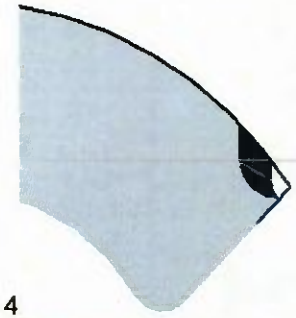
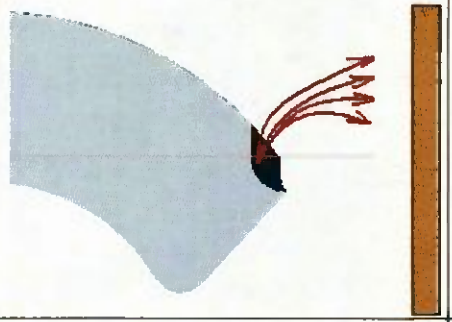
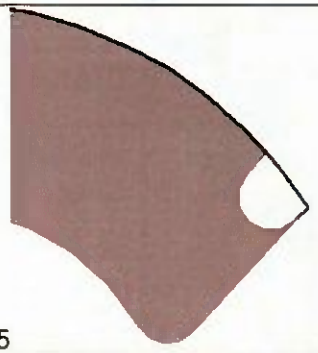
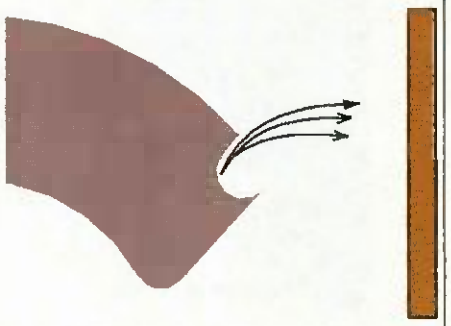
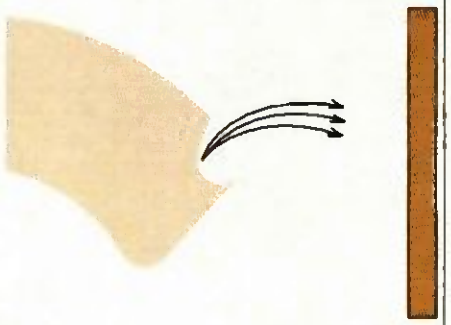
Alle untersuchten Spanraumgeometrien sind im Katalog zusammengefasst. Auch solche Geometrien, die ungünstig für die Doppelzerspanung sind. Sie könnten für andere Bearbeitungsvorgänge oder Anwendungsfälle positiv sein. Beispielsweise ist hier das Gleichlaufnuten zu nennen.
Diese systematische Datenbank garantiert eine schnelle Orientierung für den Anwender, indem er konkreten Angaben über das Spanflugverhalten der entsprechenden Spanraumgeometrie findet.

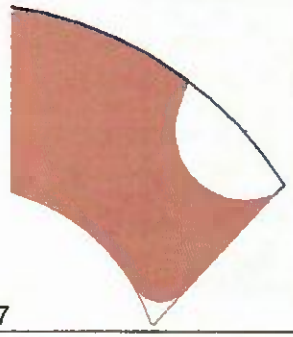
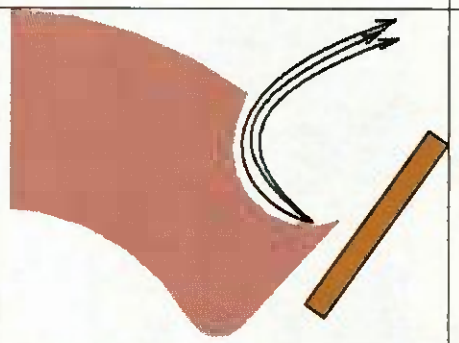
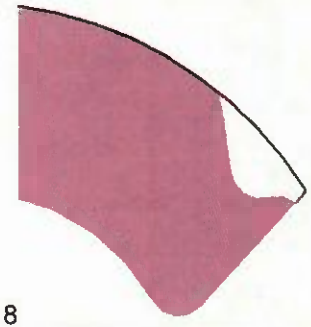
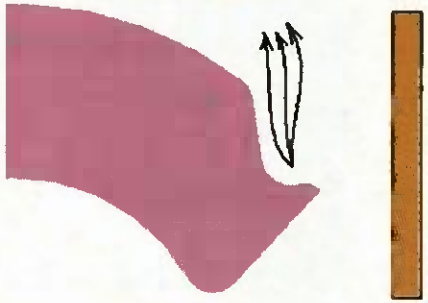
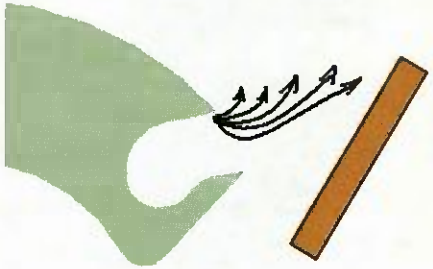
Legende zur Bewertung des Spanverhaltens:

