

Schlussbericht

zu IGF-Vorhaben Nr. 18190 N

Thema

Analyse der Zerspanbarkeit von stranggepressten Zinkknetlegierungen und Entwicklung angepasster Werkzeuge und Bearbeitungsstrategien für das Drehen und Bohren

Berichtszeitraum

01.01.2016 bis 30.06.2018

Forschungsvereinigung

Stifterverband Metalle e.V.
Wallstr. 58-59
10179 Berlin

Forschungseinrichtung

Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen
Lehrstuhl für Technologie der Fertigungsverfahren
Campus-Boulevard 30
52074 Aachen

Aachen, den 07.01.2019

Dipl.-Ing. Daniel Schraknepper

Ort, Datum


Name und Unterschrift aller Projektleiterinnen und Projektleiter der
Forschungseinrichtung(en)

Gefördert durch:

Förderhinweis

Das IGF-Vorhaben 18190 N der Forschungsvereinigung Stifterverband Metalle e. V. wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des deutschen Bundestages gefördert.



Zusammenfassung

Zinkwerkstoffe werden primär als Druckgusswerkstoff oder als Überzugsmetall zum Korrosionsschutz in Bauwesen und Industrie verwendet. Druckgussteile aus Zinklegierungen können endkonturnah hergestellt werden, sodass der spanenden Nachbearbeitung eine untergeordnete Rolle zukommt. Durch Fortschritte in der Strangpresstechnologie wurde es möglich, stangenförmige Halbzeuge aus Zinkknetlegierungen herzustellen, die als Ausgangsmaterial für die spanabhebende Fertigung geeignet sind. Diese Zinkknetlegierungen weisen aufgrund des porenfreien Gefüges und der Kaltverfestigung höhere Festigkeiten als Zinkdruckgusswerkstoffe auf. Die Zerspanung von Zinkwerkstoffen ist deshalb in den vergangenen Jahrzehnten kaum weiterentwickelt worden. Aufgrund des niedrigen Materialpreises stellen Zinkknetlegierungen eine wirtschaftlich attraktive Alternative zu bleifreien Messingwerkstoffen dar. Insbesondere Anwender aus der Sanitär- und Beschlagindustrie können so wirtschaftliche Einbußen aus der Umstellung auf bleifreie Werkstoffe kompensieren. Voraussetzung für die industrielle Anwendung von Zinkknetlegierungen als Werkstoff für spanende Bearbeitung sind prozesssichere und wirtschaftliche Bearbeitungsstrategien.

Ziel des Projekts „Analyse der Zerspanbarkeit von stranggepressten Zinkknetlegierungen und Entwicklung angepasster Werkzeuge und Bearbeitungsstrategien für das Drehen und Bohren“ war es daher, die Zerspanbarkeit von Zinkknetlegierungen hinsichtlich der Spanform, des Werkzeugverschleißes, der Bauteilqualität und der Zerspankraft zu untersuchen und anschließend Lösungen für die auftretenden Zerspanbarkeitsprobleme zu entwickeln.

Die Zerspanbarkeit von Zinkknetlegierungen wird durch eine Neigung zur Adhäsion und zur thermischen Entfestigung des Werkstoffs während der Spanbildung bestimmt. Die Bearbeitung ohne Kühlschmiermittel resultiert in langen Spänen und Scheinspanbildung. Beim Bohren haften Späne in den Spannuten an, was zu Werkzeugbrüchen führen kann. Durch den Einsatz von angepassten Werkzeuggeometrien mit Spanleitstufe und direkter Kühlschmierstoffzufuhr wurden günstigere, kurze Spanformen erreicht. Mit TiB₂-beschichteten Hartmetallwerkzeugen wurde ein sehr geringer Werkzeugverschleiß von lediglich VB = 20 µm nach einer Schnittzeit von t_c = 500 min erzielt. Aus den Untersuchungen wurden Handlungsempfehlungen für die industrielle Umsetzung abgeleitet.

Das Ziel des Forschungsvorhabens wurde erreicht.

Verfasser: Lehrstuhl für Technologie der Fertigungsverfahren:

Prof. Dr.-Ing. Thomas Bergs, MBA,

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Dr. h. c. Dr. h. c. Fritz Klocke,

Stefan Baier, M. Sc.

Danksagung

Die Forschungsstelle, das Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen University, bedankt sich herzlich

- Bei der AiF und dem BMWi für die Förderung des Forschungsvorhabens
- Beim Stifterverband Metalle für die gute Betreuung während der Durchführung des Forschungsvorhabens
- Beim Deutschen Kupferinstitut und der Initiative Zink für die Unterstützung bei der Antragsstellung und Durchführung des Forschungsprojekts
- Bei den Mitgliedern des projektbegleitenden Ausschusses:
 - Deutsches Kupferinstitut e.V., Düsseldorf
 - Diehl Metal Applications GmbH, Hemer
 - Flühs Drehtechnik GmbH, Lüdenscheid
 - Grillo-Werke AG, Duisburg
 - Gühring KG, Albstadt
 - Initiative Zink im Netzwerk der WVMetalle/GDB e.V., Düsseldorf
 - Jokisch GmbH, Oerlinghausen
 - Jul. Niederdrenk GmbH & Co. KG, Velbert-Tönisheide
 - Kennametal Deutschland GmbH, Rosbach v. d. H.
 - Kiehn KG, Iserlohn
 - PHOENIX CONTACT GmbH & Co. KG, Blomberg
 - ROTHER TECHNOLOGIE GMBH & Co. KG, Bad Urach
 - SURE TEC GmbH, Lage
 - Viega Deutschland GmbH & Co. KG, Attendorn
 - Stifterverband Metalle. e.V., Berlin

für die Unterstützung der Forschungsarbeiten durch die Bereitstellung der Versuchswerkstoffe, der Zerspanwerkzeuge und Kühlschmiermedien, für die stets konstruktiven, anregenden und hilfreichen Diskussionen im Rahmen der Projekttreffen und darüber hinaus.



GÜHRING



1	Einleitung	7
2	Zielsetzung und Vorgehensweise des Forschungsvorhabens	8
2.1	Zielsetzung	8
2.2	Vorgehensweise	8
3	Grundlegende Untersuchung der werkstoffspezifischen Zerspanbarkeitsprobleme beim Drehen und Bohren	9
4	Verbesserung der Zerspanbarkeit durch Analyse der Ursache-Wirkzusammenhänge	21
4.1	Anpassung der Schnittparameter	21
4.2	Optimierung der Werkzeuggeometrie	23
4.3	Optimierung der Kühlschmierstrategie	31
4.4	Anpassung von Schneidstoff und Beschichtung	39
5	Empfehlungen für die Werkzeug- und Prozessauslegung	46
6	Diskussion der Ergebnisse	50
7	Transfermaßnahmen	52
8	Anhang	54

1 Einleitung

Zink zeichnet sich für technische Anwendungen durch eine hohe Korrosionsschutzwirkung, gute Gießbarkeit und einen günstigen Rohstoffpreis aus. In der industriellen Anwendung ist Zink als Werkstoff für den Druckguss, als Schichtwerkstoff zum Korrosionsschutz sowie als Blechwerkstoff für Anwendungen im Bauwesen wie Fassadenverkleidungen und Regenrinnen weit verbreitet. Ein maßgeblicher Anteil des Gesamtverbrauches an Zink wird zudem für die Anwendung in Legierungen mit Kupfer (Messing), Aluminium und Magnesium verbraucht. Aufgrund der guten Gießbarkeitseigenschaften von Zinkwerkstoffen (z.B. „Zamak“-Legierungen) können Gussbauteile meist endkonturnah gefertigt werden, sodass der spanabhebenden Nachbearbeitung eine untergeordnete Bedeutung zukommt. Durch technologische Weiterentwicklungen der Halbzeugherstellung ist es möglich, spezielle Zinkwerkstoffe in Stangenform als Halbzeuge für die spanende Fertigung herzustellen. Dies ermöglicht das Erschließen eines neuen Anwendungsfeldes für Zinkwerkstoffe als stranggepresste Zinkknetlegierungen für vornehmlich spanabhebende Bearbeitung. Im Vergleich zu Gusslegierungen weisen diese Zinkknetlegierungen ein porenfreies Gefüge und somit höhere Festigkeiten auf. Dadurch ergeben sich vielfältige Anwendungsgebiete in der Sanitär-, Beschlag-, und Elektroindustrie, wo Bauteile wie Fittings, Ventile, Türbeschläge, Schlösser und Steckergehäuse aus der neu entwickelten Werkstoffklasse stranggepresster Zinkknetlegierungen gefertigt werden können.

Für die oben genannten Anwendungen kommen derzeit bleihaltige Kupferwerkstoffe, wie das bleihaltige Automatenmessing CuZn39Pb3 zum Einsatz. Durch das Legierungselement Blei wird die Zerspanbarkeit gegenüber bleifreien Kupferwerkstoffen maßgeblich verbessert. Aufgrund von Änderungen der Gesetzeslage, (u.a. REACH-Verordnung, RoHS, Trinkwasserverordnung) wird jedoch zukünftig der Gebrauch von Blei als Legierungselement drastisch eingeschränkt und es müssen bleifreie Werkstoffe mit einem maximalen Restbleigehalt zwischen $m_{Pb} = 0,1 \%$ und $m_{Pb} = 0,25 \%$ verwendet werden [1-3]. Im Zuge der daraus für die gesamte Branche resultierenden Umstellung der Werkstoffpalette stellen die bleifreien Zinkknetlegierungen aufgrund des geringen Rohstoffpreises für Zink im Vergleich zu Kupfer eine wirtschaftlich attraktive Alternative zu bleifreien Kupferwerkstoffen dar.

Die Zerspanung von Zink- und Zinkknetlegierungen wurde vor diesem Forschungsvorhaben nur rudimentär erforscht, da in der industriellen Praxis bisher kein Bedarf dafür bestand. Daher wurde in diesem Projekt die grundlegende Zerspanbarkeit von Zinkknetlegierungen untersucht. Um die Anwendung von Zinkknetlegierungen, vornehmlich durch KMUs, zu ermöglichen wurden anschließend in Optimierungsuntersuchungen geeignete Zerspanwerkzeuge und -prozesse ausgelegt und Handlungsempfehlungen für die Zerspanung von Zinkknetlegierungen abgeleitet.

2 Zielsetzung und Vorgehensweise des Forschungsvorhabens

2.1 Zielsetzung

Ziel des Forschungsvorhabens war es, durch die Entwicklung von angepassten Werkzeugen und Bearbeitungsstrategien eine hohe Prozesssicherheit und Produktivität beim Drehen und Bohren von Zinkknetlegierungen zu ermöglichen. Zur Realisierung dieser Zielsetzung wurde im ersten Projektabschnitt eine grundlegende Analyse der Zerspanbarkeit von Zinkknetlegierungen durchgeführt und die werkstoffspezifischen Zerspanbarkeitsprobleme identifiziert und analysiert. Das so gewonnene Grundlagenwissen wurde als Basis für die Entwicklung angepasster Werkzeuge und Bearbeitungsstrategien hinsichtlich der Werkzeuggeometrie, der Schnittparameter, der Kühlschmierstrategie sowie der Auswahl von Schneidstoff und Beschichtung in Optimierungsversuchen verwendet. Übergeordnetes Ziel des Forschungsvorhabens war dabei, ein Gestaltungsmodell zur Werkzeug- und Prozessauslegung beim Drehen und Bohren von Zinkknetlegierungen zu entwickeln. Als Ergebnis wurde angestrebt, den Anwendern aus der Industrie konkrete Lösungsansätze zur Verbesserung des Spanabtransportes durch Anpassung der Spanform, zur Reduktion des Werkzeugverschleißes und zur Steigerung der Zeitspanvolumina an die Hand zu geben.

2.2 Vorgehensweise

Die Zielsetzung erforderte eine optimale Abstimmung der Werkzeuggeometrie, der Schnittparameter, der Kühlschmierstrategie sowie der Auswahl von Schneidstoff und Beschichtung an die Zerspanbarkeitseigenschaften von Zinkknetlegierungen. Zur Realisierung dieser Zielsetzung wurden Forschungs- und Entwicklungsarbeiten auf den folgenden Ebenen durchgeführt:

- Grundlagenuntersuchungen zur Analyse der Zerspanbarkeitskriterien
- Optimierungs- und Verifizierungsversuche zur Steigerung von Prozesssicherheit und Produktivität
- Ableitung von Handlungsempfehlungen zur Verbesserung der Übertragbarkeit der Erkenntnisse in die industrielle Praxis

Grundlagenuntersuchungen: Es wurden die vier Zerspanbarkeitskriterien Spanform, Oberflächenrauheit, Zerspankraftkomponenten und Werkzeugverschleiß für das Drehen und Bohren untersucht. Die Grundlagenuntersuchungen wurden an den vier Zinkknetlegierungen ZnAl15Cu1Mg0,03, ZnAl10Cu1Mg0,03, ZnAl4Cu2,5Mg0,03 und ZnCu4 durchgeführt. Die Grundlagenuntersuchungen wurden auf einer Drehmaschine vom Typ Gildemeister CTX 410 und

einem Bearbeitungszentrum vom Typ Ex-Cell-O XHC 241 durchgeführt. Für sämtliche Untersuchungen zum Bohren wurde auf Anregung des projektbegleitenden Ausschusses hin festgelegt, dass der Bohrdurchmesser $D = 3$ mm anstelle der im Antrag festgelegten $D = 4$ mm bis 6 mm betragen sollte.

Optimierungs- und Verifizierungsversuche: Aufbauend auf den Ergebnissen der Grundlagenuntersuchungen wurden Versuche zur Anpassung der Spanform, des Werkzeugverschleißes, der Oberflächenrauheit und der Produktivität durchgeführt. Da die Werkstoffvariante ZnCu4 nicht mehr weiterentwickelt wurde, wurden dazu die drei Werkstoffe ZnAl15Cu1Mg0,03, ZnAl10Cu1Mg0,03 und ZnAl4Cu2,5Mg0,03 eingesetzt. Für die Standweguntersuchungen wurde in Abstimmung mit dem projektbegleitenden Ausschuss nur ZnAl15Cu1Mg0,03 verwendet, da dieser Werkstoff in den Grundlagenuntersuchungen den stärksten Werkzeugverschleiß zeigte. Die Auswahl der zu untersuchenden Werkstoff- und Prozessvarianten erfolgte auf den Projekttreffen in Abstimmung mit den Mitgliedern des projektbegleitenden Ausschusses. Auf diese Weise wurde sichergestellt, dass die erzielten Ergebnisse in der Praxis anwendbar sind und die Forschungsarbeiten innerhalb der Projektlaufzeit abgeschlossen werden konnten. Die Optimierungsuntersuchungen wurden auf einem Stangendrehzentrum vom Typ DMG MORI NZX 1500 durchgeführt.

Aufgrund eines Brandes in der Maschinenhalle des WZL in der Nacht vom 4. auf den 5. Februar 2016, bei dem ein Großteil der für das Projekt benötigten Versuchseinrichtungen zerstört wurde, konnten die Untersuchungen erst mit deutlicher Verzögerung begonnen werden. Deshalb wurde zu Beginn des zweiten Projektjahrs eine kostenneutrale Verlängerung der Projektlaufzeit bis zum 30.06.2018 beantragt. So konnten die im Antrag geplanten Arbeiten in vollem Umfang durchgeführt werden. Sämtliche durchgeführten Arbeiten waren zur Erreichung der Projektziele notwendig und in Art und Umfang angemessen.

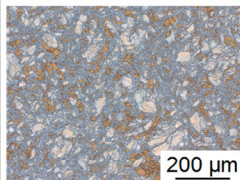
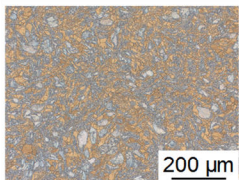
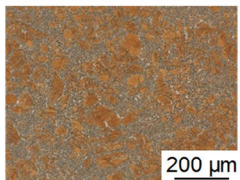
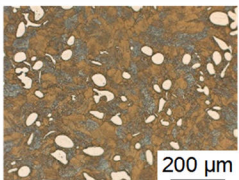
3 Grundlegende Untersuchung der werkstoffspezifischen

Zerspanbarkeitsprobleme beim Drehen und Bohren

Voraussetzung für die Anwendung eines neuen Werkstoffes in der industriellen Fertigung ist die Kenntnis der auftretenden Zerspanbarkeitsprobleme in Abhängigkeit von der Bearbeitungsaufgabe, dem Versuchswerkstoff und den spezifischen Randbedingungen. Deswegen war es Ziel dieses Arbeitspaketes, die grundlegenden Zerspanbarkeitsprobleme beim Drehen und Bohren von Zinkknetlegierungen zu identifizieren. Im Folgenden werden die Ergebnisse der Untersuchungen zu Spanformen, Zerspankraftkomponenten, Werkzeugtemperatur und Bauteilqualität dargestellt.

Werkstoffcharakterisierung

In Bild 3.1 sind die mechanischen Eigenschaften der im Rahmen des Projekts verwendeten Versuchswerkstoffe dargestellt. Zu Beginn des Projekts wurden die vier Legierungen ZnAl15Cu1Mg0,03, ZnAl10Cu1Mg0,03, ZnAl4Cu2,5Mg0,03 und ZnCu4 untersucht. Bei den drei erstgenannten Werkstoffen handelt es sich um Zinknettlegerungen mit abgestuften Gehalten an Aluminium (Al), die hinsichtlich der chemischen Zusammensetzung den für Druckgussanwendungen bekannten Zamak-Legierungen ähneln. Hinsichtlich der Härte liegen die Al-haltigen Werkstoffe auf ähnlichem Niveau von 107-117 HB. Mit zunehmendem Al-Gehalt erreichen die Werkstoffe höhere Festigkeiten bei abnehmender Bruchdehnung und Dichte.

Werkstoff	ZnAl15 Cu1Mg0,03	ZnAl10 Cu1Mg0,03	ZnAl4 Cu2,5Mg0,03	ZnCu4
Schliffbild				
Härte	107 - 110 HB	103 - 106 HB	110 - 117 HB	77 - 79 HB
R _m	450 - 500 MPa*	400 - 450 MPa*	380 - 430 MPa*	k.A.
R _{p0,2}	420 - 480 MPa*	390 - 440 MPa*	350 - 400 MPa*	k.A.
E-Modul	90 - 110 GPa*	90 - 110 GPa*	115 - 120 GPa*	k.A.
Bruchdehnung	6 - 11 %*	10 - 15 %*	20 - 25 %*	k.A.
Dichte	5,7 g/cm ³ *	6,1 g/cm ³ *	6,7 g/cm ³ *	k.A.

* Quelle: Grillo Werke

Bild 3.1: Mechanische Eigenschaften der Versuchswerkstoffe

Die Legierung ZnCu4 wurde als entzinkungsbeständiger Werkstoff in die Untersuchungen mit einbezogen. Da der Werkstoff noch nicht für den Serieneinsatz fertig entwickelt wurde, wurden die mechanischen Kenngrößen nicht ermittelt. Die Härte lag mit 77 - 79 HB wesentlich unterhalb der der anderen Versuchswerkstoffe. Im weiteren Verlauf des Projekts wurde dieser Werkstoff nicht weiter untersucht, da entgegen der eingehenden Annahme die Eignung für trinkwasserführende Anwendungen nicht nachgewiesen werden konnte und die weitere Entwicklung des Werkstoffs eingestellt wurde. Die Grillo Werke AG setzte im Anschluss daran die Entwicklung eines entzinkungsbeständigen Werkstoffes für das Projekt und für die im projektbegleitenden Ausschuss (pA) vertretenen Unternehmen aus der Sanitärindustrie fort.

Sämtliche Werkstoffe wurden in Form von stranggepressten und gezogenen Rundstangen mit einem Durchmesser von $D = 40 \text{ mm}$ bereitgestellt. Sämtliche Versuchswerkstoffe wurden durch die Grillo Werke AG bereitgestellt.

