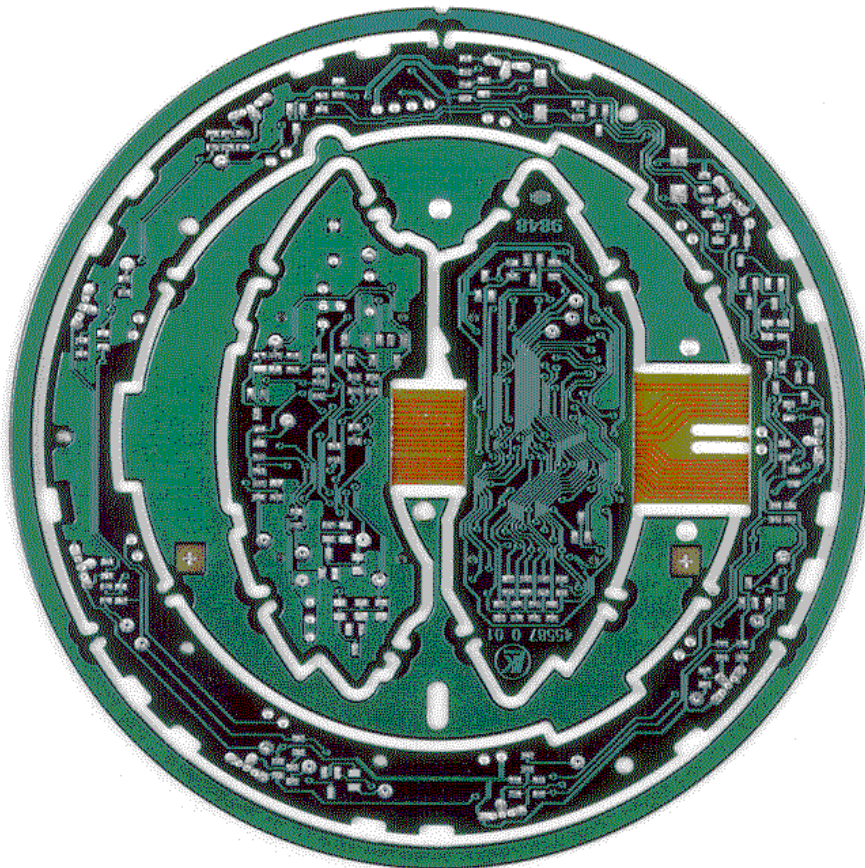


Allgemeines

Fräskonturen der Leiterplatte erfüllen verschiedene Aufgaben. Sie müssen exakt zum Druckbild hergestellt und geometrisch an das Endprodukt angepaßt werden. Hierbei wird eine hohe Genauigkeit der Außen- und Innenkontur sowie eine sehr gute Kantenqualität gefordert.

Das Konturenfräsen erfordert höchste Präzision, da Bohrbild, Druckbild und Fräskontur paßgenau zueinander gefertigt werden müssen. Diese hohen Qualitätsanforderungen können nicht mit dem herkömmlichen Formstanzen, sondern nur mit CNC-Fräsmaschinen erfüllt werden. Ergänzend zu diesem Schulungsblatt wird das Blatt 3.1 „Mechanische Bearbeitung, Bohren“ empfohlen.



Schematische Inhaltsdarstellung

Maschinenkonzept	→	Pkt. 1
Fräsköpfe / Frässpindeln	→	Pkt. 2
Werkzeugwechsel / Fräserüberwachung	→	Pkt. 3
Aufnahmeplatten	→	Pkt. 4
Frästechnologie	→	Pkt. 5
Fräser	→	Pkt. 6
Fräsdaten	→	Pkt. 7
Tiefenfräsen	→	Pkt. 8
Kombinierte Bohr- und Fräsmaschinen	→	Pkt. 9
Qualitätssicherung	→	Pkt. 10

1 Maschinenkonzept

Die CNC-Fräsmaschinen unterscheiden sich in ihrer Konzeption grundsätzlich nicht von den Bohrmaschinen. Sie sind jedoch mit speziellen Zusatzfunktionen zum Fräsen ausgestattet (Bild 1).