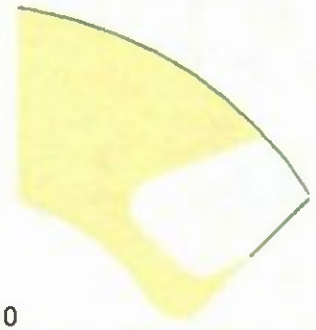
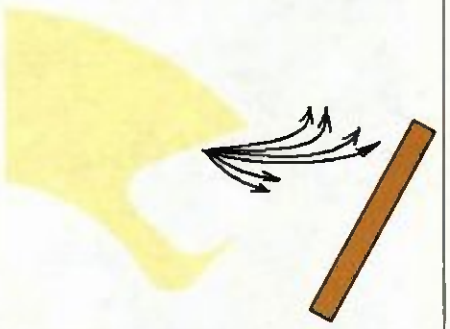
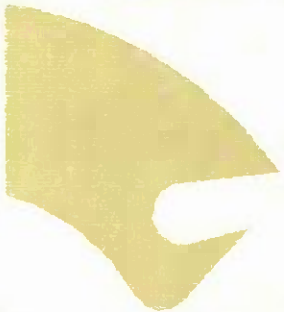
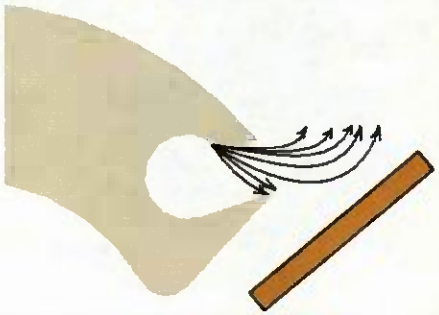


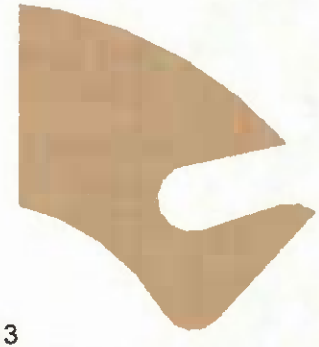
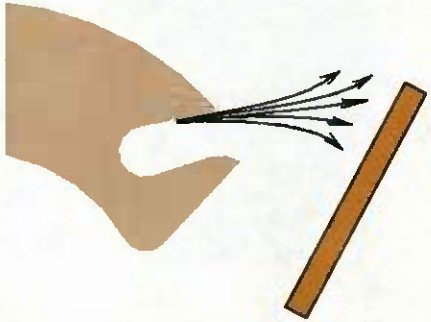
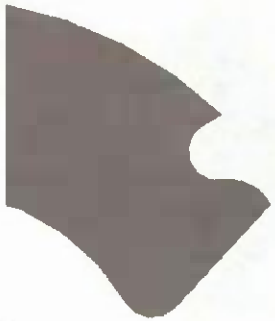
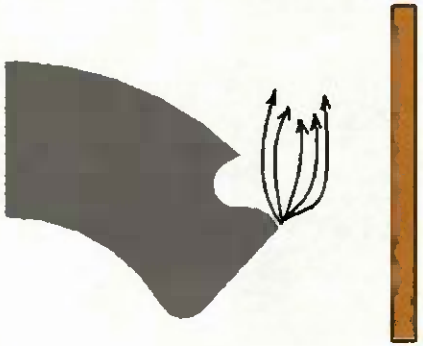
Nicht geeignet Geeignet