Grundlagenuntersuchungen zum Drehen

Die Zerspanversuche mussten aufgrund eines Brandes der Maschinenhalle des Werkzeugmaschinenlabors auf anderen Maschinen als ursprünglich geplant durchgeführt werden. Die Untersuchungen zur Spanform, Bauteilqualität und den Zerspankraftkomponenten beim Außenlängs- und Einstechdrehen wurden auf einer Drehmaschine vom Typ Gildemeister CTX 410 durchgeführt (Bild 3.2). Die Messung der Zerspankraftkomponenten erfolgte mit einer piezoelektrischen Kraftmessplattform vom Typ 9129AA von der Firma Kistler. Auf dieser Maschine konnten aufgrund der Aufnahme für die Kraftmessplattform die Untersuchungen nicht mit Kühlschmiermittel durchgeführt werden. Der Versuchsplan und die Werkzeuggeometrie sind in Bild 3.3 zusammengefasst.

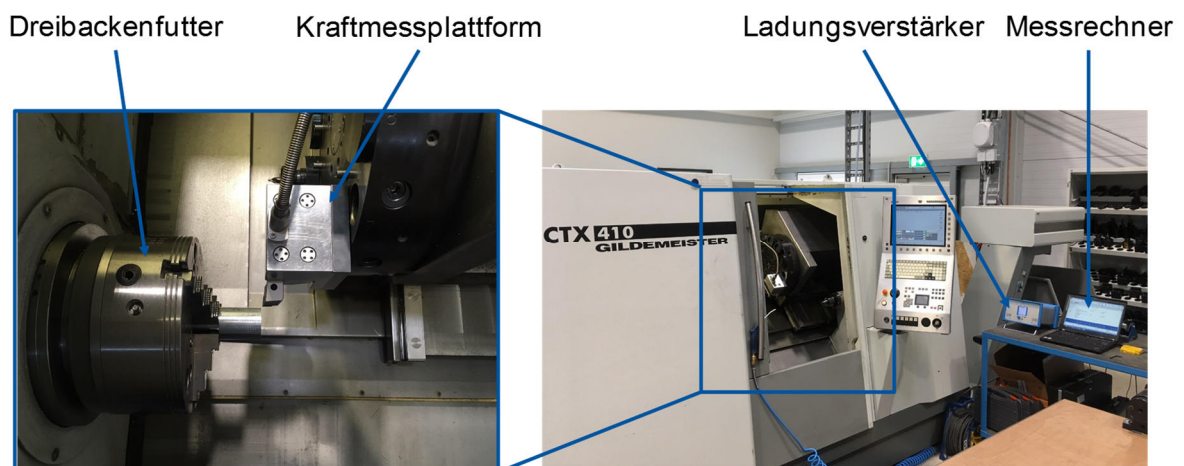
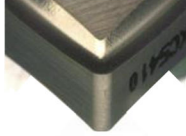


Bild 3.2: Versuchsaufbau für die Grundlagenuntersuchungen zum Drehen auf Drehmaschine Gildemeister CTX 410

$v_c / (\text{m/min})$	f / mm	a_p / mm	Kriterien
$v_{c1} = 50$ $v_{c2} = 100$ $v_{c3} = 200$ $v_{c4} = 300$ $v_{c5} = 400$ $v_{c6} = 500$	$f = 0,1$	$a_p = 1$	Kraft, Spanform, Temperatur
$v_c = 200$	$f_1 = 0,1$ $f_2 = 0,2$ $f_3 = 0,3$ $f_4 = 0,4$	$a_{p1} = 1$ $a_{p2} = 2$ $a_{p3} = 3$	Kraft, Spanform

Kennametal CNGP120408 KC5410



Spanwinkel	$\gamma_0 =$	10°
Freiwinkel	$\alpha_0 =$	0°
Neigungswinkel	$\lambda_s =$	-6°
Schneidstoff	HM, TiB ₂ besch.	
SK-Radius	r_β	$< 10 \mu\text{m}$

Bild 3.3: Versuchsplan und Werkzeuggeometrie für das Außenlängsdrehen

Bild 3.4 zeigt die Spanformen beim Außenlängsdrehen von ZnAl10Cu1Mg0,03 mit dem Wendeschneidplattenwerkzeug CNMG120408 KC5410 von Kennametal bei einer konstanten Schnittgeschwindigkeit von $v_c = 200$ m/min für verschiedene Vorschübe f und Schnitttiefen a_p . Bei einem Vorschub von $f = 0,1$ mm entstanden lange Bandspäne. Durch Erhöhung des Vorschubs f wurden bei Vorschub $f = 0,2$ mm Bandspanabschnitte erzeugt und bei Vorschüben $f \geq 0,3$ mm entstanden kurze Bandspanabschnitte oder Bröckelspäne. Bei kleineren Vorschüben von $f = 0,1$ mm und $f = 0,2$ mm führte eine Erhöhung der Schnitttiefe a_p zu längeren Band- oder Wirrspänen. Bei den Werkstoffen ZnAl15Cu1Mg0,03 und ZnAl4Cu2,5Mg0,03 ergaben sich ähnliche Spanformen in Abhängigkeit von Schnitttiefe und Vorschub. Beim Drehen von ZnCu4 bildeten sich auch bei höheren Vorschüben lange Band- und Wirrspäne. Nur bei einem Vorschub von $f = 0,4$ mm und einer Schnitttiefe von $a_p = 1$ mm entstanden Wendelspanabschnitte. Gratbildung wurde nicht beobachtet.

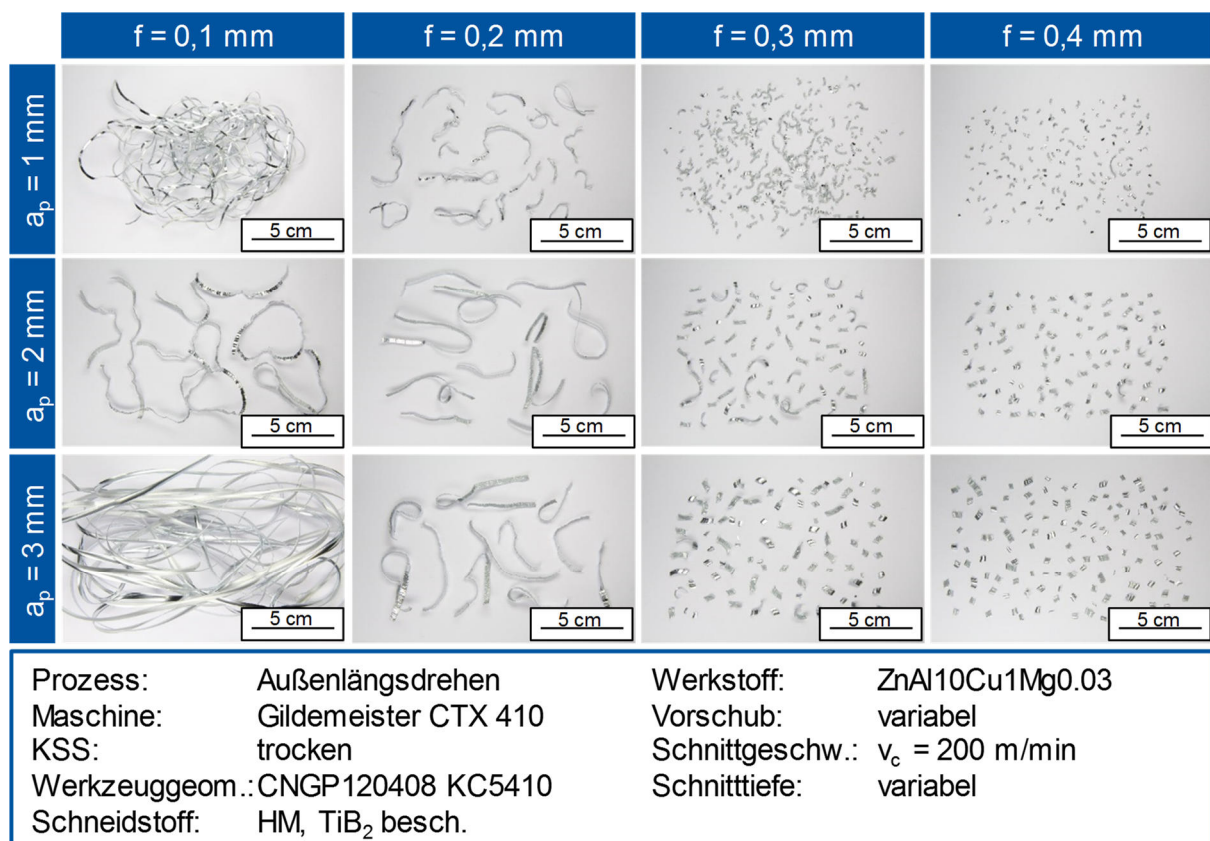


Bild 3.4: Spanformen beim Schruppdrehen von ZnAl10Cu1Mg0,03

Bild 3.5 zeigt die Spanformen beim Außenlängsdrehen von ZnAl10Cu1Mg0,03 mit unterschiedlichen Schnittgeschwindigkeiten. Es wurde stets ein Vorschub von $f = 0,1$ mm und eine Schnitttiefe von $a_p = 1$ mm verwendet. Bei Schnittgeschwindigkeiten von $v_c = 100$ m/min bis $v_c = 400$ m/min entstehen lange Band- und Wirrspäne. Bei einer Schnittgeschwindigkeit von $v_c = 50$ m/min und bei $v_c = 500$ m/min wurden Bandspanabschnitte erzeugt. Da bei niedrigerer Schnittgeschwindigkeit weniger Wärme in den Span eingetragen wird, treten geringere

Temperaturen in der Zerspanzone auf. Die kürzeren Späne bei einer niedrigen Schnittgeschwindigkeit $v_c = 50$ m/min im Vergleich zu $v_c > 100$ m/min wurden auf eine geringe Temperatur in der Zerspanzone zurückgeführt. Bei der hohen Schnittgeschwindigkeit $v_c = 500$ m/min wurde angenommen, dass die Bandspäne aufgrund der hohen Spanablaufgeschwindigkeit und der damit einhergehenden Vibrationen reißen. Beim Einstechdrehen wurden unabhängig von Schnittgeschwindigkeit und Vorschub bei Trockenbearbeitung mit dem Referenzwerkzeug EG0300M03N00CL02 von der Fa. Kennametal ausschließlich lange Bandspäne erzeugt.

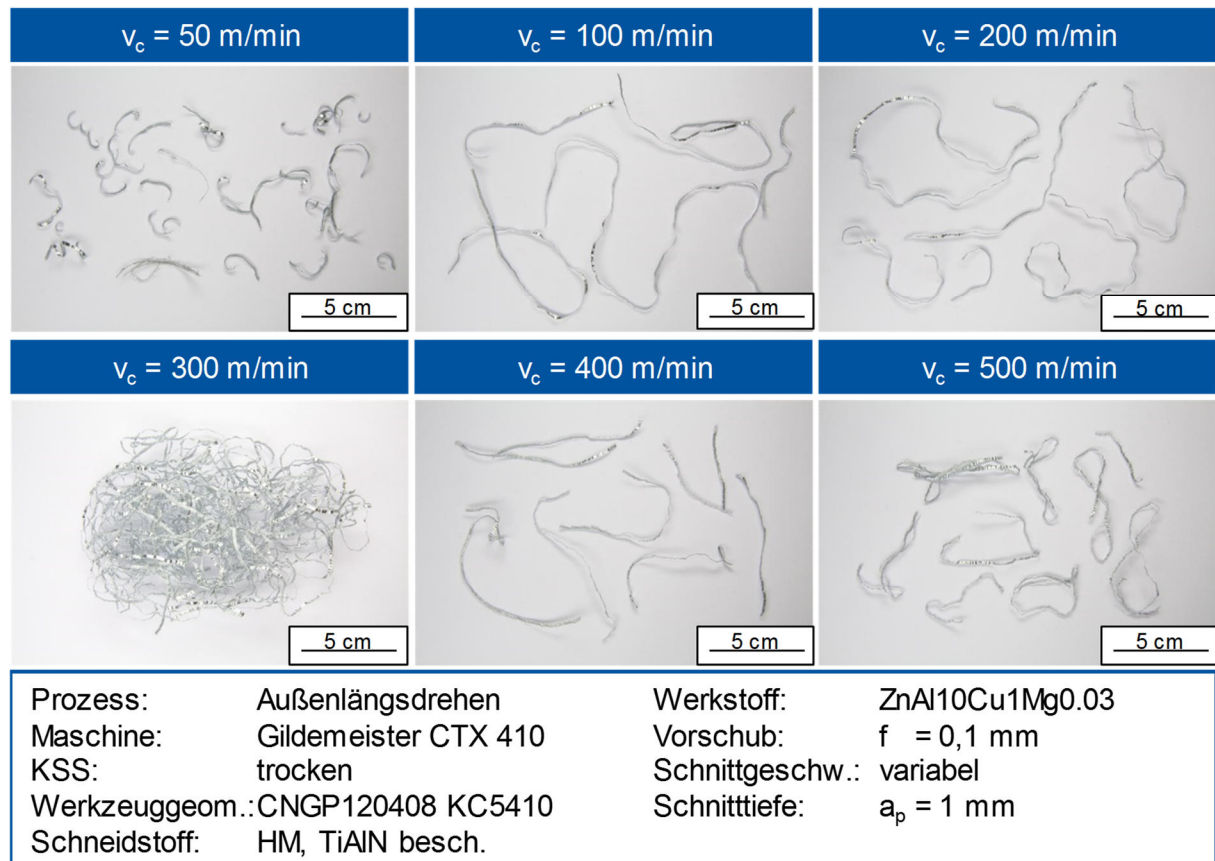


Bild 3.5: Spanformen beim Trockendrehen von ZnAl10Cu1Mg0,03 bei verschiedenen Schnittgeschwindigkeiten

Grundlagenuntersuchungen zum Bohren

Die Grundlagenuntersuchungen zum Bohren wurden auf einem Bearbeitungszentrum vom Typ XHC 241 von der Fa. Ex-Cell-O unter Einsatz von Emulsion (Rhenus EMF, 7%) als Kühlschmierstoff durchgeführt. Es wurden stets Bohrungen mit einem Durchmesser von $D = 3$ mm und einer Tiefe von $L = 15$ mm hergestellt. Als Werkzeug wurde für die Grundlagenuntersuchungen der Spiralbohrer GU500 aus Schnellarbeitsstahl der Firma Gühring verwendet. Die dabei entstandenen Spanformen sind in Bild 3.6 dargestellt. Bei den aluminiumlegierten Werkstoffen wurden mit erhöhtem Vorschub kürzer werdende Wendelspanabschnitte erzeugt. Bei ZnCu4 wurden die kürzesten Späne beim geringsten

untersuchten Vorschub von $f = 0,05 \text{ mm}$ erzielt. Ein Stichversuch zum Bohren in ZnAl15Cu1Mg0,03 ohne Kühlschmiermedium erzeugte sehr lange Spanformen, die in den Spannten anhafteten und in einem Fall zum Bruch des Werkzeugs durch Verkleben der Späne in der Bohrung führten.

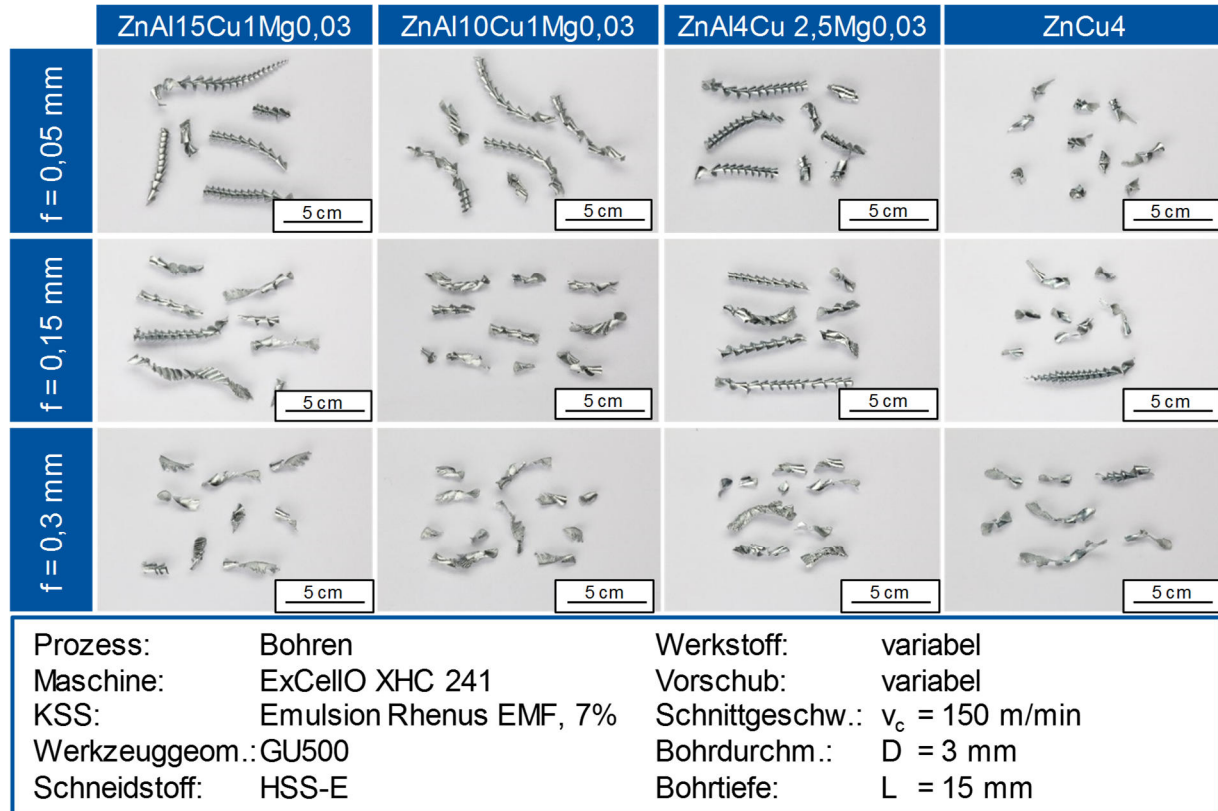
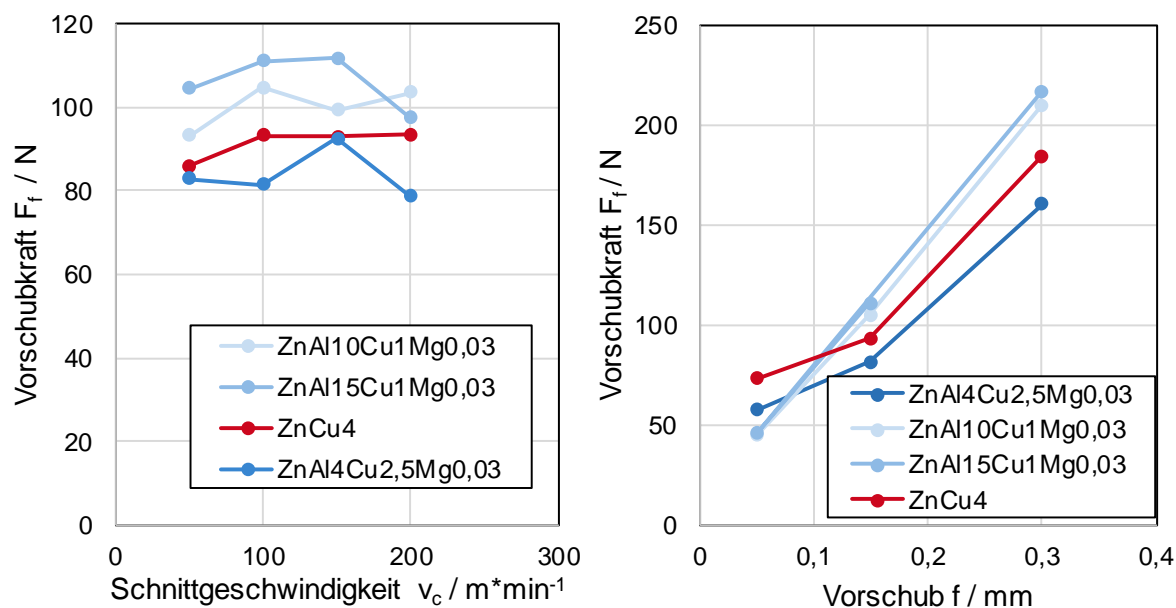


Bild 3.6: Spanformen beim Bohren von Zinknetlegierungen in Abhängigkeit vom Vorschub

Die Vorschubkraft stieg beim Bohren aufgrund des größer werdenden Spanungsquerschnitts nahezu linear mit dem Vorschub an (Bild 3.7 rechts). Dabei war die Vorschubkraft beim Bohren von ZnAl15Cu1Mg0,03 höher als bei ZnAl4Cu1Mg0,03 und ZnAl10Cu1Mg0,03. Die Schnittgeschwindigkeit hatte keinen erkennbaren Einfluss auf die Vorschubkraft. Mit einer Streuung von $\pm 10 \text{ N}$ lagen die Schwankungen der Messwerte für jeden Werkstoff im Bereich der Messgenauigkeit und ermöglichten keine Ableitung eines Trends.