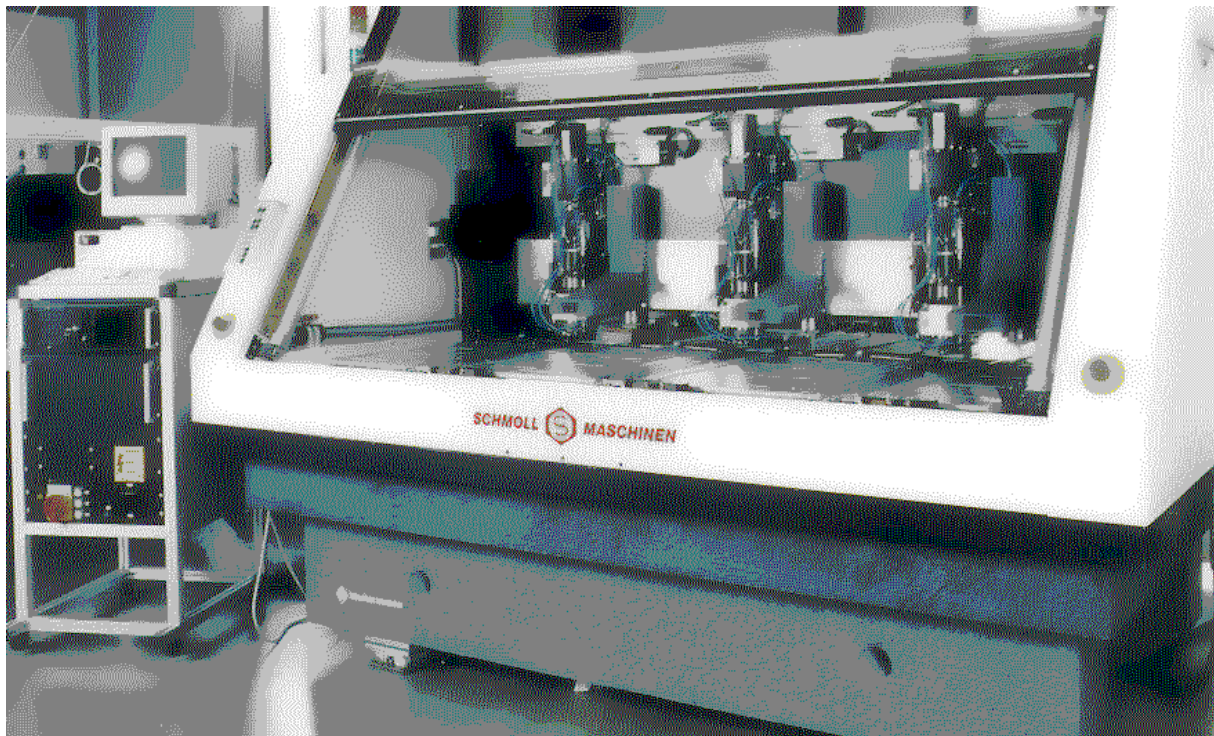



Bild 1: CNC-Fräsmaschine mit drei Fräsköpfen

1.1 CNC-Steuerung

Die eingesetzten CNC-Steuerungen gewährleisten in Verbindung mit den Achsantrieben und den linearen Meßsystemen ein schwingungsfreies Positionieren der X- und Y-Achse bei hoher Positioniergenauigkeit.

Zum Konturenfräsen ist die CNC-Steuerung mit einer speziellen Software ausgerüstet und ermöglicht die Bearbeitung von:

- geraden Strecken
- beliebigen Diagonalen
- Kreisbögen
- Vollkreisen
- eine Kombination von Strecken, Diagonalen und Kreisbögen.

	Mechanische Bearbeitung Fräsen	VDE/VDI 3711, Blatt 3.2 Seite 4
<p>1.2 Bahnfehler</p> <p>Der Bahnfehler ist definiert als Differenz zwischen der programmierten Fräskontur (Sollwert) und der tatsächlichen Kontur an der Leiterplatte (Istwert). Der Bahnfehler muß so klein wie möglich sein (<20 µm). Zur Prüfung des Bahnfehlers wird hierbei ein Radius von 150 mm mit einer Geschwindigkeit von 1,25 m/min abgefahren. Die zulässige Abweichung der Bahnkurve darf dabei 10 µm nicht überschreiten.</p> <p>1.3 Software für Fräserradius-Kompensation</p> <p>Diese Software stellt eine wesentliche Erleichterung der Programmierung dar. Sie ermöglicht, daß nur die Werkstückkontur unter Zufügung des Fräsdurchmessers programmiert wird. Weiterhin erlaubt sie die Vollkreisprogrammierung.</p> <p>1.4 Software für Fräserstandzeit</p> <p>Ähnlich wie beim Bohren der automatische Werkzeugwechsel nach einer bestimmten Anzahl von Bohrungen selbständig erfolgt, gibt es heute die Möglichkeit des automatischen Fräserwechsels nach Erreichen der Sollfrässtrecke.</p> <p>2 Fräsköpfe / Frässpindeln</p> <p>Zum Konturenfräsen werden Fräsköpfe mit Einzelantrieb eingesetzt. Hierbei erfolgt die Hubbewegung in der Z-Achse über einzelne Kugelgewindetriebe in Verbindung mit AC-Motoren (Bild 2).</p>		

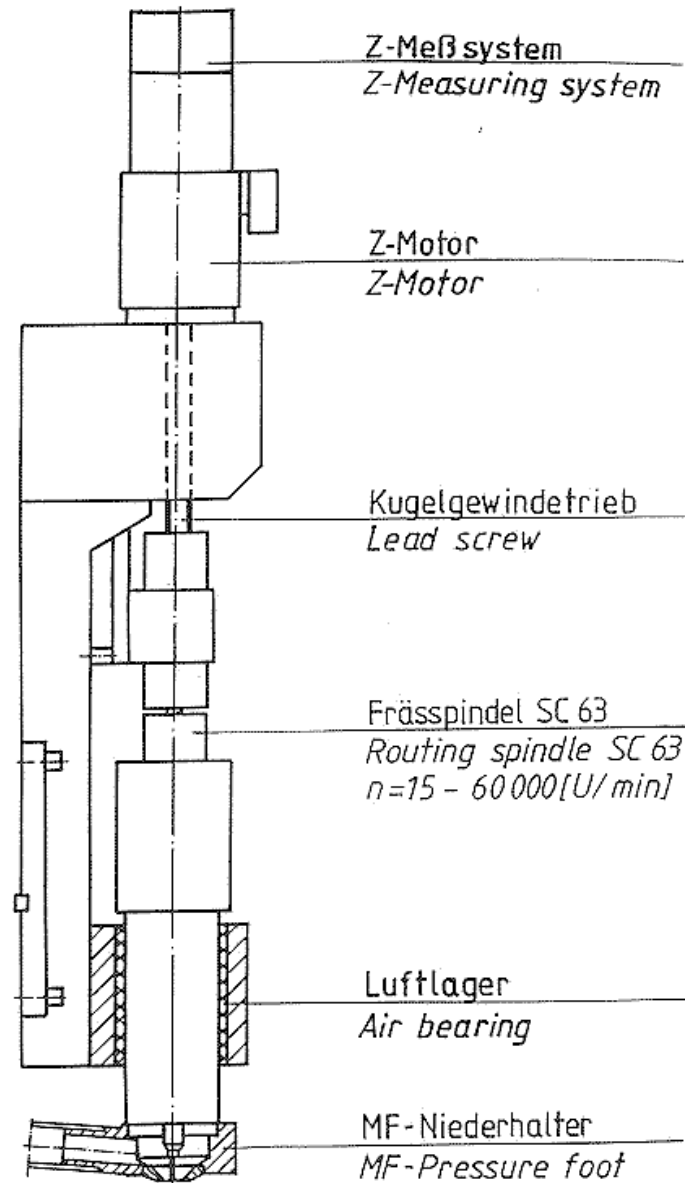



Bild 2: Fräskopf mit Einzelantrieb (Funktionsschema)