Spanraumform	Spanflugrichtung	Spanverhalten			
		Doppelzerspanung	Bewertung bzgl. DZ	Späneerfassung	Bewertung bzgl. SE
 1		Beim Fräsen im Gleich- und Gegenlauf tritt keine Doppelzerspanung auf.	●	Die Späne sind schwierig zu erfassen, da sie in Richtung Werkstück fliegen. Dieses Verhalten ist besonders stark beim Fräsen im Gleichlauf ausgeprägt.	◔
 2		Ausgeprägte Doppelzerspanung. Der kurze Weg der Späne im Spanraum verstärkt diesen Prozess.	○	Die Späne sind schwierig zu erfassen; sie fliegen in Richtung Werkstück.	◔
 3		Durch diese Spanraumform wird die Spanraumgeometrie von mehrschneidigen Schaftfräsern simuliert. Der Spanraum ist zwar geräuschärmer, aber bezüglich der Doppelzerspanung ungünstig.	○	Ungünstige Späneerfassung	○

Spanraumform	Spanflugrichtung	Spanverhalten			
		Doppelzerspanung	Bewertung bzgl. DZ	Späneerfassung	Bewertung bzgl. SE
 4		Der Spanraum hat dieselbe Größe wie der 3. Spanraum, ist aber schräg gefertigt. Die Schräge verhindert die Doppelzerspanung		Der Spanflug ist in Richtung auf den Werkstoff gerichtet. Dadurch wird die Spänerfassung erschwert.	
 5		Eine Spanraumvariante, die als günstig anzusehen ist: Vermeidung der Doppelzerspanung		Die Spanwolke ist in Richtung auf den Werkstoff gerichtet, dadurch ist die Spänerfassung nicht optimal.	
6		Die abgetragene Endkontur (im Vergleich zu Spanraum 5) verändert den Spanablauf im Werkzeug nicht.		Die Richtung der Spanwolke ist ähnlich wie bei Spanraum 5.	

Spanraumform	Spanflugrichtung	Spanverhalten			
		Doppelzerspanung	Bewertung bzgl. DZ	Späneerfassung	Bewertung bzgl. SE
 7		Die Späne gleiten entlang des großen Radius, die Doppelzerspanung ist minimal.		Die etwas längere Verweildauer der Späne im Spanraum erleichtert die Spanentsorgung, aber in einer späteren Drehlage des Werkzeugs. Die Spanflugrichtung ist immer noch auf das Werkstück gerichtet.	
 8		Eine optimale Spanraumgeometrie, nur ein winziger Teil der Späne trifft noch auf die Schneide.		Die Späne verlassen den Spanraum seitlich und sind günstig zu erfassen	
9		Diese tief ausgefräste Form vermeidet die Doppel-zerspanung.		Die Spanwolke ist teilweise parallel zum Werkstück und teilweise vom Werkstück weg gerichtet.	