Prozess:	Bohren	Werkstoff:	variabel
Maschine:	ExCellIO XHC 241	Vorschub:	variabel
KSS:	Emulsion Rhenus EMF, 7%	Schnittgeschw.:	$v_c = 150$ m/min
Werkzeuggeom.:	GU500	Bohrdurchm.:	$b = 3$ mm
Schneidstoff:	HSS-E	Bohrtiefe:	$L = 15$ mm

Bild 3.7: Verlauf der Vorschubkraft beim Bohren in Abhängigkeit von Schnittgeschwindigkeit und Vorschub

Die Neigung zur Bildung langer Späne bei der Drehbearbeitung ohne Kühlschmiermedium war vermutlich auf hohe Temperaturen in der Zerspanszone zurückzuführen. Da die untersuchten Zinkknetlegierungen einen Schmelzpunkt von etwa $T_s = 300$ °C aufweisen, ist es wahrscheinlich, dass der Werkstoff bei höheren Schnittgeschwindigkeiten in der Zerspanszone thermisch entfestigt wurde. Dies wurde durch die Bildung von Scheinspänen beim Außenlängs- und Einstechdrehen belegt (vgl. Bild 3.8). Als Scheinspanbildung wird die Bildung eines zweiten Spans an der Freifläche des Werkzeugs bezeichnet [4]. Scheinspanbildung wird durch Temperaturen nahe dem Schmelzbereich des zerspannen Werkstoffs in der Zerspanszone begünstigt und ist insbesondere bei der Aluminiumbearbeitung mit hohen Schnittgeschwindigkeiten bekannt.

In Bild 3.8 ist ein Scheinspan vom trockenen Außenlängsdrehen von ZnAl10Cu1Mg0,03 mit einer Schnittgeschwindigkeit von $v_c = 200$ m/min abgebildet. Der thermisch entfestigte Werkstoff bildete eine Nase entlang der Hauptfreifläche und benetzte auch die Nebenfleifläche des Werkzeugs. An dem thermisch entfestigten Material hafteten Bandspäne. Metallographische Schliffbilder des Scheinspans zeigten, dass der Werkstoff bei der Zerspansung angeschmolzen und anschließend wieder erstarrt ist (vgl. Anhang, Bild 8.1 f.). Beim Einstechdrehen wurde Scheinspanbildung an den Haupt- und Nebenfleiflächen der Werkzeuge beobachtet.

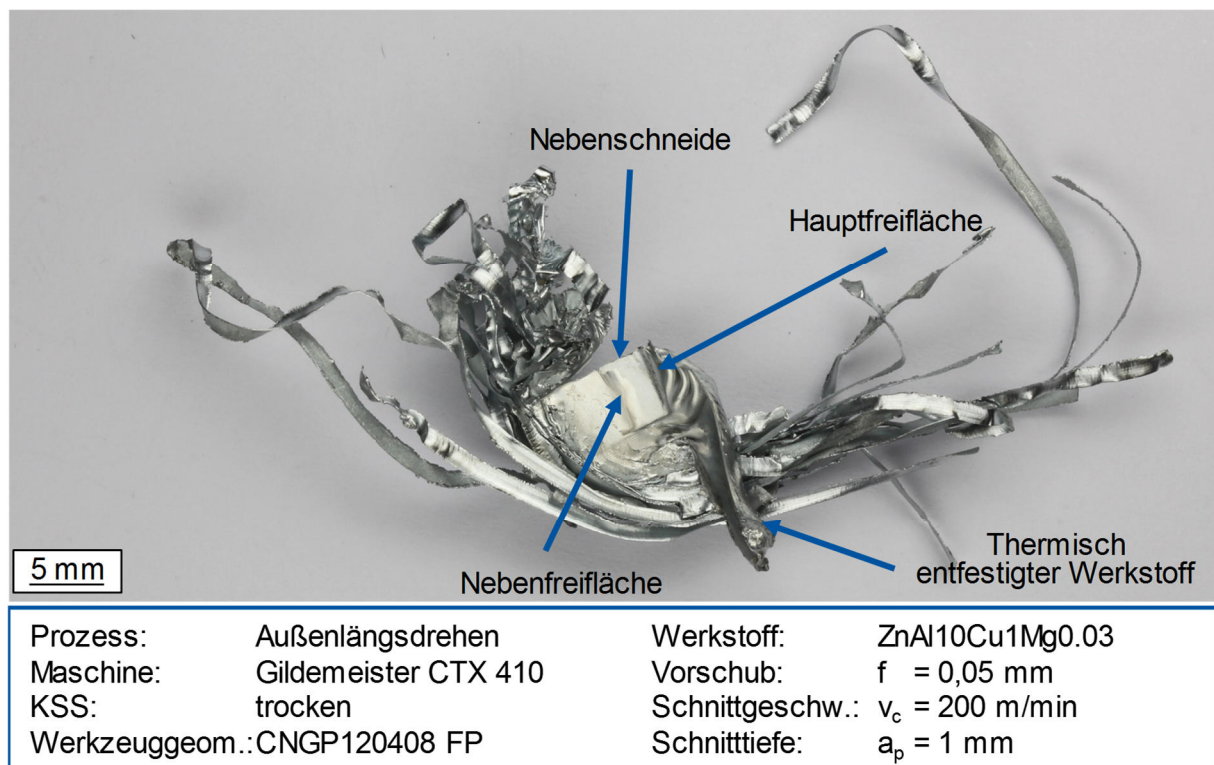
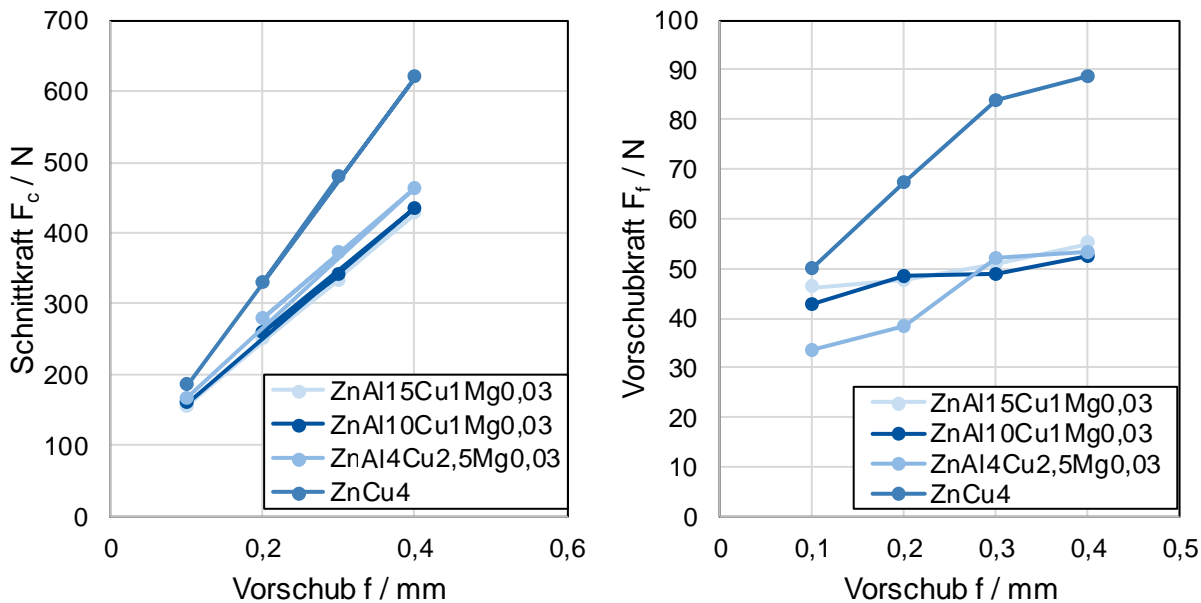


Bild 3.8: Scheinspan mit anhaftenden Spänen

Zur Bewertung der mechanischen Werkzeugbelastung wurden die Zerspankraftkomponenten mit einer piezoelektrischen Kraftmessplattform vom Typ 9129AA der Fa. Kistler gemessen. In Bild 3.9 ist der Verlauf der Schnittkraft F_c und der Vorschubkraft F_f in Abhängigkeit vom Vorschub f dargestellt. Die drei aluminiumhaltigen Werkstoffe wiesen hinsichtlich der Vorschub- und der Schnittkraft mit Abweichungen von $\Delta F_i < 20 \text{ N}$ ähnliche Messwerte auf. Bei einem Vorschub von $f = 0,4 \text{ mm}$ erreichte ZnAl4Cu2,5Mg0,01 eine maximale Schnittkraft von $F_c = 460 \text{ N}$. Beim Drehen des Werkstoffes ZnCu4 wurde eine höhere Schnitt- und Vorschubkraft gemessen. Die maximale Schnittkraft betrug hier $F_c = 615 \text{ N}$ bei einem Vorschub von $f = 0,4 \text{ mm}$. Die Schnittkraft beim Drehen des bleihaltigen Referenzwerkstoffes CuZn39Pb3 beträgt bei gleichen Prozessparametern und gleicher Werkzeuggeometrie $F_c = 495 \text{ N}$. Beim Drehen von bleifreien Kupferwerkstoffen werden, je nach Legierungszusammensetzung, um mindestens 50 % höhere Schnittkräfte erzeugt [5].

Für die Werkstoffe ZnAl15Cu1Mg0,03, ZnAl10Cu1Mg0,03 und ZnAl4Cu2,5Mg0,03 wurde die Werkzeugtemperatur T beim Außenlängsdrehen mit verschiedenen Schnittgeschwindigkeiten v_c gemessen. Als Werkzeugtemperatur wird die Temperatur des Schneidwerkzeugs in direkter Nähe der Schneide bezeichnet. In die Wendeschneidplatten vom Typ CNGP120408 KC5010 (vgl. Bild 3.3) wurde mittels Senkerosion eine Sacklochbohrung eingebracht, die 0,1 mm unterhalb der Schneidkante endet (Bild 3.10). In dieser Bohrung wurde ein Thermoelement vom Typ K von der Fa. ThermoExpert eingebracht, mit dem die Temperatur in der direkten Nähe der Hauptschneide gemessen wurde. Mittels kalibrierter Messelektronik wurde die Werkzeugtemperatur aus einer

Widerstandsänderung des Thermoelements ermittelt. Die ursprünglich geplanten Messungen der Werkzeugtemperatur mittels Zweifarbprometrie mussten abgebrochen werden, da die Werkzeugtemperaturen mit $T < 250 \text{ }^\circ\text{C}$ deutlich geringer als die Mindesttemperatur von etwa $T = 250 \text{ }^\circ\text{C}$ für die Zweifarbprometrie lagen.



Prozess:	Außenlängsdrehen	Werkstoff:	variabel
Maschine:	Gildemeister CTX 410	Vorschub:	variabel
KSS:	trocken	Schnittgeschw.:	$v_c = 200 \text{ m/min}$
Werkzeuggeom.:	CNGP120408 KC5410	Schnitttiefe:	$a_p = 2 \text{ mm}$
Schneidstoff:	HM, TiB ₂ besch.		

Bild 3.9: Schnitt- und Vorschubkraft beim Außenlängsdrehen

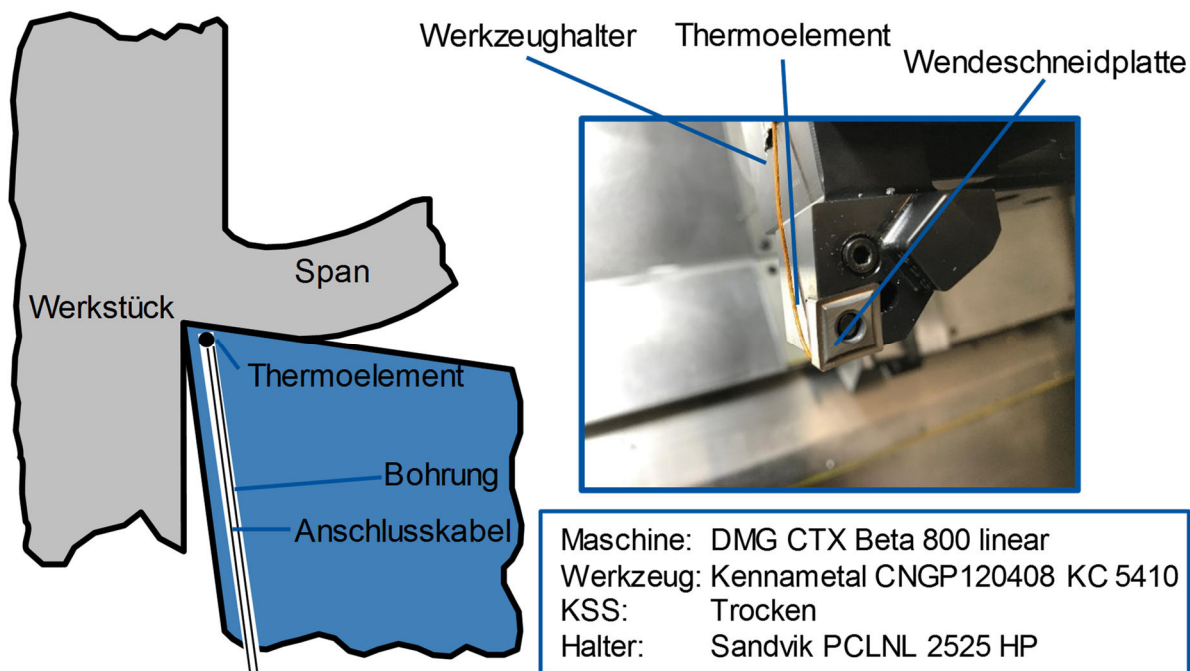


Bild 3.10: Versuchsaufbau zur Messung der Werkzeugtemperatur beim Außenlängsdrehen

Die Messergebnisse für die Trockenbearbeitung und die Überflutungskühlung mit ölbasiertem Kühlschmierstoff vom Typ BlasoMill GT22 von der Fa. Blaser Swisslube sind in Bild 3.11 dargestellt. Bei Trockenbearbeitung wurden beim Drehen von ZnAl10Cu1Mg0,03 Temperaturen bis maximal $T = 230\text{ °C}$ gemessen. Bei ZnAl15Cu1Mg0,03 betragen die Temperaturen maximal $T = 150\text{ °C}$ und bei ZnAl4Cu2,5Mg0,03 maximal $T = 180\text{ °C}$. Auffällig war dabei, dass die Werkzeugtemperaturen nur geringfügig mit der Schnittgeschwindigkeit anstiegen. Dies wurde auf ein Erreichen des Schmelzbereichs (bei etwa $T_s = 300\text{ °C}$) in der Scherzone zurückgeführt. Die Schwankungen in den gemessenen Werten (Bild 3.10 links) wurden auf die Aufschmierungen auf der Schneide zurückgeführt. Aufgrund des steilen Temperaturgradienten in der Nähe der Schneide haben schon geringe Änderungen der Dicke des anhaftenden Werkstoffs einen wesentlichen Einfluss auf die gemessene Temperatur, auch wenn die Temperatur in der Scherzone konstant bleibt und nahe der Solidustemperatur des Werkstoffes liegt.

Bei Überflutungskühlung mit dem ölbasierten Kühlschmierstoff lagen sämtliche gemessenen Temperaturen deutlich niedriger. Es wurden stets Werkzeugtemperaturen von $T < 80\text{ °C}$ gemessen. Bei allen drei Werkstoffen wurde ein leichter Anstieg der Temperatur mit steigender Schnittgeschwindigkeit beobachtet (Bild 3.11 rechts). Die Temperaturen waren bei Einsatz von Öl als Kühlschmierstoff so niedrig, dass bei Werkzeugen aus Schnellarbeitsstahl (HSS) oder Hartmetall basierend auf den Erfahrungen der Anwender aus dem pA keine thermische Beeinflussung der Schneidhaltigkeit zu erwarten ist. In Kombination mit den wesentlich kürzeren Spanformen wird deshalb die Verwendung von Kühlschmiermittel empfohlen und es wurde mit dem pA abgestimmt, dass sämtliche nachfolgenden Untersuchungen unter Einsatz von Öl als Kühlschmiermittel durchgeführt wurden.

Die Bewertung des Werkzeugverschleißes beim Drehen und Bohren erfolgte bei festen Schnittparametern. Der Verschleiß beim Bohren wurde anhand von 1022 Bohrungen je Werkstoff ermittelt, was einer Schnittzeit von $t_c = 25,55\text{ min}$ entsprach. Die Bohrungen mit Durchmesser $D = 3\text{ mm}$ und Tiefe $L = 15\text{ mm}$ wurden mit einer Schnittgeschwindigkeit von $v_c = 37,7\text{ m/min}$ und einem Vorschub von $f = 0,15\text{ mm}$ gefertigt. Die Schnittgeschwindigkeit wurde durch die maximaldrehzahl des verwendeten Stangendrehzentrums von Typ DMG MORI CTX Beta 800 begrenzt. Als Werkzeug wurde der HSS-Wendelbohrer GU500 von der Fa. Gühring verwendet. In Bild 3.12 sind die Span- und Freiflächen der Werkzeuge für das Bohren von ZnAl10Cu1Mg0,03 abgebildet.

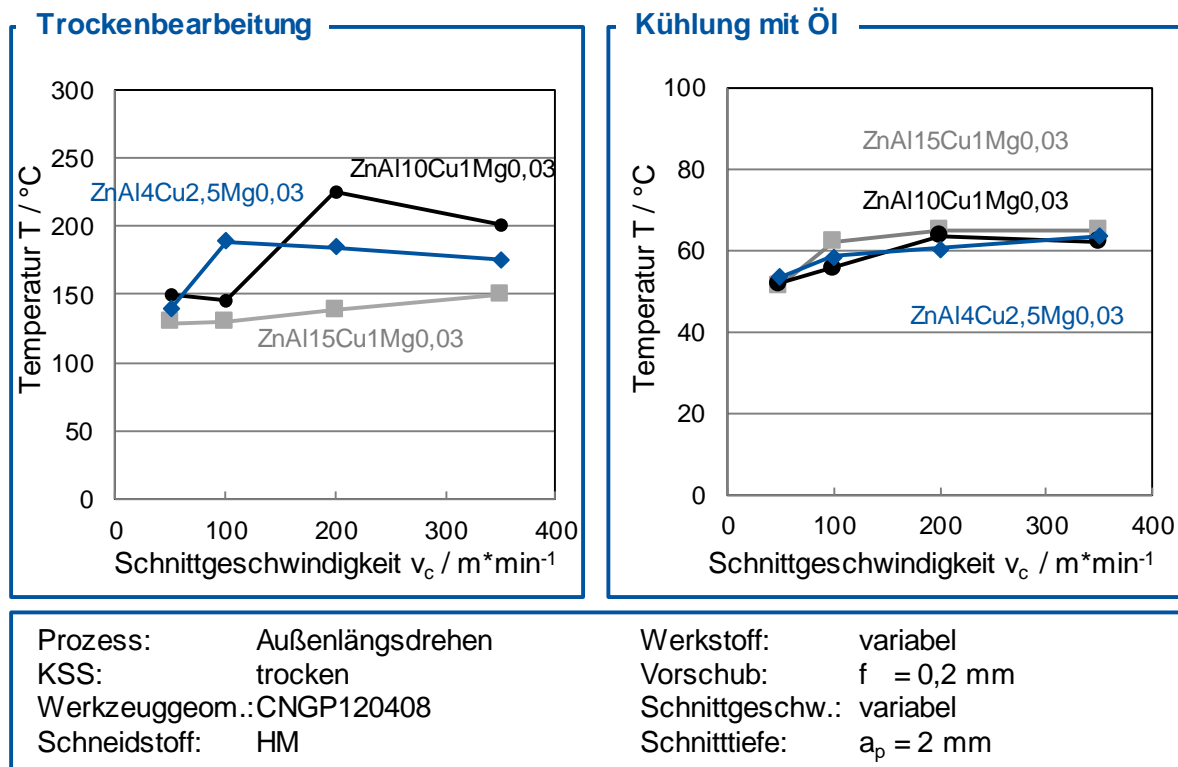


Bild 3.11: Verlauf der Werkzeugtemperatur in Abhängigkeit von der Schnittgeschwindigkeit.