	Mechanische Bearbeitung Fräsen	VDE/VDI 3711, Blatt 3.2 Seite 6
<p>Beim Konturenfräsen kommen folgende Spindeln zum Einsatz:</p> <p>2.1 Wälzgelagerte Frässpindeln:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Precise, SC 63, n = 15.000 - 60.000 U/min • Precise, SC 3063, n = 15.000 - 60.000 U/min • Precise, SC 3063 H, n = 20.000 - 80.000 U/min • Precise, SC 3163, n = 15.000 - 60.000 U/min <p>(mit Fräserkühlung durch „Air Stream“ Funktion)</p> <p>2.2 Luftgelagerte Frässpindeln:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Precise, ASC 3063, n = 20.000 - 100.000 U/min • Westwind, W320, n = 15.000 - 80.000 U/min • Westwind, W1331-26, n = 20.000 - 125.000 U/min <p>3 Werkzeugwechsel / Fräserüberwachung</p> <p>Um die Stillstandzeiten der Maschine zu verringern und die Produktionssicherheit zu erhöhen, wird der Multi-Werkzeugwechsel wie bei Bohrmaschinen eingesetzt (Bild 3). Als optimale Lösung hat sich hierbei der 300-fache Werkzeugwechsel bewährt. Das Werkzeugmagazin ist mit Fräsern von 0,8 bis 3,0 mm und Bohrern von 0,8 bis 6,35 mm für nichtdurchkontaktierte Durchmesser bestückt. Bei optimaler Nutzung des Werkzeugmagazins ist die Bestückung nur einmal pro Woche erforderlich (3-Schichtbetrieb).</p> <p>Zur Sicherung der Qualität und zur Fräserüberwachung wird wie bei Bohrmaschinen ein Lasermeßgerät für jeden Fräskopf eingesetzt (Bild 3). Dieses Meßsystem ermöglicht das berührungslose Messen von:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fräserlänge • Fräserdurchmesser • Fräserbruch vor dem Ablegen in die Kassette 		

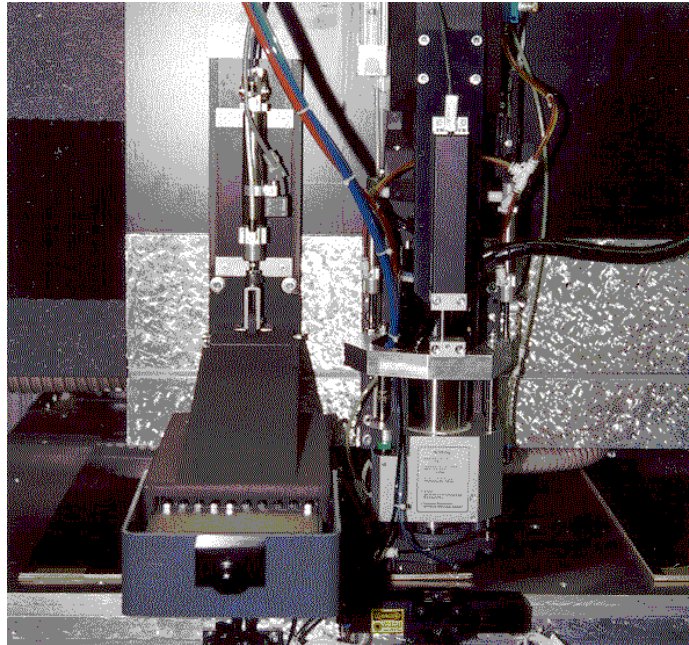


Bild 3: Fräskopf mit zweitem Meßsystem, Werkzeugmagazin (links) und Lasermessgerät (unten)

4 Aufnahmeplatten

Bei der beschriebenen Frästechnik ist es zwingend notwendig, daß das Fräs-paket ohne Verzug des Fräsrahmens aufgespannt wird. Hierfür sind die Aufnahmeplatten mit einer Prisma-Schlitz- und Pilzklemmung versehen. Die Besonderheit dieses Systems liegt in der Pilzspannung. Die Pilzspannung ist mit sechs pneumatischen Spannern versehen, wobei jedes Element das Fräspaket mit 400 N spannt. Bei sechs Pilzen bedeutet dies, daß das Fräspaket mit 2400 N aufgespannt wird. Dadurch ist ein Verrutschen des Paketes absolut ausgeschlossen (Bild 4).

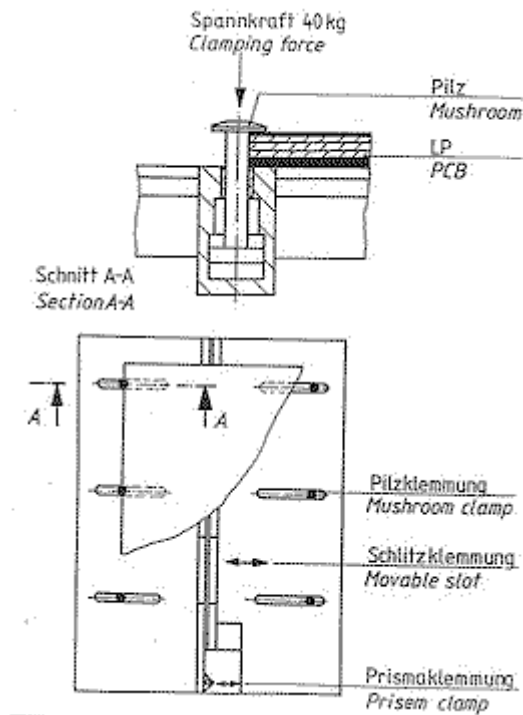


Bild 4: Aufnahmeplatte zum Fräsen

5 Frästechnologie

5.1 Fräsrichtungen

Beim Fräsen der Außenkontur sollte entgegen dem Uhrzeigersinn, beim Fräsen der Innenkontur im Uhrzeigersinn gefräst werden (Bild 5).