Spanraumform	Spanflugrichtung	Spanverhalten			
		Doppelzerspanung	Bewertung bzgl. DZ	Späneerfassung	Bewertung bzgl. SE
 10		Hier wird die Doppelzerspanung nicht vermieden.	○	Die Spänerfassung ist aber günstig	◔
 11		Diese stark geschlossene Geometrie garantiert das Auftreten von Doppelzerspanung.	○	Die Geometrie fördert den größten Teil der Späne außerhalb des Arbeitsbereichs aus dem Werkstück.	●
12		Hier tritt sicher Doppelzerspanung auf.	○	Hinsichtlich der Spänerfassung ist diese Form vorteilhaft.	●

Spanraumform	Spanflugrichtung	Spanverhalten			
		Doppelzerspanung	Bewertung bzgl. DZ	Späneerfassung	Bewertung bzgl. SE
 13		Der integrierte Absatz hat positive Auswirkung auf die Doppelzerspanung.	◔	Bezüglich der Späneabfuhr wirkt sich der Absatz positiv aus.	◔
 14		Der größere Absatz bringt hinsichtlich der Doppelzerspanung keine positiven Auswirkungen.	○	Die Späne sind günstig abzuführen.	◔

7 Zusammenfassung und Ausblick

Die im Rahmen des Vorhabens erzielten Ergebnisse können für alle Werkzeuge, außer den reinen Bohrwerkzeugen, angewendet werden. Die Werkzeughersteller haben somit die Möglichkeit, doppelzerspanungsfreie Werkzeuge herzustellen, wenn die Forschungsergebnisse konsequent umgesetzt werden. Dadurch kann die grundsätzliche Quelle der Doppelzerspanung (die primäre Doppelzerspanung) sicher ausgeschlossen werden. Alle Untersuchungen hinsichtlich der sekundären Späne haben gezeigt, dass deren Einfluss vernachlässigt werden kann. Für die Minimierung der dritten Ursache, die Doppelzerspanung durch schlecht konzipierte Haubenkonstruktionen, werden die Angaben im Katalog behilflich sein festzulegen, in welcher Richtung die Spanwolke den Arbeitsraum verlässt. Dadurch kann der Maschinenhersteller seine Erfassungselemente an der richtigen Stelle positionieren und der größte Fehler bei Haubenkonstruktionen, d. h. die falsche Positionierung kann vermieden werden.

Kleine und mittelständische Holzverarbeiter profitieren hauptsächlich von der verlängerten Einsatzdauer der doppelzerspanungsfreien Werkzeuge. Die gewonnenen Ergebnisse, dass durch Vermeidung der Doppelzerspanung der Verschleiß fast halbiert werden kann, werden in erheblichem Maße Einsparungen in den Werkzeugkosten bringen.

Für den Maschinenhersteller vereinfacht sich die Suche nach der Ursache eines Standzeitproblems. Es muss nur noch das eingesetzte Erfassungselement betrachtet werden, wenn eine Verringerung der Werkzeugstandzeit durch Doppelzerspanung auftritt und das eingesetzte Werkzeug nach den Forschungsergebnissen doppelzerspanungsfrei gestaltet wurde. Bislang musste hier das sehr komplexe System Werkzeug-Absaughaube betrachtet werden. Es war bisher in vielen Fällen unklar, wo die Ursache des Fehlers zu suchen war (Werkzeugkonstruktion oder Absaugelement). Für den Maschinenhersteller kommt erleichternd hinzu, dass aus den Forschungsergebnissen erstmals ein Zusammenhang zwischen Spanraumform des eingesetzten Werkzeugs sowie das davon abhängige Spanverhalten und die Flugrichtung bestimmt werden kann. Die Ergebnisse können zur genauen Positionierung der Haube verwendet werden.

Das Ziel des Vorhabens wurde erreicht.