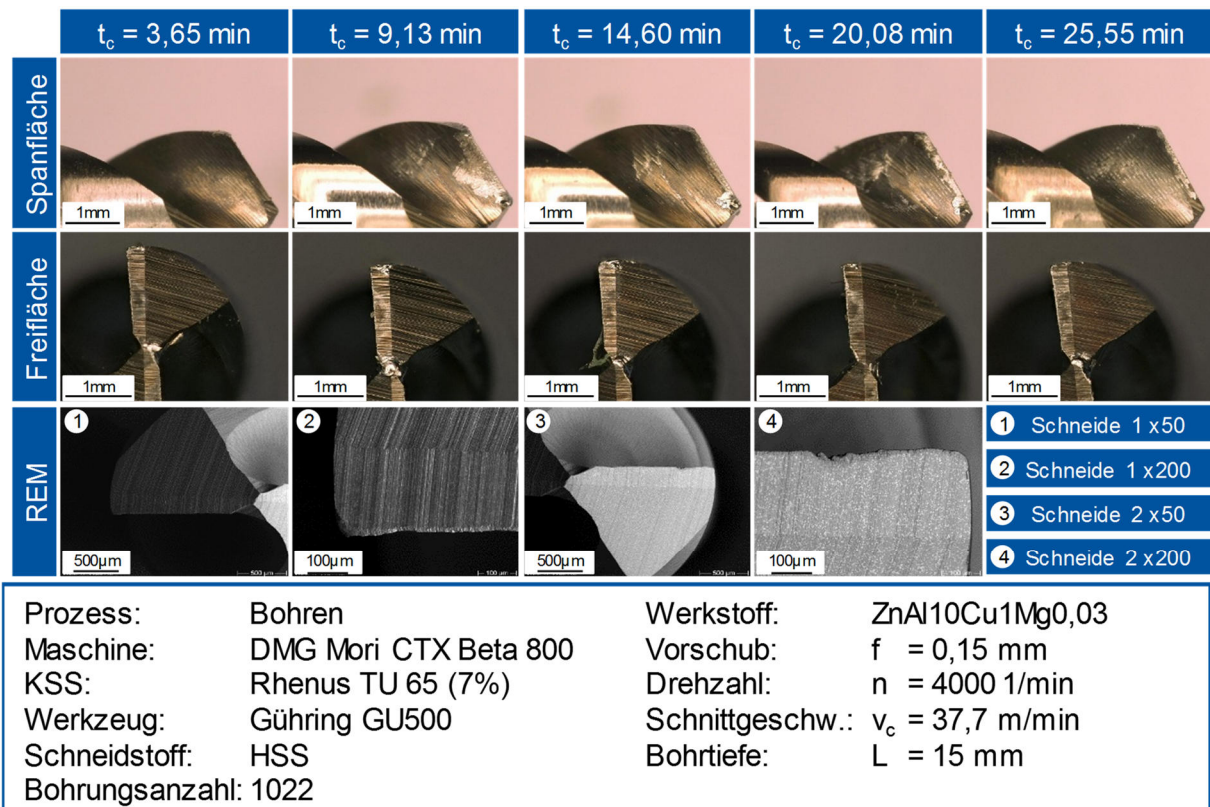


Bild 3.12: Verschleißfortschritt beim Bohren von ZnAl10Cu1Mg0,03

An den Span- und Freiflächen der Werkzeuge bildeten sich Aufschmierungen, die die Verschleißmessung wesentlich erschwerten. Insbesondere im Bereich der Querschneide, in dem eine besonders geringe Schnittgeschwindigkeit vorliegt, bildeten sich größere Aufschmierungen, die nicht entfernt werden konnten, ohne die Werkzeuge zu beschädigen. Aus diesem Grund konnte der zeitliche Verlauf des Werkzeugverschleißes nicht untersucht werden. Um den Werkzeugverschleiß dennoch bewerten zu können, wurde nach Versuchsende der anhaftende Werkstoff durch Ätzen entfernt und der Freiflächenverschleiß im Rasterelektronenmikroskop (REM) gemessen. Bei der Legierung ZnAl4Cu2.5Mg0,03 bildete sich gleichmäßig verteilter Abrasivverschleiß mit einer Verschleißmarkenbreite von $VB = 15 \mu\text{m}$ zum Versuchsende aus. Bei ZnAl10Cu1Mg0,03 entstand ein Ausbruch an einer Schneide mit einem Abstand von etwa 0,5 mm von der Schneidenecke (Bild 3.12, Vergrößerung 4). Die Verschleißmarkenbreite betrug hier $VB = 19 \mu\text{m}$. Im Fall von ZnAl15Cu1Mg0,03 wurde der Versuch nach $t_c = 3,65 \text{ min}$ bzw. ein Wiederholversuch nach $t_c = 9,13 \text{ min}$ aufgrund eines Eckenausbruchs abgebrochen. Die Verschleißmarkenbreite betrug nach $t_c = 9,13 \text{ min}$ $VB = 23 \mu\text{m}$. Aufgrund des hohen Materialaufwandes und der anschließenden umfassenden Standweguntersuchungen (vgl. Kapitel 4.4) wurde kein Wiederholversuch dazu durchgeführt.

Beim Außenlängsdrehen mit Hartmetallwerkzeugen trat der stärkste Werkzeugverschleiß bei der Bearbeitung von ZnAl15Cu1Mg0,03 auf. Deshalb wurden sämtliche nachfolgenden Verschleißuntersuchungen mit diesem Werkstoff durchgeführt, um eine Abschätzung zur sicheren Seite hin vorzunehmen.

Zwischenfazit

Als wesentliche Herausforderungen bei der Zerspanung von Zinkknetlegierungen wurden die Bildung langer Späne beim Drehen und der Spanabtransport beim Bohren identifiziert. Die Zerspanbarkeit beim Drehen und Bohren der untersuchten Zinkknetlegierungen wird maßgeblich durch die starke Adhäsionsneigung zu den Werkzeugen sowie die entstehenden Temperaturen in der Zerspanzone bestimmt wurde. Der Einsatz von Kühlschmiermittel reduzierte die Temperatur in der Zerspanzone, woraus kürzere Späne und eine geringere thermische Werkzeugbelastung resultierten. Auch die Bildung von Scheinspänen konnte so vermieden werden. Ohne Kühlschmiermedium waren hohe Vorschübe notwendig, um kurzbrechende Späne zu erreichen. Der Werkzeugverschleiß beim Bohren und Drehen war gering. Nach der Herstellung von 1022 Bohrungen wurde eine Verschleißmarkenbreite von $VB = 19 \mu\text{m}$ an der Freifläche des HSS-Werkzeugs gemessen.

Die Zerspankraftkomponenten beim Drehen und Bohren waren auf ähnlichem Niveau wie beim bleihaltigen Automatenmessing CuZn39Pb3 und wesentlich niedriger als bei gängigen bleifreien

Kupferwerkstoffen. Daher wurde mit dem pA abgestimmt, bei den weiterführenden Untersuchungen keine weiteren Kraftmessungen durchzuführen.

4 Verbesserung der Zerspanbarkeit durch Analyse der Ursache-Wirkzusammenhänge

Aufbauend auf der in Kapitel 3 beschriebenen Zerspanbarkeitsanalyse wurden im weiteren Verlauf des Projekts Untersuchungen zur Steigerung der Prozesssicherheit und der Produktivität durchgeführt. Dies geschah anhand einer Einflussanalyse der Stellgrößen Schnittparameter, Werkzeuggeometrie, KSS-Strategie und Schneidstoff-Beschichtungskombination auf die Zielgrößen Spanform, Werkzeugverschleiß und Oberflächenrauheit. Ziel war es dabei, für die im pA vertretenen Anwender konkrete Handlungsempfehlungen für das Drehen und Bohren abzuleiten und diese anschließend in Form von Empfehlungen in einem Gestaltungsmodell (Kapitel 5) zusammenzufassen.

4.1 Anpassung der Schnittparameter

Die Schnittparameter bestimmen maßgeblich die im Zerspanprozess erreichte Produktivität und Prozesssicherheit. Ziel dieses Kapitels war es deshalb, Parameterfenster hinsichtlich des Vorschub, der Schnitttiefe und der Schnittgeschwindigkeit zu definieren, in denen unter Einsatz angepasster Werkzeuge eine hohe Produktivität erreicht und gleichzeitig das Auftreten von Aufbau- und Scheinspanbildung vermieden werden kann. Die Optimierung der Schnittparameter erfolgte im Lauf des Projekts fortlaufend und parallel zu den weiteren Schritten der Einflussanalyse.

Die unvorteilhaften Spanformen und Scheinspanbildung beim Außenlängs- und Einstechdrehen waren auf hohe Temperaturen in der Zerspanzone zurückzuführen. Der Einsatz von Kühlschmiermittel ermöglicht potentiell eine Verbesserung der Spanformen und eine Vermeidung von Scheinspanbildung. Es wurden Spanformdiagramme für die drei Werkstoffe ZnAl15Cu1Mg0,03, ZnAl10Cu1Mg0,03 und ZnAl4Cu2,5Mg0,03 erstellt, in denen bei einer konstanten Schnittgeschwindigkeit von $v_c = 200$ m/min die Übergänge zwischen den verschiedenen Spanformen in Abhängigkeit von Schnitttiefe a_p und Vorschub f aufgetragen sind (Bild 4.1). Bei allen drei Werkstoffen entstanden Bandspäne bei niedrigen, Wendelspane bei mittleren und Bröckelspane bei höheren Vorschüben. Die Übergänge zwischen den Spanformen wurden jeweils bei einer konstanten Schnitttiefe durch Anpassung des Vorschubs ermittelt. Im Vergleich zur Trockenbearbeitung (vgl. Bild 3.4) wurden unter Einsatz von Kühlschmierstoff kürzere Spanformen erzeugt. Dies äußerte sich in einer Verschiebung des Übergangs zwischen den Spanformen hin zu niedrigeren Vorschüben, die notwendig waren, um kurzbrüchige

Wendelspäne zu erzeugen. Für Anwender wurde so eine Abschätzung der Spanform in Abhängigkeit vom Vorschub und von der Schnitttiefe ermöglicht.

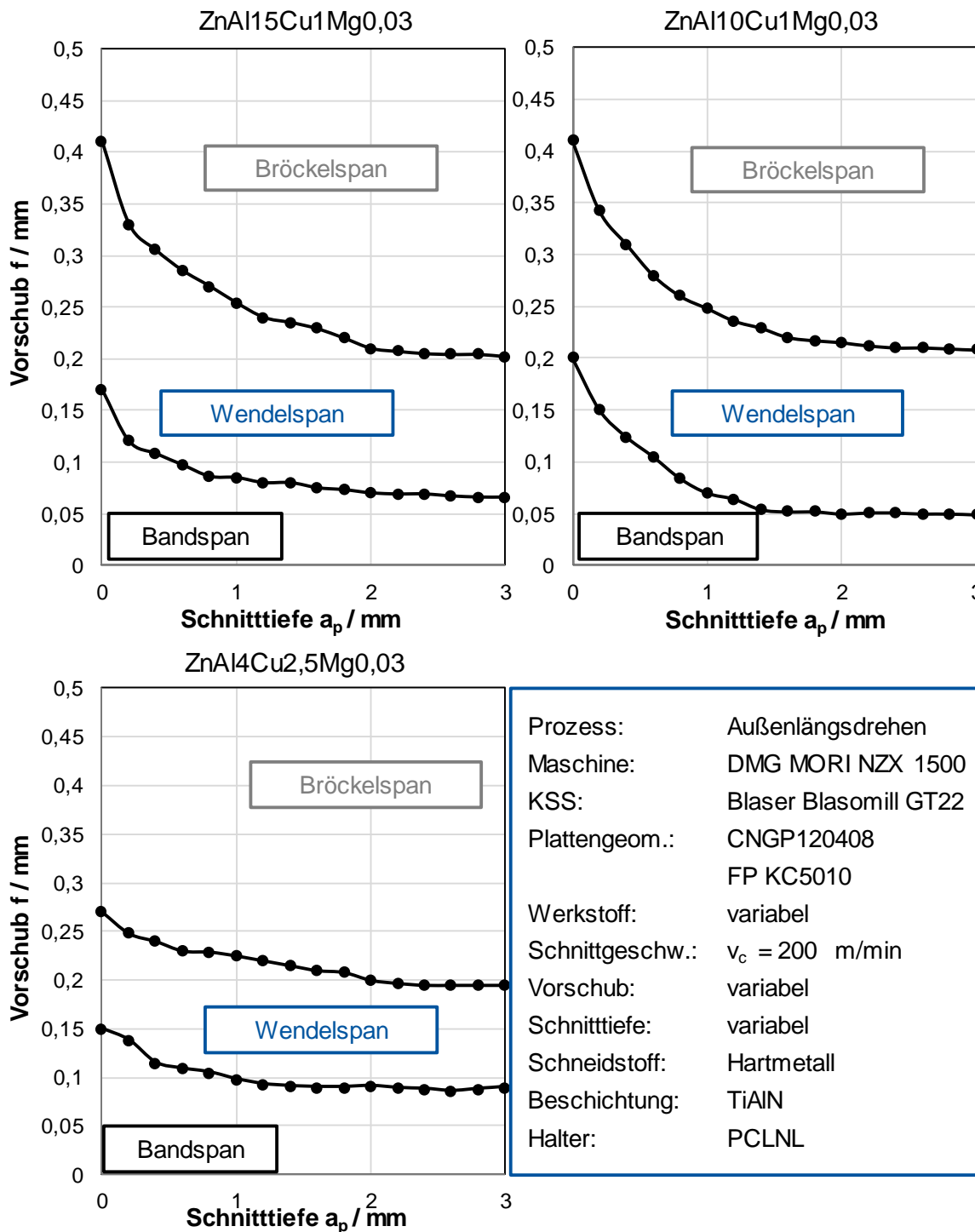


Bild 4.1: Spanformdiagramme beim Außenlängsdrehen

Aufgrund der fortlaufenden Schnittparameteroptimierung sei an dieser Stelle für weitere Analysen zu geeigneten Schnittparameterfenstern auf die folgenden Kapitel zur Analyse des Einflusses der Werkzeuggeometrie (Kapitel 4.2), Kühlschmierstrategie (Kapitel 4.3) und Schneidstoff und

Beschichtung (Kapitel 4.4) sowie auf die daraus abgeleiteten Empfehlungen für die Werkzeug- und Prozessauslegung (Kapitel 5) verwiesen.

4.2 Optimierung der Werkzeuggeometrie

Die Auslegung von Werkzeuggeometrien für das Drehen und Bohren war elementarer Bestandteil des Projekts. Dabei stand die Erzeugung von möglichst kurzbrüchigen Spänen, die leicht abtransportiert werden können und so eine hohe Prozesssicherheit ermöglichen, im Fokus der Untersuchungen. In Abstimmung mit dem pA wurde das Einstechdrehen als kritischster Prozess hinsichtlich der Spanform identifiziert. Da die Einstichbreite der Werkzeugbreite von $b = 3$ mm entspricht und daher nicht variabel ist, konnten keine klassischen Spanformdiagramme mit Variation der Spanungsbreite erzeugt werden. Es wurden daher stets Diagramme erstellt, die den Einfluss des Vorschubs auf die Spanform darstellen (vgl. Bild 4.3 ff.). Die Untersuchungen wurden auf einem Stangendrehzentrum vom Typ NZX 1500 von der Fa. DMG MORI durchgeführt (vgl. Anhang, Bild 8.3).

Einstechdrehen mit Serienwerkzeugen





Einstechwerkzeuge		EG0300M03N00 CL02	EC030M03N00 CF02
			
Spanwinkel γ_0		18°	21°
Freiwinkel α_0		7°	7°
Neigungswinkel λ_s		0°	0°
Schneidstoff		HM, AlTiN besch.	HM, AlTiN besch.
		EG0300M03P04 GUP	EG0300M03P04 GUP
			
Spanwinkel γ_0		15°	15°
Freiwinkel α_0		7°	7°
Neigungswinkel λ_s		0°	0°
Schneidstoff		HM, AlTiN besch.	HM, besch. (KCU 10)

Bild 4.2: Werkzeuggeometrievarianten für das Einstechdrehen von der Fa. Kennametal

Für das Einstechdrehen wurden zunächst Serienwerkzeuge von der Fa. Kennametal mit unterschiedlichen Spanwinkeln und Spanformrillengeometrien verwendet (vgl. Bild 4.2). Die letzten Buchstaben der Werkzeugbezeichnung CL02, CF02 bzw. GUP benennen die Schneidengeometrie. CL02 und CF02 bezeichnen Schneidengeometrien, die in der Mitte der Schneide einen kleineren Spanwinkel aufwiesen als an den Rändern und so den Span entlang

der mittigen Rille abfließen lassen. Sie unterscheiden sich hinsichtlich des Rückenwinkels und der Breite des Spanformers. Die GUP-Variante hat einen Spanwinkel von $\gamma = 15^\circ$ entlang der Haupt- und Nebenschneiden und einen zurückgesetzten Spanformer mit geringerer Höhe als die beiden zuvor beschriebenen Werkzeuge. Diese drei Werkzeuggeometrien wurden mit dem gleichen Schneidstoff, einer AlTiN-beschichteten Sorte mit der Bezeichnung KCU 25 eingesetzt. Im Fall der GUP-Geometrie wurde zusätzlich eine mit einer alternativen TiAlN-Schicht beschichtete Hartmetallsorte mit der Bezeichnung KCU 10 eingesetzt.