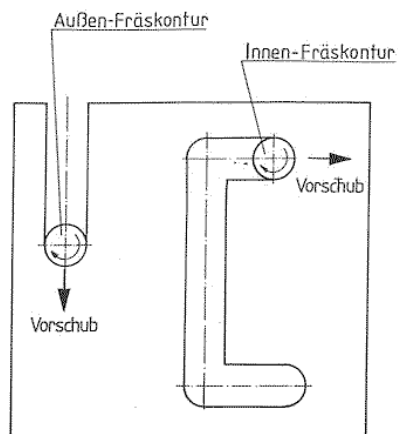


Bild 5: Fräsrichtungen für Außen- und Innenkontur

5.2 Ausfräsen von kleinen Teilen

Bei den Fräsmaschinen kann ein kurzes Abschalten des Spanabsaugung mit einprogrammiert werden. Dieses Abschalten ist kurz vor der Beendigung des Fräsdurchganges notwendig. Das Abschalten hat den Vorteil, daß die Kleinteile beim Austauschen des Fräasers vom Niederhalter nicht angesaugt werden und beim neuerlichen Eintauchen den Fräser nicht zerstören.

5.3 Niederhalter zum stegfreien Fräsen

Um ein stegfreies Fräsen zu gewährleisten, wird ein spezieller Niederhalter zum stegfreien Fräsen eingesetzt. Diese Funktion kann wahlweise über die Programmierung auf dem Datenträger abgerufen werden. Hierbei ist die Fräsrichtung beliebig innerhalb eines Bereiches von 360° und einer Frässtrecke von ± 5 mm programmierbar (Bild 6).

5.4 Multifunktions-Niederhalter

Beim Fräsen sind drei Niederhalterkräfte zum Bohren (50 bis 240 N), Konturenfräsen (5 bis 50 N) und Fertigfräsen (240 N) wahlweise durch die Programmierung abrufbar. Bei der neuen Frästechnologie wird der Multifunktions-Niederhalter eingesetzt. Dieser Niederhalter ist mit einer Bürste und einem Druckring aus Teflon ausgerüstet. Über das Fräsprogramm können die Funktionen Fräsen der Innen- und Außenkonturen mittels Bürste und stegfreies Fertigfräsen durch den Teflondruckring abgerufen werden (Bild 7).

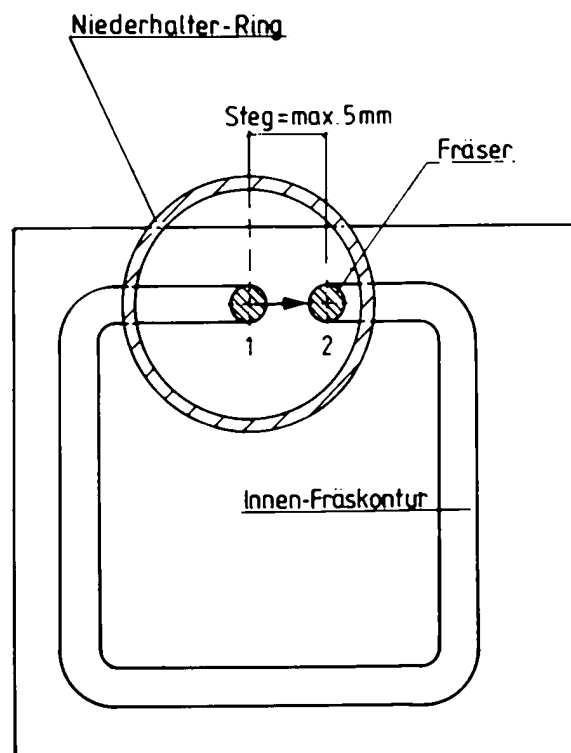
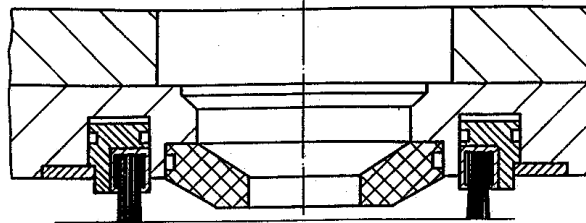
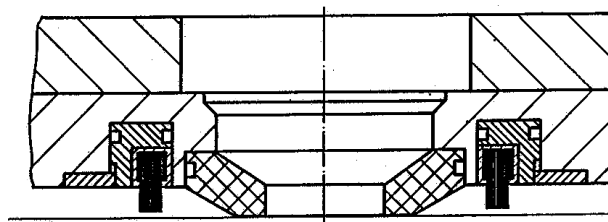


Bild 6: Niederhalter zum stegfreien Fräsen (Funktionsschema)



Konturfraßen mit Bürste
Contour routing with brush



Stegfreies Fräsen mit Druckring
Pinless routing with pressure ring


Bild 7: Multifunktions-Niederhalter

5.5 Verkleinern von Teilen

Um beim Ausfräsen von kleinen Teilen eine Verstopfung des Niederhalters zu vermeiden, ist es sinnvoll, daß diese verkleinert werden. Dies wird dadurch erreicht, daß mittels einer speziellen Software Kreisscheiben, Quadrate und Rechtecke in kleine Partikel aufgefräst und über die Absaugung problemlos abgeführt werden können. Ergänzend hierzu ist jede Frässpindel direkt hinter dem Niederhalter mit einem Absaugchieber ausgestattet, so daß bei Kleinteilen eine schnelle Absaugsperrwirkung erreicht wird (siehe Punkt 5.2).

5.6 Stufenfräsen

Beim herkömmlichen Fräsen können kleine Durchmesser (0,8 bis 2,0 mm) nur 1-2 lagig gefräst werden. Zur Steigerung des Produktivität wurde deshalb das Stufenfräsen entwickelt. Hierbei erfolgt das Fräsen mehrmalig in verschiedenen Ebenen (Bild 8).