8 Literaturverzeichnis

[1] Maier, G.: Holzspanungslehre und werkzeugtechnische Grundlagen. Würzburg: Vogel-Verlag, 2000

[2] Heisel, U.; Dressler, M.: Späne hinter der Schneide. In: HOB – Die Holzbearbeitung 53 (2000), Nr. 11, S. 74 – 76

[3] Scheurich, H.: Ermittlung des Späneauswurfs aus dem Werkzeug und Dokumentation des Spanflugverhaltens im Spanraum. Diplomarbeit 2000

[4] Koch, S.: Bestimmung des Reflexionsverhaltens eines Spänestrahls an einer festen Wand. Diplomarbeit 2000

[5] Westkämper, E.; Kisselbach, A.: Neue Wege für die Holzstauberfassung. In: HOB – Die Holzbearbeitung. (1994), Nr. 7-8, S. 51-54

[6] Bertling, L.; Freytag, J.; Fuß, M.: Reduzierung der Staubemission an spanenden Holzbearbeitungsmaschinen (Teil 1). In HOB – Die Holzbearbeitung. (1990), Nr. 7-8, S. 39-44

[7] Bertling, L.; Freytag, J.; Fuß, M.: Reduzierung der Staubemission an spanenden Holzbearbeitungsmaschinen (Teil 2). In HOB – Die Holzbearbeitung. (1990), Nr. 9, S. 28-36

[8] Bertling, L.; Freytag, J.; Fuß, M.: Reduzierung der Staubemission an spanenden Holzbearbeitungsmaschinen (Teil 3). In HOB – Die Holzbearbeitung. (1990), Nr. 10, S. 55-60

[9] Bertling, L.; Freytag, J.; Fuß, M.: Reduzierung der Staubemission an spanenden Holzbearbeitungsmaschinen (Teil 4). In HOB – Die Holzbearbeitung. (1990), Nr. 11, S. 51-59

[10] Boehme, C.; U.V. Münz: Zerspanungsverhalten und Verschleißwirkung von Normal- und Sonderspanplatten mit einheitlicher Beschichtung bei Anwendung unterschiedlicher Zerspanungsverfahren. (Teil 1). In HOB – Die Holzbearbeitung. (1987), Nr. 5

[11] Boehme, C.; U.V. Münz: Zerspanungsverhalten und Verschleißwirkung von Normal- und Sonderspanplatten mit einheitlicher Beschichtung bei Anwendung unterschiedlicher Zerspanungsverfahren. (Teil 2). In HOB – Die Holzbearbeitung. (1987), Nr. 6

[12] Knüpfler, W.: Einfluß der Winkel am Werkzeug auf die Standzeit der Schneide. In Holztechnologie 26 (1985) Nr. 3

[13] Pahlitsch, G.; Dziobek, K.; Puttkamer, K: Spanbildung und Spanablauf beim Fräsen bzw. Besäumen von beschichteten Spanplatten

[14] Pahlitsch, G.; Jostmeier, H.: Weitere Beobachtungen über das Abstumpfngsverhalten und den Einfluß der Schnittgeschwindigkeit beim Fräsen von Spanplatten. In: Holz als Roh- und Werkstoff 22 (1964) Nr. 11

[15] Pahlitsch, G.; Jostmeier, H.: Standzeit und Verschleißverhalten verschiedener Schneidenwerkstoffe. In: Moderne Holzverarbeitung 7 (1966)

[16] Prokes, S.: Abstumpfungsverhalten der Holzbearbeitungswerkzeuge. In HOB – Die Holzbearbeitung (1970), Nr. 4

[17] Salje, E.; Stühmeier, W.: Einfluß von Rohdichte und Sandgehalt auf die Zerspanbarkeit von Spanplatten beim Fräsen (Teil 1). In: Holz-Zentralblatt (1983), Nr. 135

[18] Salje, E.; Stühmeier, W.: Einfluß von Rohdichte und Sandgehalt auf die Zerspanbarkeit von Spanplatten beim Fräsen (Teil 2). In: Holz-Zentralblatt (1983), Nr. 136

[19] Sandvoß, E.: Untersuchungen über den Schneidkantenverschleiß beim Fräsen von Holzwerkstoffen. Dissertation, TU Braunschweig, 1971

9 Anhang

A1 Hochgeschwindigkeitsaufnahmen zur Doppelzerspanung DVD

A2 Aufnahmen beim Gleichlaufnuten DVD