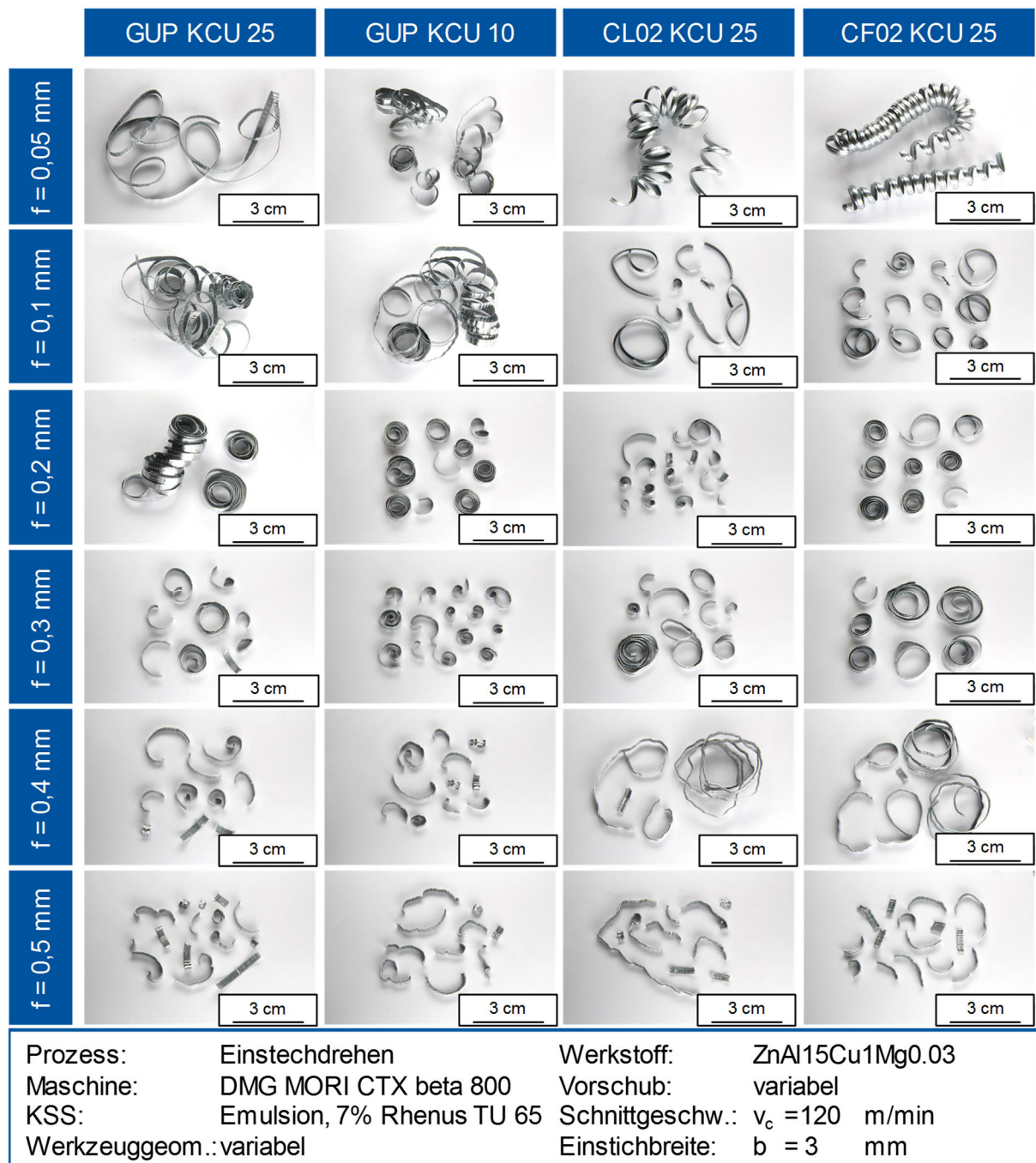


Bild 4.3: Spanformen beim Einstechdrehen mit Serienwerkzeugen bei verschiedenen Vorschüben

Bei einem Vorschub von $f = 0,05$ mm entstehen beim Einstechdrehen von ZnAl15Cu1Mg0,03 bei allen Werkzeuggeometrien lange Späne (vgl. Bild 4.3). Bei einem Vorschub von $f = 0,1$ mm entstehen bei der GUP-Geometrie Bandspäne, während bei CL02 und CF02 Band- bzw. Wendelspanabschnitte entstehen.

Einstechdrehen mit Sonderwerkzeugen

Im Anschluss an die Untersuchungen mit am Markt verfügbaren Werkzeugen wurden ausführliche Untersuchungen mit Einstechdrehwerkzeugen mit systematisch variiert Geometrie durchgeführt. Die Werkzeugrohlinge und -halter wurden von der im pA vertretenen Firma Kennametal bereitgestellt und von der ebenfalls im pA vertretenen Firma Kiehn geschliffen. Im ersten Abschnitt der Untersuchungen wurden Werkzeuge ohne Spanleitstufe mit fünf verschiedenen Spanwinkeln γ_0 eingesetzt (vgl. Bild 4.4).

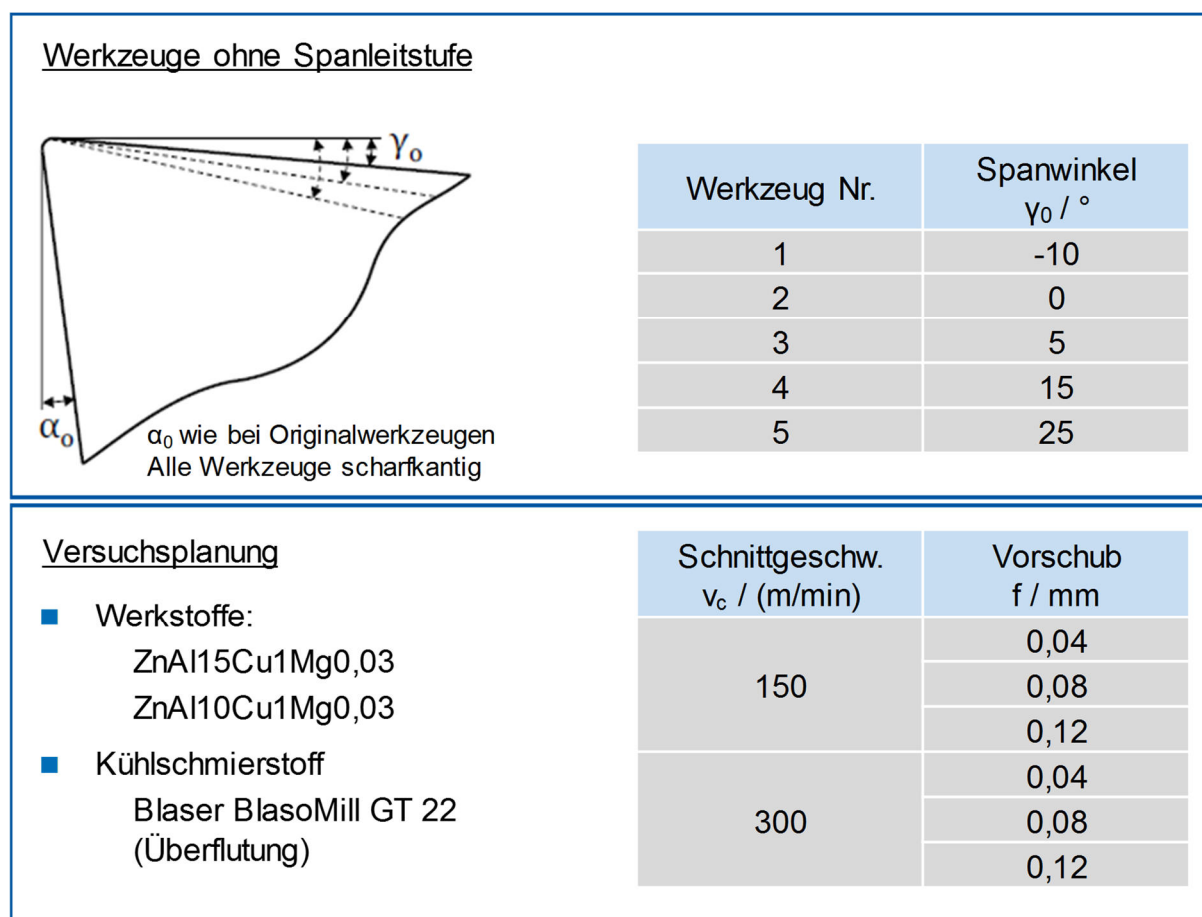


Bild 4.4: Geometrie der Versuchswerkzeuge ohne Spanleitstufe

Mit diesen Werkzeugen wurden Untersuchungen zum Einstechdrehen mit den Werkstoffen ZnAl15Cu1Mg0,03, ZnAl1Cu1Mg0,03 und ZnAl4Cu2,5Mg0,03 durchgeführt. Es wurden jeweils Einstiche mit einer Tiefe von $T = 5$ mm mit den Schnittgeschwindigkeiten $v_c = 150$ m/min und $v_c = 300$ m/min bei drei Vorschüben von $f = 0,04$ mm bis $f = 0,12$ mm mit Überflutungskühlung gefertigt und die Spanformen dokumentiert. Für das Beispiel ZnAl10Cu1Mg0,03 sind die

Ergebnisse der Untersuchungen in Bild 4.5 dargestellt. Bei einem negativem Spanwinkel $\gamma_0 = -10^\circ$ entstanden lange Bandspäne. Bei neutralem Spanwinkel $\gamma_0 = 0^\circ$ wurden lange Bandspäne und Bandspanabschnitte erzeugt. Mit Spanwinkel $\gamma_0 = 5^\circ$ bis $\gamma_0 = 15^\circ$ wurden neben Bandspänen auch lange Wendelspäne, bzw. bei einem Vorschub von $f = 0,12$ mm kurze Spanlocken erzielt. Bei einem Spanwinkel von $\gamma_0 = 25^\circ$ entstanden bei einem Vorschub von $f = 0,12$ mm und einer Schnittgeschwindigkeit von $v_c = 150$ m/min kurze Wendelspanabschnitte ohne Bandspäne. Bei ZnAl15Cu1Mg0,03 entstanden mit Spanwinkel $\gamma_0 = 25^\circ$ auch bei $f = 0,08$ mm Vorschub kurzbrüchige Späne. Bei ZnAl4Cu2,5Mg0,03 wurden mit allen untersuchten Spanwinkeln und Schnittparametern ohne Spanformrille stets ein Anteil an langen Bandspänen erzeugt.

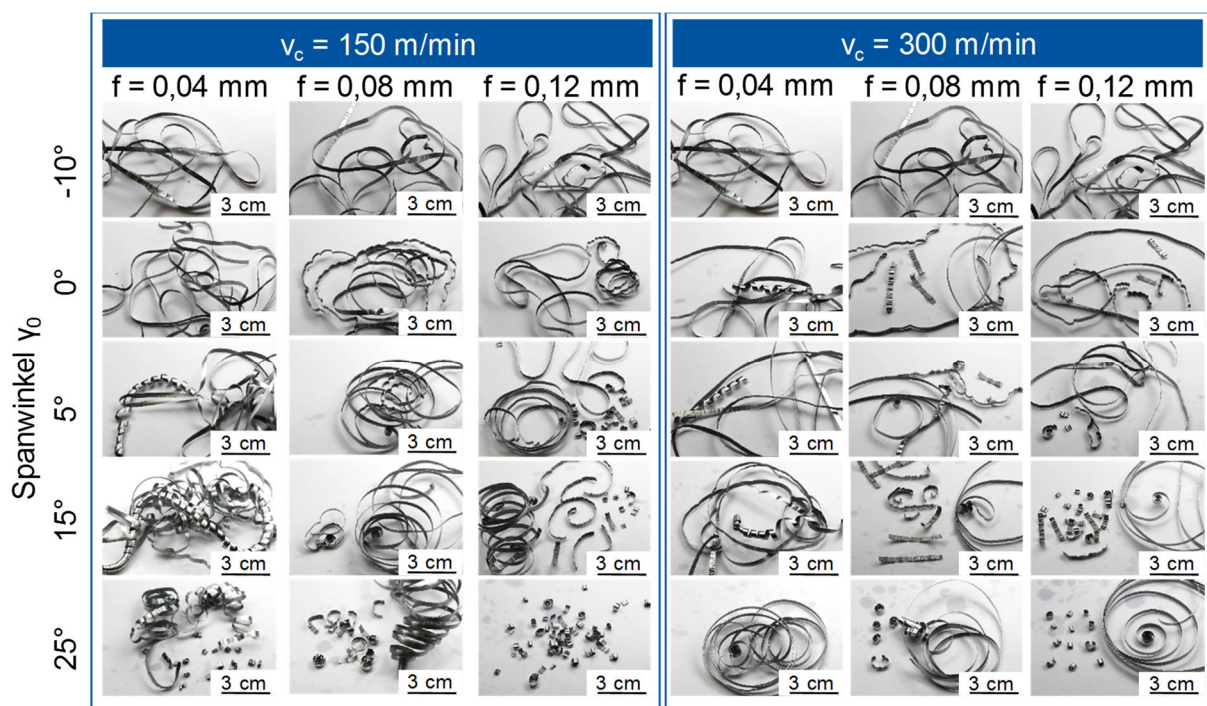


Bild 4.5: Spanformen beim Einstechdrehen von ZnAl10Cu1Mg0,03 mit verschiedenen Spanwinkeln

Im weiteren Verlauf wurden Untersuchungen mit Werkzeugen mit Spanformrille durchgeführt. Dabei wurde die Geometrie der Spanformrille anhand der vier Parameter Spanwinkel γ_0 , Rückenwinkel σ_B , Rillenbreite l_{Bn} und Rillentiefe h_B variiert wie in Bild 4.6 dargestellt. Diese Parameter wurden ausgehend von einer Ausgangskonfiguration (Spanwinkel $\gamma_0 = 15^\circ$, Rückenwinkel $\sigma_B = 40^\circ$, Rillenbreite $l_{Bn} = 0,5$ mm und Rillentiefe $h_B = 0,4$ mm) einzeln in jeweils drei Stufen variiert. Die Spanformen beim Einstechdrehen von ZnAl10Cu1Mg0,03 mit diesen Werkzeugen sind in Bild 8.5 bis Bild 8.8 dargestellt.

Eine Veränderung des Spanwinkels ausgehend von dem Startwert $\gamma_0 = 15^\circ$ ergab keine allgemeine Verbesserung der Spanform (Bild 8.5). In Kombination mit einer Spanformrille erzeugte ein negativer Spanwinkel von $\gamma_0 = -10^\circ$ durchgehend lange Bandspäne. Bei positiven Spanwinkeln von $\gamma_0 = 5^\circ$ bis $\gamma_0 = 25^\circ$ entstanden stets Band- und Bröckelspäne. Da bei $\gamma_0 = 15^\circ$

und $v_c = 150 \text{ m/min}$ auch bei einem niedrigen Vorschub von $f = 0,04 \text{ mm}$ kurzbrüchige Späne entstanden, wurde dieser Wert als Empfehlung für die Auslegung der Spanformrillengeometrie übernommen. Bei einer Schnittgeschwindigkeit von $v_c = 150 \text{ m/min}$ erzielte ein Rückenwinkel von $\sigma_B = 55^\circ$ kürzere Spanformen als der Ausgangswert $\sigma_B = 40^\circ$.

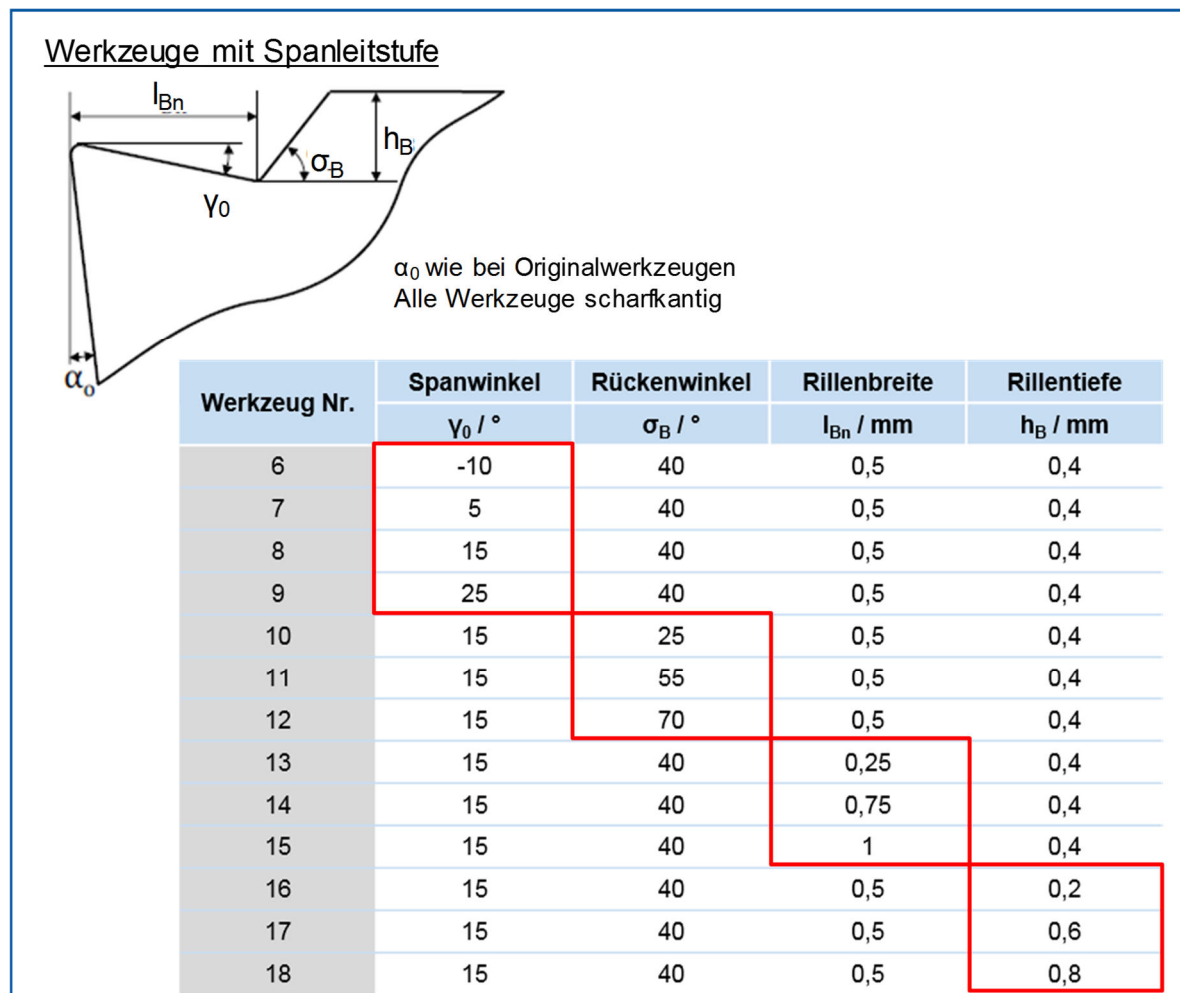


Bild 4.6: Geometrie der Versuchswerkzeuge mit Spanformrinne

Hinsichtlich der Rillenbreite wurde in den Untersuchungen festgestellt, dass eine Verkleinerung der Rillenbreite auf $l_{Bn} = 0,25 \text{ mm}$ ausgehend vom Startwert $l_{Bn} = 0,5 \text{ mm}$ die Bildung langer Bandspäne fördert (Bild 8.7). Oberhalb von $l_{Bn} = 0,5 \text{ mm}$ konnte kein eindeutiger Einfluss festgestellt werden, sodass als Empfehlung eine Mindestrillenbreite von $l_{Bn} = 0,5 \text{ mm}$ abgeleitet wurde. Die Untersuchung des Einflusses der Rillentiefe, bzw. der Höhe des Spanbrechers h_B zeigte, dass die günstigsten, kürzesten Spanformen beim Startwert $h_B = 0,4 \text{ mm}$ erzielt wurden (Bild 8.8). Eine Verbesserung der Spanform wurde weder durch Verringerung noch durch Vergrößerung der Rillentiefe erreicht.

Für die Werkstoffe ZnAl15Cu1Mg0,03 und ZnAl4Cu2,5Mg0,03 wurden Spanformrillen mit der gleichen Vorgehensweise ausgelegt. Die Ergebnisse wurden in den Empfehlungen zur Werkzeug- und Prozessauslegung in Kapitel 5 berücksichtigt und sind in Tabelle 4.1

zusammengefasst. Zur Ableitung der Empfehlungen wurde stets die kürzeste Spanform in Abhängigkeit des untersuchten Parameters ermittelt.