	Mechanische Bearbeitung Fräsen	VDE/VDI 3711, Blatt 3.2 Seite 11
---	--	--

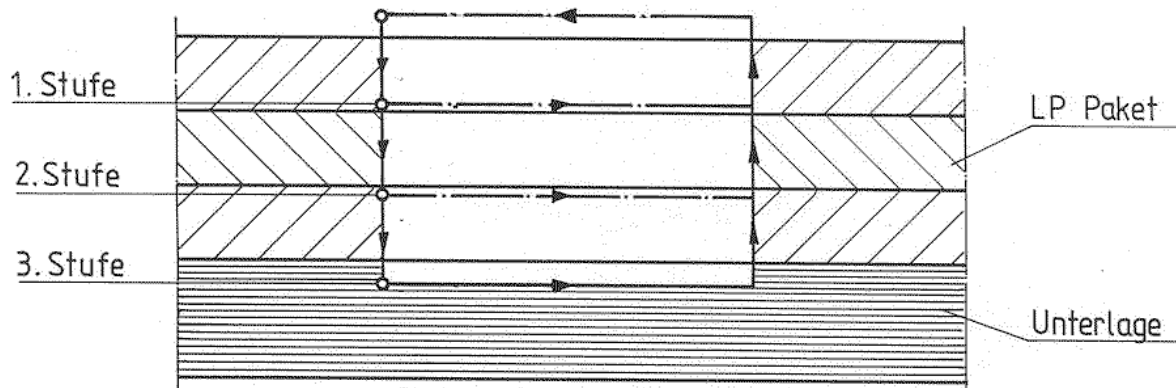


Bild 8: Stufenfräsen (Funktionsschema)

5.7 Deck- und Unterlage

Beim Fräsen wird üblicherweise ohne Deckmaterial gearbeitet. Bei empfindlichen Oberflächen kommt jedoch Deckmaterial von 0,6 bis 0,8 mm Dicke zum Einsatz. Als Unterlagenmaterial wird eine Preßspanplatte von 2,5 mm Dicke verwendet. Auf diesem Material werden alle anfallenden Frästeile bearbeitet. Bei 30 unterschiedlichen Programmen pro Tag wird das Unterlagenmaterial etwa alle 2 Tage gewechselt. Beim Konturen-Fräsen können Plattenpakete von 5 bis 6 (6,4) mm bearbeitet werden.

Bei manchen Fräsaufgaben ist es empfehlenswert, eine HG-Adapterplatte zu verwenden, die mit Freifräsungen entsprechend der zu fräsenden Kontur versehen ist. Zusätzlich werden an mehreren Stellen Anschlußkanäle nach außen gefräst. Diese dienen als Luftansaugschlitze für die Absaugung der Späne.

5.8 Absaugung

Beim Fräsvorgang ist es sehr wichtig, daß die Späne vom Fräser abgeführt und dann sicher abgesaugt werden. Aus diesem Grund muß besonders darauf geachtet werden, daß eine gut funktionierende, leistungsstarke Absaugung vorhanden ist (80 - 100 mbar).

6 Fräser

In der Leiterplattenindustrie werden hauptsächlich zwei verschiedene Typen von Fräsern verwendet:

- Vollhartmetallfräser, diamantverzahnt, spiralverzahnt, mehrschneidig (Bild 9) sowie
- Vollhartmetallfräser, spiralverzahnt, zweiseidig, dreiseidig (Bild 10).

Zur Bearbeitung von glasfaserverstärkten Leiterplatten haben sich Fräs Werkzeuge bewährt, deren Schneidengeometrie nicht nur der Bearbeitung der Glasfasern, sondern auch dem Zerspanen von Epoxidharz und Kupfer Rechnung trägt.

Ausgehend von pyramidförmigen Schneidspitzen am Umfang (Diamantverzahnung) weisen diese Fräser einen Schneidkeil mit geeignetem Spanwinkel und Freiwinkel auf und haben eine vielfache Schneidenanzahl. Durch Einschleifen einer unterschiedlichen Anzahl von rechts- und linksspiraliger Nuten entstehen am Umfang versetzt angeordnete Schneidkeile.

6.1 Fräser für Folien und flexible Schaltungen sowie Teflon

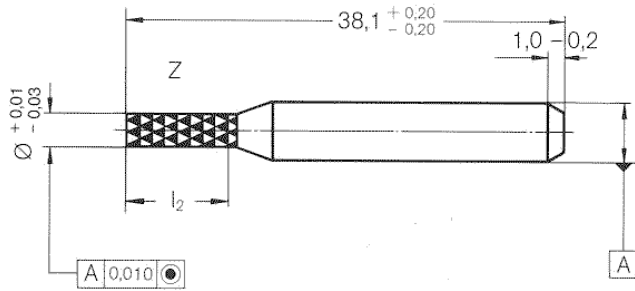
Diese Spezialfräser mit ein bis fünf Schneiden haben extrem scharf geschliffene Schneiden und garantieren dadurch einen sauberen und gratfreien Schnitt, wenn die zu bearbeitenden Materialien sicher gespannt sind.

6.2 Handhabung von Fräs Werkzeugen

Vollhartmetall-Fräser sind ebenso wie Vollhartmetall-Bohrer äußerst empfindlich gegen Schlag und müssen deshalb entsprechend vorsichtig behandelt werden.

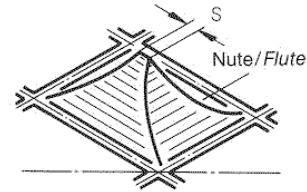
Ausbrüche an den einzelnen Schneiden haben eine geringere Standzeit und eine geringere Qualität der gefrästen Teile zu Folge.

HAM 441
HAM 445

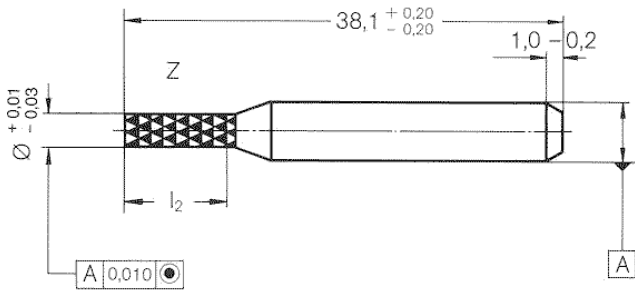


Schaft- \varnothing 3,175 - 0,002
Shank-dia. 3,175 - 0,010

rechtsschneidend
Hauptschneide rechtsspiralig genutet
right hand cut
main cutting edge right hand spiral-fluted

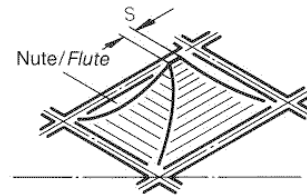


HAM 443
HAM 446



Schaft- \varnothing 3,175 - 0,002
Shank-dia. 3,175 - 0,010

rechtsschneidend
Hauptschneide linksspiralig genutet
right hand cut
main cutting edge left hand spiral-fluted



S = Schneidenbreite
S = width of cutting

Stirn-Anschliffarten
End style configurations

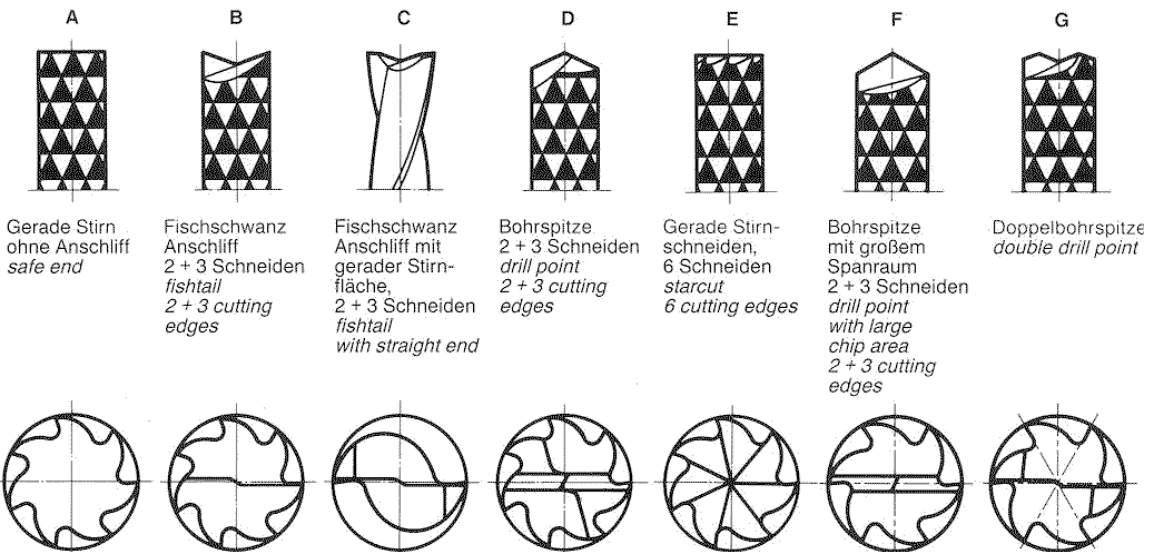
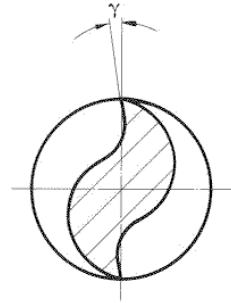
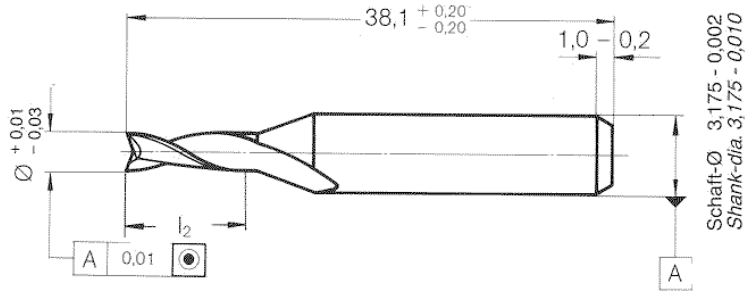
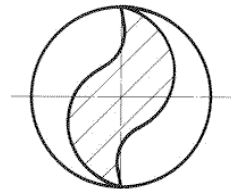
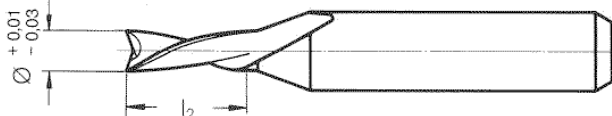


Bild 9: Vollhartmetall-Konturenfräser mit Diamantverzahnung (Werkbild HAM)

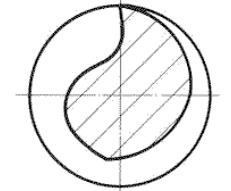
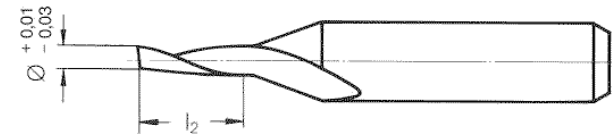
HAM 423 2 Schneiden, rechtsschneidend
rechtsspiralig *2 cutting edges right hand cut
right hand spiral*



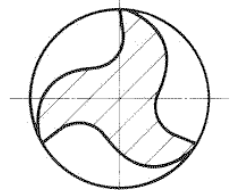
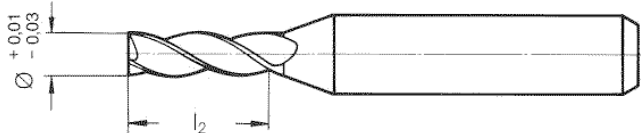
HAM 425 2 Schneiden, rechtsschneidend
linksspiralig *2 cutting edges right hand cut
left hand spiral*



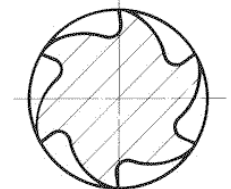
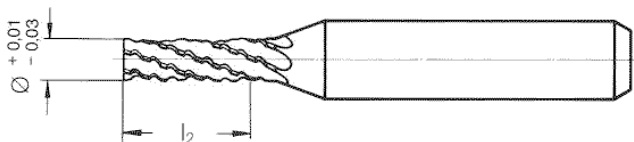
HAM 426 1 Schneide, rechtsschneidend
rechtsspiralig *1 cutting edge right hand cut
right hand spiral*