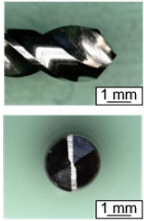
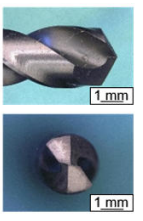
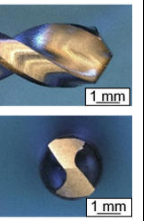
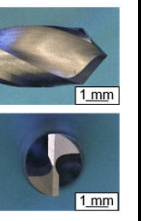
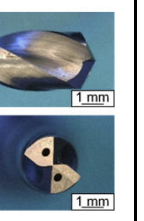
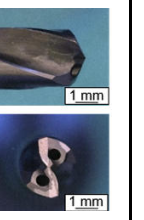
Tabelle 4.1: Zusammenfassung der Empfehlungen für die Spanformrillengeometrie

Werkstoff	ZnAl15Cu1 Mg0,03		ZnAl10Cu1 Mg0,03		ZnAl4Cu2,5Mg0,03	
	150	300	150	300	150	300
Schnittgeschwindigkeit $v_c / \text{m} \cdot \text{min}^{-1}$	150	300	150	300	150	300
Spanwinkel $\gamma_0 / ^\circ$	15	15	15	15	15	15
Rückenwinkel $\sigma_B / ^\circ$	70	40	55	40	55	55
Rillenbreite l_{Bn} / mm	0,5	0,5	0,5	0,5	0,25	0,25
Rillentiefe h_B / mm	0,4	0,2	0,4	0,2	0,4	0,4

Bohren

Beim Bohren von Zinknetlegierungen wurde im Rahmen der Grundlagenuntersuchungen der Spanabtransport als kritisch für das Erreichen einer ausreichenden Prozesssicherheit identifiziert. Bei den Untersuchungen zur Optimierung der Werkzeuggeometrie wurden am Markt verfügbare Serienwerkzeuge von der im pA vertretenen Firma Gühring verwendet, deren Eigenschaften in Tabelle 4.2 zusammengefasst sind. Es wurden in ZnAl15Cu1Mg0,03 Bohrungen mit einem Durchmesser von $D = 3 \text{ mm}$ und einer Tiefe von $L = 15 \text{ mm}$ unter Einsatz von Überflutungskühlung mit ölbasierten Kühlschmierstoff gefertigt. In Abstimmung mit dem pA wurden die Untersuchungen bei Schnittgeschwindigkeiten von $v_c = 25 \text{ m/min}$ und $v_c = 50 \text{ m/min}$ bei Vorschüben von $f = 0,05 \text{ mm}$ bis $f = 0,2 \text{ mm}$ durchgeführt. Die Bohrungen wurden auf einem Stangendrehzentrum NZX 1500 von der Fa. DMG MORI mit angetriebenen Werkzeugen in die Stirnseite der stangenförmigen Halbzeuge eingebracht (vgl. Anhang Bild 8.4).

Tabelle 4.2: Geometrie der Bohrwerkzeuge

Werkzeug	Gühring GU500	Gühring 2458	Gühring 207	Gühring 5517	Gühring 6405	Gühring 8511
Durchmesser D / mm	3	3	3	3	3	3
Bohrer- geometrie						
Spitzen- winkel	118°	130°	130°	118°	140°	140°
Drallwinkel δ	38°	35°	35°	25°	30°	22°
Kühlung	Extern	Extern	Extern	Extern	Innen	Innen
Schneidstoff	HSCO	HSCO	HSS	VHM	VHM	VHM
Beschichtung	blank	Fire	blank	blank	blank	Nano A

Die Spanformen beim Bohren sind in Bild 4.7 zusammengefasst. Unabhängig von der Werkzeuggeometrie wird ein Vorschub von $f \geq 0,1$ mm empfohlen, um eine wesentliche Verbesserung der Spanformen bzw. des Spanabtransportes zu erreichen. Bei höherer Schnittgeschwindigkeit von $v_c = 50$ m/min entstanden wesentlich längere Spanformen, die eine deutlichere Neigung zum Anhaften in den Spannuten aufwiesen. Dies wurde auf hohe Temperaturen in der Zerspanzone zurückgeführt.

Bei Werkzeugen mit Drallwinkel $\delta \geq 30^\circ$ war die Neigung zum Zusetzen der Spankammern deutlich ausgeprägt, weshalb Drallwinkel von etwa $\delta = 25^\circ$ empfohlen werden. Bei $v_c = 25$ m/min zeigten zudem Werkzeuge mit einem Spitzenwinkel von 118° eine Verbesserung der Spanabfuhr.

Die Versuche mit Werkzeug 207 ergaben längere Spanformen als mit Werkzeug GU500, aber es kam nicht zum Anhaften der Späne in der Spannute. Dies ist auf die größere Spannute zurückzuführen. Als konkrete Werkzeugempfehlungen wurden darauf aufbauend der HSS-Bohrer 207 und der Hartmetallbohrer 5517 der Fa. Gühring abgeleitet. Diese wurden in einem Verifizierungsversuch eingesetzt, der konstante Spanformen ohne messbaren Werkzeugverschleiß aufwies (Anhang Bild 8.9).

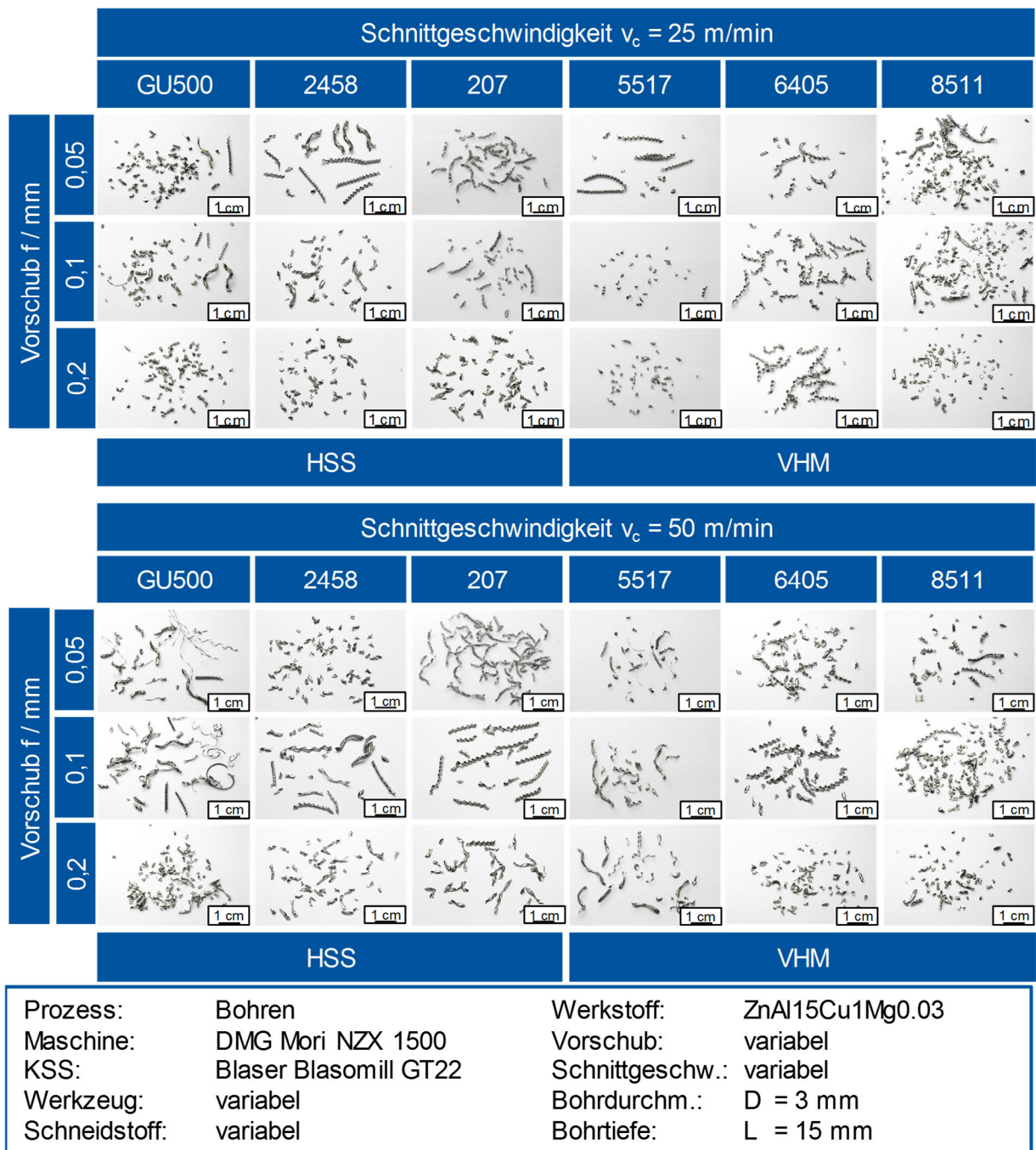


Bild 4.7: Spanformen beim Bohren in Abhängigkeit von Schnittgeschwindigkeit und Vorschub

4.3 Optimierung der Kühlschmierstrategie

Die Auswahl einer geeigneten Kühlschmierstrategie kann einen wesentlichen Beitrag zur Verbesserung der Spanformen und des Spanabtransports leisten und so zur Steigerung der Prozesssicherheit beitragen. Im Rahmen des Projekts wurde die überflutende und direkte Zufuhr von ölbasiertem Kühlschmierstoff sowie die Minimalmengenschmierung (MMS) untersucht. Als Kühlschmiermedien wurden der ölbasierte Kühlschmierstoff BlasoMill GT 22 von der Fa. Blaser Swisslube und ein von der im pA vertretenen Firma Rother Technologie speziell für die Zinkzerspanung entwickeltes Öl für die Untersuchungen mit Minimalmengenschmierung verwendet. Als Minimalschmiersystem wurde die von der Fa. Rother Technologie entwickelte Aerosoltrockenschmierung (ATS) mit dem Aerosol Master 4000 cryolub als Zuführeinheit verwendet. Sämtliche Untersuchungen wurden auf einem Stangendrehzentrum vom Typ DMG MORI NZX 1500 durchgeführt.

Bohren

Für das Bohren wurden die in Tabelle 4.2 vorgestellten Bohrwerkzeuge 6405 und 8511 mit innerer Kühlschmierstoffzufuhr von der im pA vertretenen Firma Gühring verwendet. Wie zuvor wurden Bohrungen mit einem Durchmesser von $D = 3 \text{ mm}$ und einer Tiefe von $L = 15 \text{ mm}$ gefertigt. Bei Vorschüben von $f = 0,05 \text{ mm}$ bis $f = 0,2 \text{ mm}$ und Schnittgeschwindigkeiten von $v_c = 25 \text{ m/min}$ und $v_c = 50 \text{ m/min}$ wurden die Spanformen bzw. der Spanabtransport beim Einsatz verschiedener Kühlschmierstrategien untersucht.

In Bild 4.8 wurde die Überflutungskühlung der inneren KSS- Zufuhr mit einem Druck von $p = 15 \text{ bar}$ bei einer Schnittgeschwindigkeit von $v_c = 50 \text{ m/min}$ gegenübergestellt. Ein solcher Druck kann mit modernen Drehzentren häufig ohne Zusatzaggregate realisiert werden. Durch Einsatz der inneren KSS-Zufuhr wurden kürzere Späne erzeugt, die besser abtransportiert werden konnten. Besonders auffällig war dies bei Werkzeug 8511 bei einem hohen Vorschub $f = 0,2 \text{ mm}$ und bei Werkzeug 6405 bei einem geringen Vorschub von $f = 0,05 \text{ mm}$.

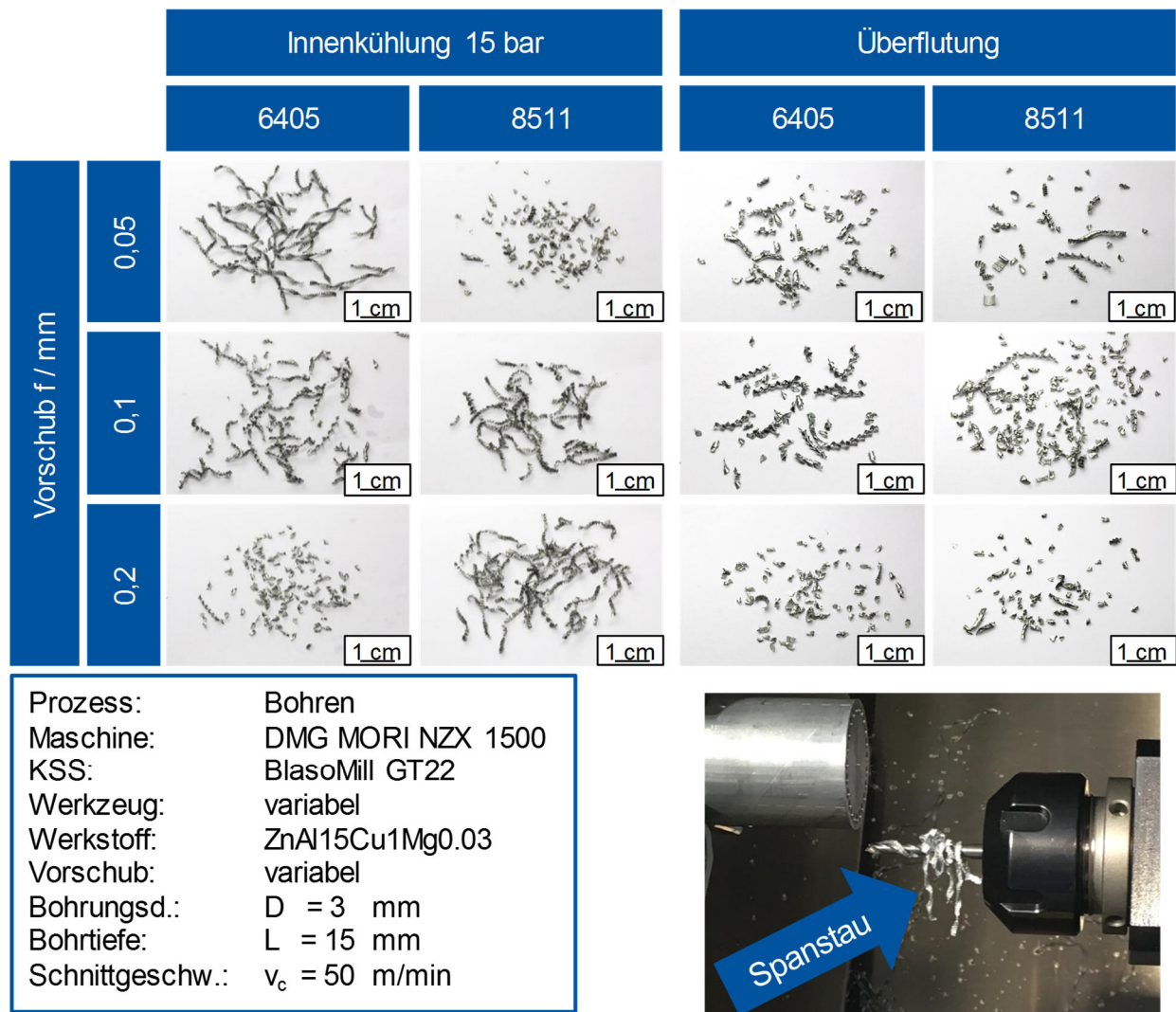


Bild 4.8: Vergleich der Spanformen beim Bohren von ZnAl15Cu1Mg0,03 mit Überflutungskühlung und innerer KSS-Zufuhr bei 15 bar und Spanstau bei geringem Vorschub mit Überflutungskühlung

Der Einfluss des KSS-Zufuhrdruckes auf die Spanform ist in Bild 4.9 dargestellt. Es wurden die drei Druckstufen $p = 15$ bar, $p = 40$ bar und $p = 70$ bar untersucht. Eine Steigerung des Drucks bewirkte bei einem niedrigen Vorschub von $f = 0,05$ mm eine geringe Verbesserung der Spanformen. Bei $v_c = 50$ m/min wurden bei einem Druck von $p = 70$ bar noch teilweise längere Späne erzeugt. Diese hafteten nicht in der Spannut an und mussten somit nicht manuell entfernt werden. Bei Drücken von $p \geq 40$ bar und Vorschüben von $f \geq 0,1$ mm entstanden mit Werkzeug 6405 kürzere Späne als mit dem Werkzeug 8511.

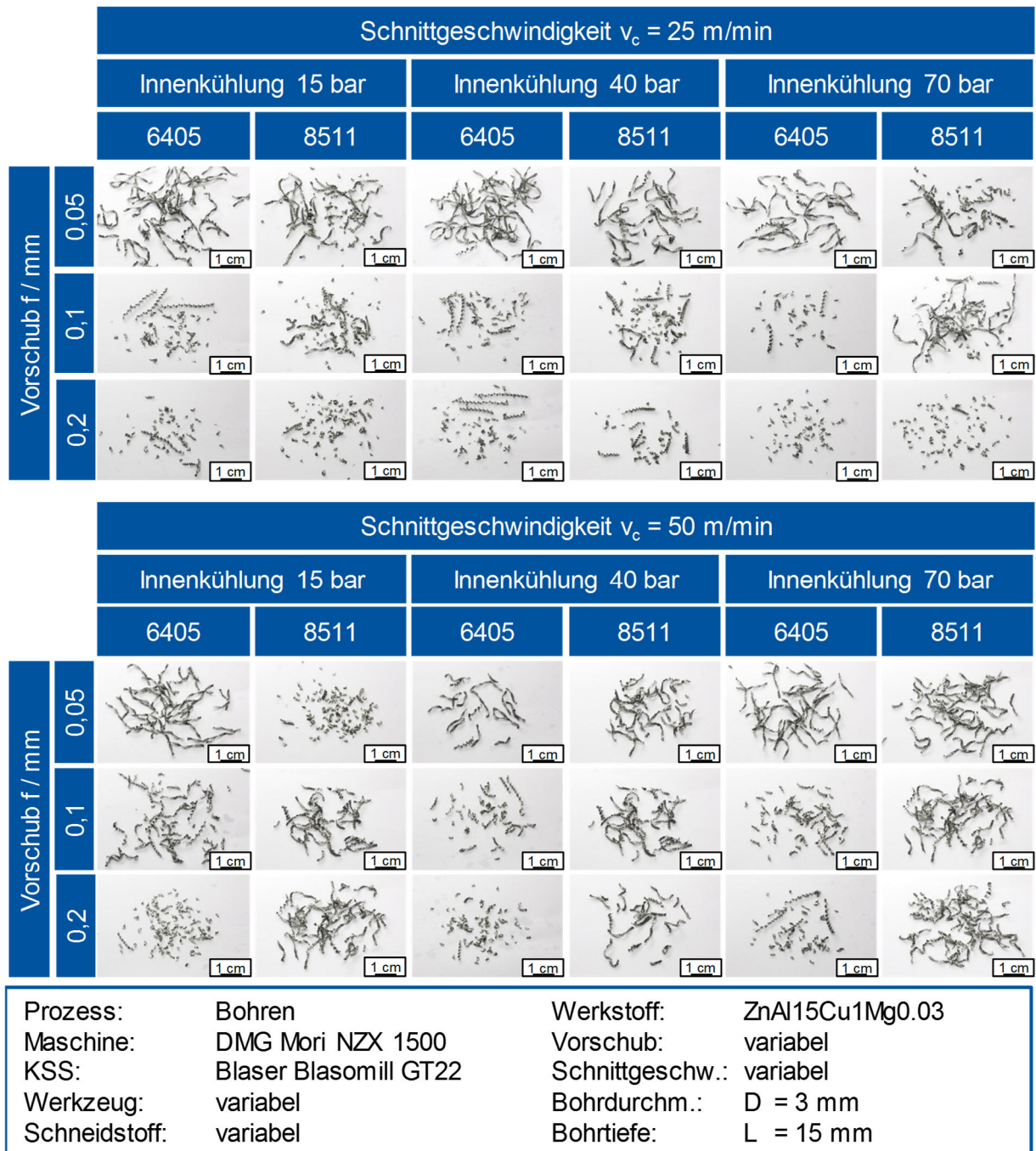


Bild 4.9: Spanformen beim Bohren mit unterschiedlichen Werkzeuggeometrien und KSS-Zufuhrdrücken

Im Folgenden wurde der Einsatz der Aerosoltrockenschmierung der Fa. Rother Technologie untersucht. Die Aerosoltrockenschmierung ist ein System für die Minimalmengenschmierung, das sich durch eine besonders feine Verteilung der Ölpartikel im Aerosol und damit eine stabile und homogene Benetzung der Werkzeugschneide ermöglicht. Dabei traten lange Späne auf, die an den Werkzeugen anhafteten und manuell entfernt werden mussten (Bild 4.11). Bei $v_c = 50$ m/min und $f = 0,05$ mm war die thermische Entfestigung des Werkstücks so hoch, dass die Bohrung den Rand der Stange ausbeulte und die Späne als pfropfenförmiges Gebilde am Werkzeug anhafteten (Bild 4.10). Bei $v_c = 50$ m/min und einem höheren Vorschub von $f = 0,2$ mm kam es zum Werkzeugbruch aufgrund von verklemmenden Spänen. Diese Phänomene deuteten

darauf hin, dass die Minimalmengenschmierung keine ausreichende Kühlung der Zerspanzone gewährleisten konnte. So entstanden lange Späne und das Werkstück wurde geschädigt.