HAM 427 3 Schneiden, rechtsschneidend
rechtsspiralig *3 cutting edges right hand cut
right hand spiral*



HAM 448 rechtsschneidend, rechtsspiralig
verzahnt mit Spanbrecher *right hand cut, right hand
spiral fluted with chip breaker*



HAM 449 rechtsschneidend, rechtsspiralig
verzahnt mit Spanbrecher *right hand cut, right hand
spiral fluted with chip breaker*

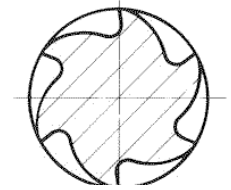
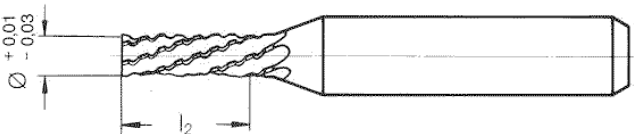


Bild 10: Vollhartmetall-Konturenfräser, spiralgenutet (Werkbild HAM)

7 Fräsdaten

7.1 Schnittdaten

Die Schnittgeschwindigkeit (V) ist die Geschwindigkeit in m/min, die von den Umfangsschneiden in Drehrichtung erreicht wird. Unter Vorschub S (mm/U) versteht man den Weg, den der Fräser bei einer Umdrehung ins Material eindringt (Fräsweg pro Umdrehung) oder als Vorschubgeschwindigkeit ausgedrückt, den Weg den der Fräser in einer Minute ins Material eindringt.

Vorschub und Schnittgeschwindigkeit beeinflussen die Kantenqualität, die Werkzeugstandzeit und die Produktivität beim Fräsen. Der Vorschub darf einen bestimmten Mindestwert nicht unterschreiten, da die einzelne Schneide sonst nicht genügend in das Material eindringen kann. Sie würde in diesem Fall nur noch schaben. Eine erhöhte Wärmeentwicklung und dadurch ein Zusammenkleben der Späne mit eventuellem Fräserbruch wären die Folge.

Wird ein bestimmter Maximalwert des Vorschubes überschritten, tritt ein zu großes Biegemoment auf. Der Fräser bricht. Bei zu großem Vorschub besteht außerdem die Gefahr, daß die Spindelleistung nicht ausreicht und dadurch die Spindeldrehzahl abfällt (siehe Fräsparameter). Dies führt ebenfalls zum Fräserbruch. Die Parameter zum Konturenfräsen sind den nachfolgenden Richtwerttabellen 1 und 2 zu entnehmen.

7.2 Standzeit

Die mögliche Frässtrecke (Standzeit) ist abhängig von Basismaterial, Schnitt- und Vorschubgeschwindigkeit, Fräserdurchmesser, geforderter Fräskantenqualität, Werkzeug und Absaugleistung.

Nachfolgend ein Beispiel zur Standzeit (FR-4 bei 4 x 1,6 mm Paketdicke):

Fräserart:	448	spiralverzahnt
	441	diamantverzahnt
Durchmesser:	2,4	mm
Parameter:	32.000	U/min
	26.000	U/min
	1,4	m/min
Standzeit:	> 90	m

7.3 Voraussetzungen für hohe Standzeiten und Kantenqualität

- einwandfreies Fräswerkzeug (ohne Beschädigung)
- optimale Schnittbedingungen (Schnittgeschwindigkeit, Vorschub)
- gut funktionierende Spanabsaugung (80 - 100 mbar)
- sichere Fixierung des Leiterplattenpaketes auf dem Maschinentisch
- ausreichende Antriebsleistung und exakter Rundlauf der Frässpindel
- sichere Werkzeugspannung

Ø	Paket- höhe	Materialtyp				Fräser- typ		U/min	Vorschub	Absaug- leistung	
		Glas FR4	Flex	Cu	Teflon	Multi ●	Spiral ○				
[mm]	[mm]							K	[m/min]	[mbar]	
0.30	0.6		○	○	○			426	80	0.05 - 0.1	80-100
0.40	0.6		○	○	○			423, 426	80	0.05 - 0.1	80-100
0.50	1.0-2.0		○	○	○			423, 426	75	0.05 - 0.1	80-100
0.60	2.0-2.5		○	○	○			423, 425 426, 427	75	0.08 - 0.12	80-100
0.70	2.0-2.5		○	○	○			423, 425 426, 427	70	0.15 - 0.2	80-100
0.80	2.5-5.5	●				441			68	0.3 - 0.4	80-100
0.80	2.5-5.5	●					448		60	0.3 - 0.4	80-100
0.80	2.0-3.0	○	○	○	○			423, 425 426, 427	50	0.1 - 0.15	80-100
0.90	2.5-5.5	●				441			55	0.3 - 0.5	80-100
0.90	3.0-5.5	●					448		45	0.3 - 0.5	80-100
0.90	2.5-3.0	○	○	○	○			423, 425 426, 427	40	0.1 - 0.15	80-100
1.00	2.5-5.5	●				441			45	0.4 - 0.7	80-100
1.00	2.5-5.5	●					448		35	0.4 - 0.7	80-100
1.00	2.5-3.5	○	○	○	○			423, 425 426, 427	30	0.2 - 0.5	80-100
1.10	2.5-5.5	●				441			45	0.4 - 0.7	80-100
1.10	2.5-5.5	●					448		35	0.4 - 0.7	80-100
1.10	2.5-3.5	○	○	○	○			423, 425 426, 427	30	0.2 - 0.5	80-100
1.20	3.5-5.5	●				441			45	0.4 - 0.7	80-100
1.20	3.5-5.5	●					448		35	0.4 - 0.7	80-100
1.20	3.5	○	○	○	○			423, 425 426, 427	30	0.2 - 0.5	80-100
1.30	3.5-5.5	●				441			40	0.8	80-100
1.30	3.5-5.5	●					448		30	0.8	80-100
1.30	3.5	○	○	○	○			423, 425 426, 427	25	0.6	80-100
1.40	4.0-5.5	●				441			40	0.8	80-100
1.40	4.0-5.5	●					448		30	0.8	80-100
1.40	3.5	○	○	○	○			423, 425 426, 427	25	0.6	80-100
1.50	4.0-5.5	●				441			40	1.0	80-100
1.50	4.0-5.5	●					448		30	1.0	80-100
1.50	3.5	○	○	○	○			423, 425 426, 427	25	0.8	80-100

Richtwerttabelle 1: Parameter zum Konturenfräsen (Werkbild HAM)

Ø	Paket- höhe	Materialtyp				Fräser- typ		U/min	Vorschub	Absaug- leistung	
		Glas FR4	Flex	Cu	Teflon	Multi ●	Spiral ○				
[mm]	[mm]							K	[m/min]	[mbar]	
1.60	6.5	●				441			40	1.0	80-100
1.60	6.5	●					448		30	1.0	80-100
1.60	4.5	○	○	○	○			423, 425 426, 427	25	0.8	80-100
1.70	6.5	●				441			40	1.0	80-100
1.70	6.5	●					448		30	1.0	80-100
1.70	4.5	○	○	○	○			423, 425 427	25	0.8	80-100
1.80	6.5	●				441			35	1.1	80-100
1.80	6.5	●					448		28	1.1	80-100
1.80	4.5	○	○	○	○			423, 425 427	23	0.9	80-100
1.90	6.5	●				441			35	1.1	80-100
1.90	6.5	●					448		28	1.1	80-100
1.90	4.5	○	○	○	○			423, 425 427	23	0.9	80-100
2.00	6.5	●				441			35	1.2	80-100
2.00	6.5	●					448		38	1.2	80-100
2.00	4.5	○	○	○	○			423, 425 427	23	0.9	80-100
2.10	6.5	●				441			35	1.2	80-100
2.10	6.5	●					448		28	1.2	80-100
2.10	6.5	○	○	○	○			423, 425 427	23	0.9	80-100
2.20	6.5	●				441			32	1.3	80-100
2.20	6.5	●					448		26	1.3	80-100
2.20	6.5	○	○	○	○			423, 425 427	22	1.0	80-100
2.40	8.0	●				441			32	1.4	80-100
2.40	8.0	●					448		26	1.4	80-100
2.40	8.0	○	○	○	○			423, 425 427	22	1.0	80-100
2.50	8.0	●				441			32	1.4	80-100
2.50	8.0	●					448		26	1.4	80-100
2.50	8.0	○	○	○	○			423, 425 427	22	1.0	80-100
3.00	8.0	●				441			28	1.2	80-100
3.00	8.0	●					448		22	1.2	80-100
3.00	8.0	○	○	○	○			423, 425 427	18	0.8	80-100

Richtwerttabelle 2: Parameter zum Konturenfräsen (Werkbild HAM)

8 Tiefenfräsen

Beim Fräsen von flexiblen Schaltungen ist es erforderlich, mit einer Tiefentoleranz von $\pm 50 \mu\text{m}$ (von der Oberfläche aus gemessen) zu arbeiten. Aus diesem Grund ist jeder Fräskopf mit einem zweiten Linearmeßsystem ausgestattet (Bild 3). Mit Hilfe des vorher beschriebenen Lasermeßsystems wird der Abstand zwischen Niederhalter-Unterkante und Fräaserspitze bezogen auf die LP-Oberfläche exakt gemessen. Der beschriebene Arbeitsablauf wird durch eine spezielle Software vollautomatisch ausgeführt und hat den Vorteil, daß auch bei unterschiedlichen Einspannlängen der Fräser, unebenen Leiterplatten oder Verschleiß am Niederhalter-Andruckring die Tiefentoleranz nicht beeinflußt wird. Hierbei kommen zwei Verfahren zum Einsatz:

- Tiefenfräsen ohne Nachregeln
- Tiefenfräsen mit Nachregeln

9 Kombinierte Bohr- und Fräsmaschinen

Bei der spanenden Bearbeitung von LP kann man den Bohr- und Fräsvorgang auf einer Maschine vereinigen. Hierbei ist es möglich, die Arbeitsgänge

- nur Bohren
- nur Fräsen
- Bohren und Fräsen

durchzuführen. Bei den kombinierten Bohr- und Fräsmaschinen sind die jeweiligen Besonderheiten von Bohr- und Fräsmaschinen in einer Maschine vereinigt. Als Ergänzung ist es notwendig, daß der Niederhalter über die Programmierung auf

- den Bohrdruck (große Kraft) und
- den Fräsdruck (kleine Kraft)

umsteuerbar ist.

Die kombinierten Bohr- und Fräsmaschinen sind aufgrund der hohen Flexibilität vorwiegend bei kleineren LP-Herstellern im Einsatz. In diesem Zusammenhang sollte noch erwähnt werden, daß Großhersteller vom LP mit hohen Qualitätsansprüchen nicht mit diesem kombinierten Maschinen produzieren. Diese Hersteller setzen

- Bohrmaschinen zum Bohren und
- Fräsmaschinen zum Fräsen ein.

10 Qualitätssicherung

Beim Konturenfräsen von Leiterplatten erfolgt die Qualitätssicherung durch Prüfung der Bohr- und Fräsgenauigkeit. Die Bohrgenauigkeit beträgt hierbei weniger als $\pm 20 \mu\text{m}$. Folgende Parameter sind dabei zugrunde gelegt:

Bohrdurchmesser: 1,3 mm bis 2,0 mm

Spirallänge: Minimum

Material: 1 Platte FR 4, beidseitig Cu-beschichtet

Deckplatte: HP oder Al

Raumtemperatur: $22 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ (Bohren / Messen)

Bezüglich der Fräsgenauigkeit können bei FR 4 Material (1,6 mm Dicke) folgende Genauigkeiten erreicht werden:

- \varnothing 2,4 mm 3-lagig $\pm 0,05 \text{ mm}$
- \varnothing 2,4 mm 4-lagig $\pm 0,12 \text{ mm}$
- \varnothing 3,0 mm 4-lagig $\pm 0,12 \text{ mm}$