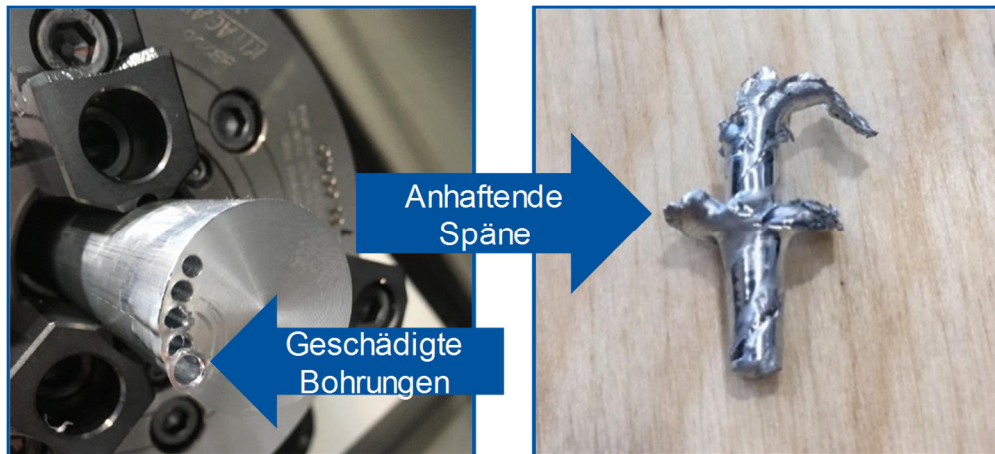


Bild 4.10: Thermisch geschädigte Bohrungen und aneinanderhaftende Späne beim Bohren mit Minimalmengenschmierung (Rother Technologie ATS)

		$v_c = 25 \text{ m/min}$		$v_c = 50 \text{ m/min}$	
		6405	8511	6405	8511
Vorschub f / mm	0,05				
	0,1				
	0,2			Werkzeugbruch	

Prozess:	Bohren	Werkstoff:	ZnAl15Cu1Mg0.03
Maschine:	DMG MORI NZX 1500	Vorschub:	variabel
KSS:	BlasoMill GT22	Schnittgeschw.:	variabel
Werkzeug:	variabel	Bohrdurchm.:	D = 3 mm
Schneidstoff:	variabel	Bohrtiefe:	L = 15 mm

Bild 4.11: Spanformen beim Bohren mit Minimalmengenschmierung (Rother Technologie ATS)

Drehen

Für das Außenlängs- und Einstechdrehen wurden Untersuchungen mit Trockenbearbeitung, Überflutungskühlung, direkter Zufuhr von Kühlschmierstoff mit verschiedenen Drücken sowie mit Minimalmengenschmierung (Rother Technologie Aerosolschmierung ATS) durchgeführt. Dabei wurden Spanform, Oberflächenrauheit und Werkzeugverschleiß bewertet. Sämtliche Untersuchungen wurden auf dem Stangendrehzentrum vom Typ NZX 1500 der Fa. DMG MORI durchgeführt (vgl. Anhang, Bild 8.3). Die direkte Zufuhr des Kühlschmierstoffs erfolgte beim Einstechdrehen über den Werkzeughalter aus der Serie „beyond evolution“ der im pA vertretenen Firma Kennametal. Beim Außenlängsdrehen wurden Schafthalter aus der Serie JHP der Fa. Iscar für die direkte Zufuhr genutzt.

Für das Außenlängsdrehen wurde je ein Anwendungsfall zum Schruppen und zum Schlichten untersucht. Die Schnittdaten und Werkzeuge sind in Tabelle 4.3 zusammengefasst. Sämtliche Werkzeuge wurden von der im pA vertretenen Fa. Kennametal bereitgestellt. Die Oberflächenrauheiten wurden mit einem mobilen Tastschnittgerät vom Typ MarSurf Perthometer M2 von der Firma Mahr gemessen.

Tabelle 4.3: Versuchsplan für die Optimierung der Kühlschmierstrategie beim Drehen

KSS-Strategie	Anwendungsfall	Werkzeug	Schnittgeschw. $v_c / m \cdot \text{min}^{-1}$	Schnitttiefe a_p / mm	Vorschub f / mm	Bewertungskriterien
Trocken Überflutung innere Zufuhr: 15 bar 40 bar 70 bar	Schruppen	CNGP 120408 KC 5410	200	2 1	0,1 0,2	Oberflächenrauheit Spanform
	Schlichten	CNMG 120408FP KC5010	200	0,5 0,25	0,1 0,05	Oberflächenrauheit Spanform
	Einstechen	CL02	150	3	0,1	Spanform

Die Oberflächenrauheiten wurden anhand des Mittenrauheitswertes R_a und der Rautiefe R_z für jedes Bearbeitungsszenario mit den verschiedenen Kühlschmierstrategien bewertet. Bild 4.12 und Bild 4.13 zeigen die Mittenrauheitswerte R_a für das Schrupp- und Schlichtszenario. Die vollständigen Messwerte für jeden Werkstoff wurden zwecks einer besseren Übersichtlichkeit im Anhang hinterlegt (vgl. Bild 8.11 ff.). Hinsichtlich der Oberflächenrauheit wurden erhebliche Unterschiede zwischen den verschiedenen Werkstoffen und KSS-Strategien beobachtet. Beim Einstechdrehen mit Minimalmengenschmierung (Rother Technologie ATS) traten bei allen Werkstoffen

verklemmte Späne an den Werkzeugen auf, so dass die Versuche abgebrochen werden mussten. Kurzbrüchige Späne konnten nur durch den Einsatz von direkter KSS-Zufuhr erzielt werden. Dazu reichte bei ZnAl15Cu1Mg0,03 der Normaldruck ($p = 15 \text{ bar}$) zum Erzielen kurzbrüchiger Späne aus, während bei ZnAl4Cu2,5Mg0,03 ein erhöhter Druck von $p = 70 \text{ bar}$ erforderlich war.

Bei ZnAl15Cu1Mg0,03 erzielte die direkte Zufuhr mit Normaldruck ($p = 15 \text{ bar}$) die geringsten Oberflächenrauheiten. Es wurde angenommen, dass bei höheren Zufuhrdrücken die Späne auf die Werkstückoberfläche aufprallen und diese schädigen. Eine wesentliche Verbesserung der Spanform wurde erst mit Drücken ab $p = 40 \text{ bar}$ erreicht. Beim Schlichten erzielte der Einsatz von Minimalmengenschmierung vorteilhafte, kurze Spanformen.

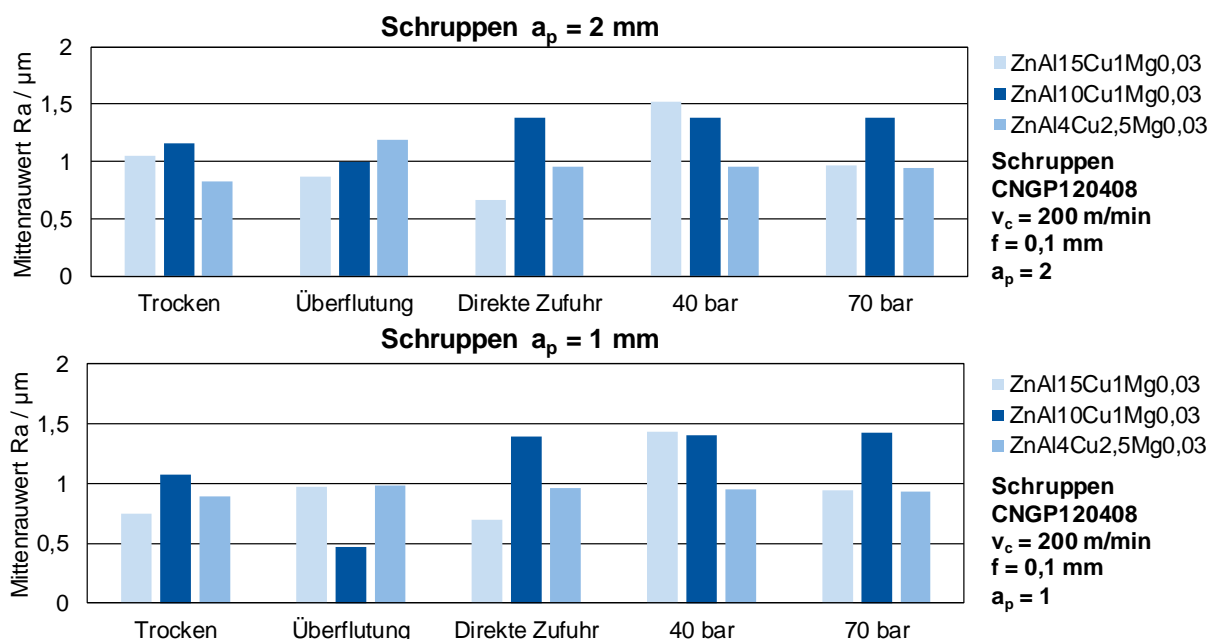


Bild 4.12: Oberflächenrauheiten beim Außenlängsdrehen mit dem Schruppszenario

Bei ZnAl10Cu1Mg0,03 wurden durch Einsatz von Überflutungskühlung in allen Szenarien geringe Oberflächenrauheiten erreicht. Die Spanform verbesserte sich durch den Einsatz von Hochdruckkühlschmierstoffzufuhr ab $p = 40 \text{ bar}$ wesentlich. Dies geht jedoch mit einer höheren Oberflächenrauheit einher. Beim Schlichten mit geringer Schnitttiefe von $a_p = 0,25 \text{ mm}$ wurden durch den Einsatz von ATS kurzbrüchige Späne erzeugt.

Die geringsten Oberflächenrauheiten beim Drehen von ZnAl4Cu2,5Mg0,03 wurden mit Trockenbearbeitung erzielt. Die Spanformen waren dabei lang und daher für den Einsatz in der Praxis unvorteilhaft. Durch direkte KSS-Zufuhr mit Normaldruck konnten im Schlichtszenario wesentlich bessere Spanformen bei geringfügig höherer Oberflächenrauheit erreicht werden.

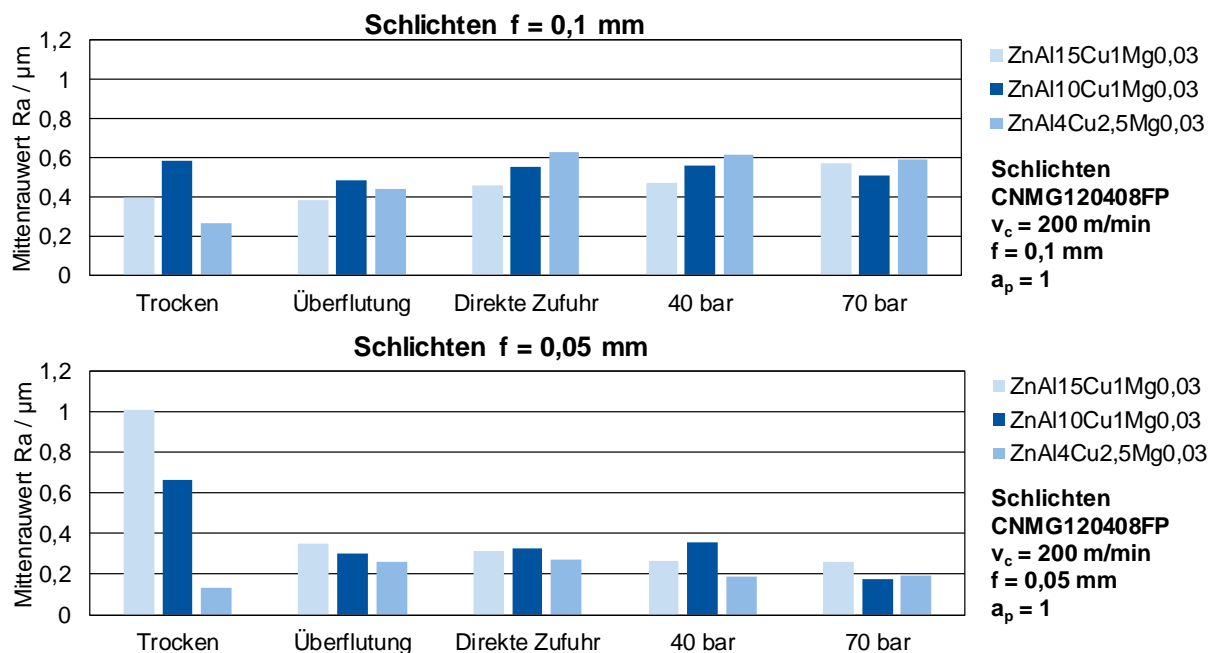


Bild 4.13: Oberflächenrauheiten beim Außenlängsdrehen mit dem Schlichtszenario

Verschleißuntersuchungen

Zur Bewertung des Werkzeugverschleißes in Abhängigkeit von der KSS-Strategie wurden Verschleißuntersuchungen beim Außenlängsdrehen von ZnAl15Cu1Mg0,03 durchgeführt. Die Schnittgeschwindigkeit betrug dabei $v_c = 200 \text{ m/min}$, der Vorschub $f = 0,3 \text{ mm}$ und die Schnitttiefe $a_p = 1 \text{ mm}$. Nach einer Schnittzeit von $t_c = 150 \text{ min}$ wurde der Versuch abgebrochen. Da die anhaftenden Aufbauschneiden die Verschleißmarken überdeckten war keine valide Messung mittels Auflichtmikroskopie möglich. Nach Versuchsende wurden die Anhaftungen durch Ätzen entfernt und der Werkzeugverschleiß wurde im REM gemessen. Die REM-Aufnahmen nach Versuchsende der Versuchswerkzeuge vom Typ CNMG120408FP KC5010 von der Fa. Kennametal sind in Bild 4.14 dargestellt. Bei Einsatz von Überflutungskühlung trat geringer Freiflächenverschleiß mit einer Verschleißmarkenbreite von $VB = 60 \mu\text{m}$ auf. Die Beschichtung war an der Spanfläche geschädigt. Dies wurde auf adhäsiven Verschleiß zurückgeführt. Bei direkter KSS-Zufuhr betrug die Verschleißmarkenbreite an der Freifläche ebenfalls $VB = 60 \mu\text{m}$. Es trat eine Schichtschädigung an der Schneidkante und auf der Spanfläche auf. Bei direkter Zufuhr mit erhöhtem Druck von $p = 40 \text{ bar}$ und $p = 70 \text{ bar}$ wurde jeweils eine etwas geringere Verschleißmarkenbreite von $VB = 50 \mu\text{m}$ gemessen. Bei $p = 40 \text{ bar}$ wurde die Beschichtung nicht geschädigt. Bei $p = 70 \text{ bar}$ platze die Schicht an der Schneidkante ab und es entstand eine spanflächenseitige Furche. Bei Einsatz von ATS/MMS wurde mit $VB = 75 \mu\text{m}$ die größte Verschleißmarkenbreite gemessen. Auf der Spanfläche waren Schichtschädigungen sowie anhaftender Werkstoff zu erkennen. Auch an der Freifläche bildete sich eine Schicht aus anhaftendem Werkstoff. Dies deutete auf eine nicht ausreichende Kühl- und Schmierwirkung bei Einsatz von Minimalmengenschmierung hin.

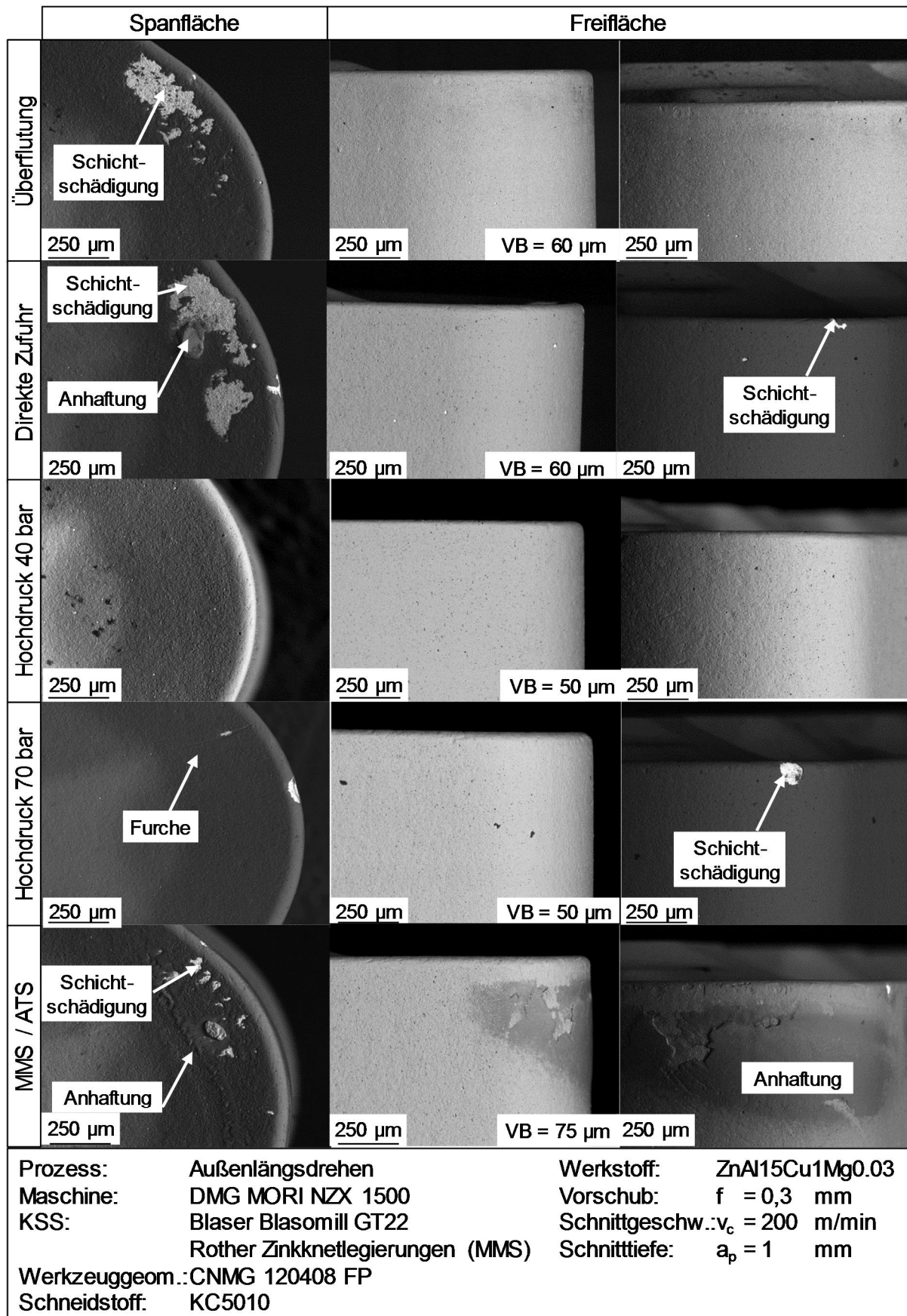


Bild 4.14: Werkzeugverschleiß beim Außenlängsdrehen mit verschiedenen KSS-Strategien nach einer Schnittzeit von 150 min

Fazit

Der Auswahl einer geeigneten Kühlschmierstrategie beim Drehen und Bohren von Zinkknetlegierungen eine maßgebliche Bedeutung zur Steigerung der Prozesssicherheit zukommt. Die direkte Zufuhr von Kühlschmierstoff erzielte eine wesentliche Verbesserung der Spanformen und des Spanabtransports beim Drehen und Bohren. Bei Prozessparametern, bei denen lange Bandspäne auftraten konnten kurzbrüchige Späne erzeugt werden und somit das prozesssicher anwendbare Parameterfenster vergrößert werden. Durch die Kühlwirkung wurde eine thermische Entfestigung des Werkstoffs verhindert und so die Neigung zur Bildung von Anhaftungen, bzw. Aufbauschneiden reduziert. Die mechanische Wirkung der direkten KSS-Zufuhr wirkte sich positiv auf den Spanbruch und den Spanabtransport aus. Insbesondere beim Bohren und beim Einstechdrehen mussten Späne aus engen Kavitäten abtransportiert werden, was durch den Einsatz von direkter KSS-Zufuhr wesentlich verbessert wurde. Verschleißuntersuchungen zeigten, dass bei einem Druck von $p = 40$ bar adhäsive Schädigung der Spanfläche vermieden und ein geringer Freiflächenverschleiß erreichbar ist.

4.4 Anpassung von Schneidstoff und Beschichtung

Die Auswahl von Schneidstoff und Beschichtung beeinflusst primär die Werkzeugstandzeit und hat aufgrund der Reibverhältnisse in der Zerspanzone ebenfalls Einfluss auf die Prozesssicherheit. Im Rahmen dieses Projektes wurden Untersuchungen zum Einfluss von Schneidstoff und Beschichtung beim Drehen und Bohren durchgeführt. Dabei wurden die Spanform, die Oberflächenrauheit und der Werkzeugverschleiß bewertet.

Drehen

Für die Analyse des Drehprozesses wurden Werkzeuge von der im pA vertretenen Firma Kennametal verwendet (Bild 4.15). Drei der Versuchswerkzeuge hatten die Geometrie CNGP 120408 mit einem unbeschichteten Hartmetall (K313), einer TiB_2 -Beschichtung und einer von der Fa. CemeCon aufgetragenen Diamantbeschichtung mit der Bezeichnung CCDia FiberSpeed. Weiterhin wurde das Werkzeug CNMS 120404FST KD1400 aus polykristallinem Diamant eingesetzt. Die Schneidteilgeometrie entspricht im Wesentlichen der der CNGP 120408 Werkzeuge, lediglich der Eckenradius ist mit $r_\epsilon = 0,4$ mm kleiner als bei den CNGP 120408 ($r_\epsilon = 0,8$ mm) und es weist keine Spanformrille auf.

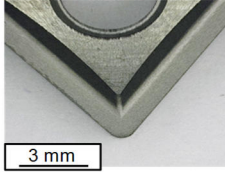
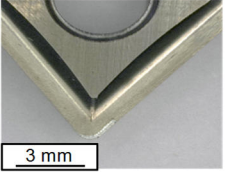
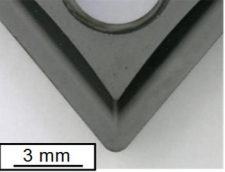
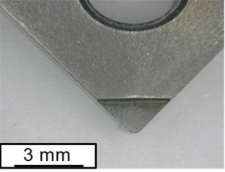
Bezeichnung	CNGP120408 K313	CNGP120408 KC5410	CNGP120408 CCDia	CNMS120404FST KD1400
				
	3 mm	3 mm	3 mm	3 mm
Spanwinkel γ_0	10°	10°	10°	10°
Freiwinkel α_0	0°	0°	0°	0°
Neigungswinkel λ_s	-6°	-6°	-6°	-6°
Schneidstoff	HM, unbesch.	HM, TiB ₂ besch.	HM, CCDia FiberSpeed	PKD
SK-Radius r_β	< 10 μm	< 10 μm	< 10 μm	< 10 μm

Bild 4.15: Versuchswerkzeuge für das Drehen mit unterschiedlichen Schneidstoffen und Beschichtungen

In Bild 4.16 sind Spanformen beim Außenlängsdrehen mit den drei Serienwerkzeugen bei verschiedenen Vorschüben dargestellt. Die Schnitttiefe betrug $a_p = 1 \text{ mm}$ und die Schnittgeschwindigkeit $v_c = 200 \text{ m/min}$. Das unbeschichtete und das TiB₂-beschichtete Werkzeug weisen die gleiche Spanformrillengeometrie auf. Ein Unterschied hinsichtlich der Spanform ist zwischen diesen beiden Werkzeugen nicht zu erkennen. Das PKD-Werkzeug ohne definierte Spanformrillengeometrie erzeugt bei einem Vorschub von $f = 0,1 \text{ mm}$ kürzere Späne, bei größeren Vorschüben fallen die Spanformen jedoch länger als bei den beiden anderen Werkzeugen aus. Ein möglicher Grund dafür ist die fehlende Spanformrille, weshalb kein eindeutiger Einfluss des Schneidstoffs auf die Spanform nachzuweisen war. Untersuchungen mit variabler Schnittgeschwindigkeit ergaben ein ähnliches Bild (vgl. Anhang, Bild 8.17). Untersuchungen zur Oberflächenrauheit zeigten nur minimale Unterschiede zwischen dem unbeschichteten und dem TiB₂-beschichteten CNGP-Werkzeug. Das PKD-Werkzeug erzeugte trotz des kleineren Eckenradius geringere Messwerte bei den Rauheitskennwerten Ra und Rz. Dies wurde auf eine geringere Reibung an der Freifläche und somit weniger Schädigung der neu erzeugten Werkstückoberfläche zurückgeführt.

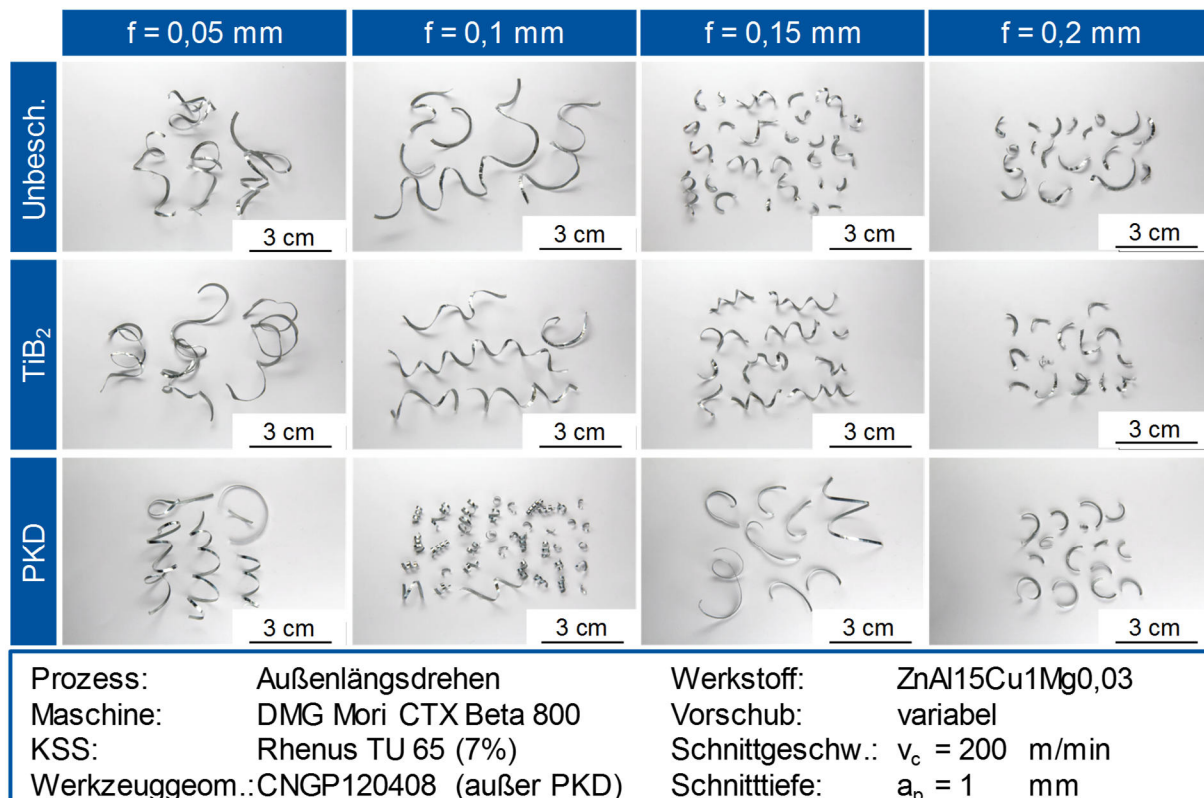


Bild 4.16: Spanformen beim Außenlängsdrehen mit verschiedenen Schneidstoffen

In Standweguntersuchungen wurde das Einsatzverhalten der verschiedenen Schneidstoffe und Beschichtungen beim Außenlängsdrehen von ZnAl15Cu1Mg0,03 untersucht. Für eine Schnittzeit von $t_c = 500$ min wurden die Werkzeuge mit einer Schnittgeschwindigkeit von $v_c = 200$ m/min, einem Vorschub von $f = 0,3$ mm und einer Schnitttiefe von $a_p = 1$ mm eingesetzt. Anschließend wurden die Wendeschneidplatten vorsichtig durch Ätzen von Aufschmierungen befreit und der Verschleiß im REM vermessen.

Nach dieser Schnittzeit wies das unbeschichtete Werkzeug eine Verschleißmarkenbreite von $VB = 80$ μm auf (Bild 4.17). Es entstand eine Verschleißkerbe an der Schneidenecke, die auf abrasiven Verschleiß zurückgeführt wurde. Auf der Spanfläche und an der Freifläche in der Nähe der Schneidkante waren Reste von anhaftendem Werkstoff zu erkennen. Das mit TiB₂ beschichtete Werkzeug hatte eine wesentlich geringere Verschleißmarkenbreite von nur $VB = 20$ μm und wesentlich weniger anhaftenden Werkstoff. Die Schicht war entlang der Schneidkante aufgrund abrasiven Verschleißes freigelegt. Die nachträglich mit einer Diamantschicht versehene Wendeschneidplatte war mit einer Verschleißmarkenbreite von $VB = 40$ μm verschliffen. Die Schicht platzte in einem größeren Bereich um die Schneide herum ab. Dies war auf eine nicht ausreichende Schichthaftung zurückzuführen, da das Substrat für den Beschichtungsprozess keine geeignete Vorbehandlung erfahren hat, da das Werkzeug extern beschichtet wurde und der Beschichtungsprozess nicht getestet werden konnte. Das Fehlen von anhaftendem Werkstoff wies auf eine geringe Adhäsionsneigung zwischen der Schicht und dem

Zinkwerkstoff hin. Bei dem Werkzeug aus polykristallinem Diamant entstand kein sichtbarer Abrasivverschleiß, es hatte jedoch einen kleinen Ausbruch an der Schneidenecke. Dies deutet auf eine nicht ausreichende Zähigkeit des Schneidstoffs hin. Auch bei diesem Schneidstoff haftete kaum Material an. Eine Messung der Oberflächenrauheit mit verschlissenenem Werkzeug nach $t_c = 500$ min Schnittzeit ergab keine signifikante Steigerung der Oberflächenrauheit aufgrund von Werkzeugverschleiß.

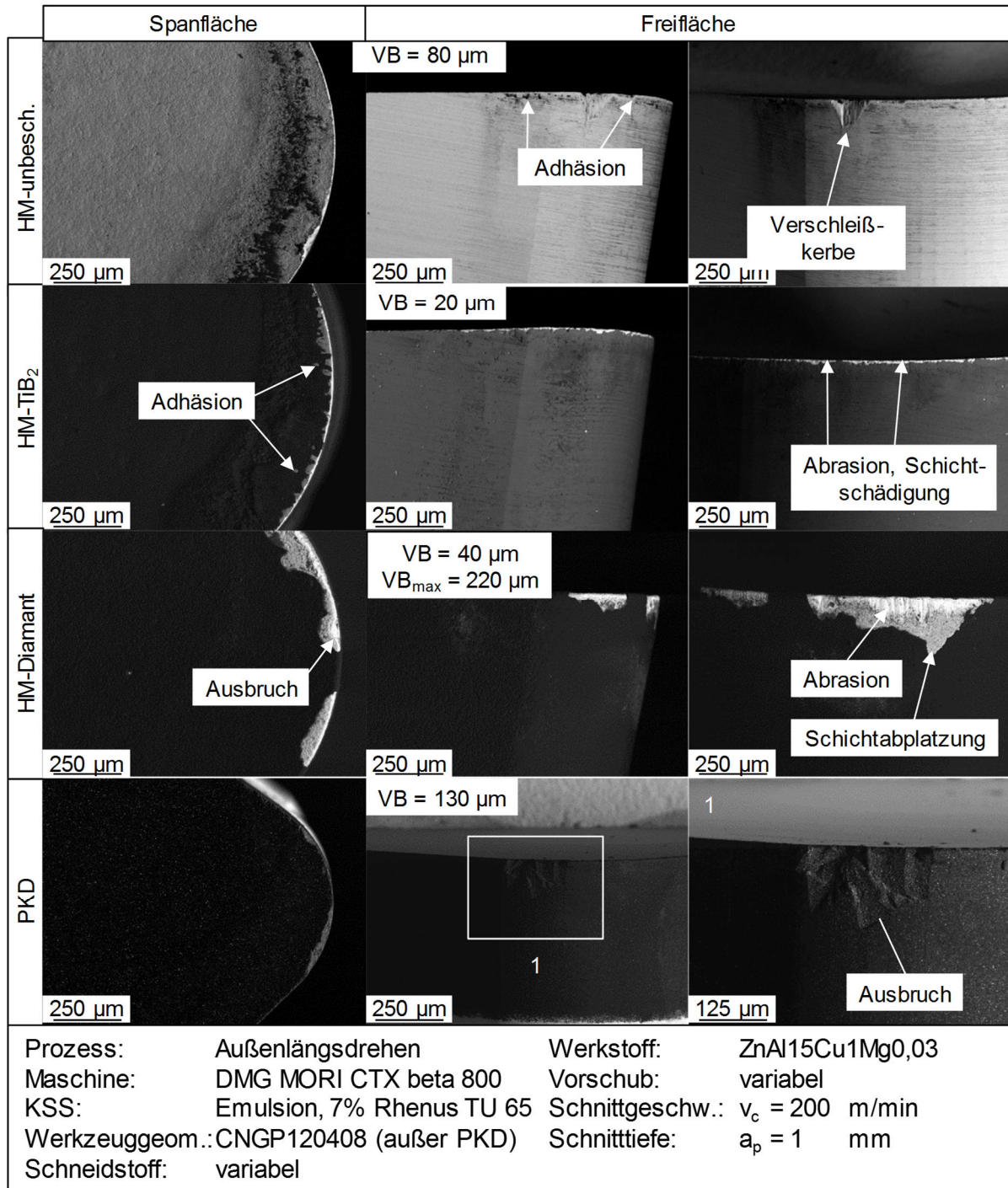


Bild 4.17: Verschleiß der Versuchswerkzeuge nach einer Schnittzeit von $t_c = 500$ min

Den besten Kompromiss aus Zähigkeit und Härte wies in den Untersuchungen das TiB₂-beschichtete Hartmetallwerkzeug auf. Es zeigte ein gleichmäßiges Verschleißverhalten und eine geringe Aufbauschneidenbildung. Im Falle des mit einer Diamantschicht überzogenen Werkzeuges minderte die nicht ausreichende Schichthaftung das Potential der Schicht. Aufgrund der geringen Menge an anhaftendem Werkstoff ist von geringem Adhäsionsverschleiß auszugehen. Bei einem serienmäßig mit Diamant beschichteten Werkzeug wäre eine bessere Schichthaftung möglich und das Werkzeug könnte eine gute Kombination aus Zähigkeit durch das HM-Substrat und Verschleißfestigkeit durch die Diamantschicht aufweisen.

Bohren

Für die Untersuchung des Bohrprozesses wurden Werkzeuge mit unterschiedlichen Schneidstoffen und Beschichtungen eingesetzt. In Abstimmung mit dem pA wurden die in Bild 4.18 dargestellten Werkzeuge ausgewählt. Die Auswahl umfasst je ein unbeschichtetes Hartmetall- und Schnellarbeitsstahlwerkzeug sowie ein TiN-beschichtetes HSS-Werkzeug und ein TiAlN-beschichtetes Hartmetallwerkzeug.

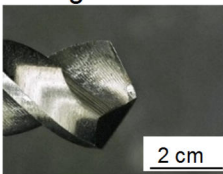
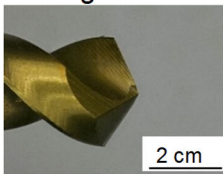
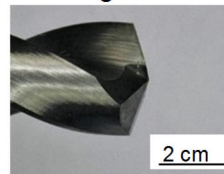
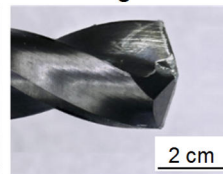
	Gühring GU 500	Gühring GU 500	Gühring 6400	Gühring 6400
				
Durchmesser D_B	3 mm	3 mm	3 mm	3 mm
Drallwinkel δ_B	38°	38°	30°	30°
Spitzenwinkel γ_B	118°	118°	140°	140°
Substrat	HSCO	HSCO	VHM	VHM
Beschichtung	unbeschichtet	TiN	unbeschichtet	TiAlN
Beschichtungsaufbau	-	Monolayer	-	gradiert
Härte HV	-	2300	(1580 – 1850)*	3400
Mittenrauwert Ra / μm **	0,604	0,439	0,223	0,126
Wärmeleitfähigkeit der Beschichtung λ / W/mK -	-	70	-	(50)***

Bild 4.18: Bohrwerkzeuge mit verschiedenen Schneidstoffen und Beschichtungen

Die Untersuchungen zu Spanform und Zerspankraftkomponenten wurden auf einem Bearbeitungszentrum vom Typ DMG MORI DMU 80 Evo durchgeführt. Die Untersuchungen der

Spanform und des Spanabtransportes zeigten vernachlässigbare Unterschiede zwischen den Hartmetallwerkzeugen und dem unbeschichteten HSS-Werkzeug (vgl. Anhang Bild 8.18 f.). Das TiN-beschichtete Werkzeug erzeugte jedoch wesentlich längere Spanformen, die in der Spannut anhafteten und zu Werkzeugbrüchen führten. Eine Auswertung von Spanlängsschliffen zeigte, dass bei der TiN-Beschichtung ein wesentlich größerer Anteil des Gefüges umgeformt wurde, es lag eine Fließspanbildung vor (Bild 4.19). Bei den anderen Schneidstoff-Beschichtungskombinationen war nur ein kleiner Teil des Gefüges verformt und es wurden Lamellenspäne gebildet, die aufgrund der stärkeren Segmentierung wesentlich häufiger brachen. Dies ließ auf eine wesentlich stärkere Adhäsionsneigung zwischen der TiN-Schicht und der Zinkknetlegierung schließen. Die Auswertung der Vorschubkraft zeigte bei Einsatz des TiN-beschichteten Werkzeuges einen deutlichen Anstieg der Vorschubkraft kurz vor dem Ende der Bohrung, was auf erhöhte Reibung durch anhaftende Späne schließen ließ.

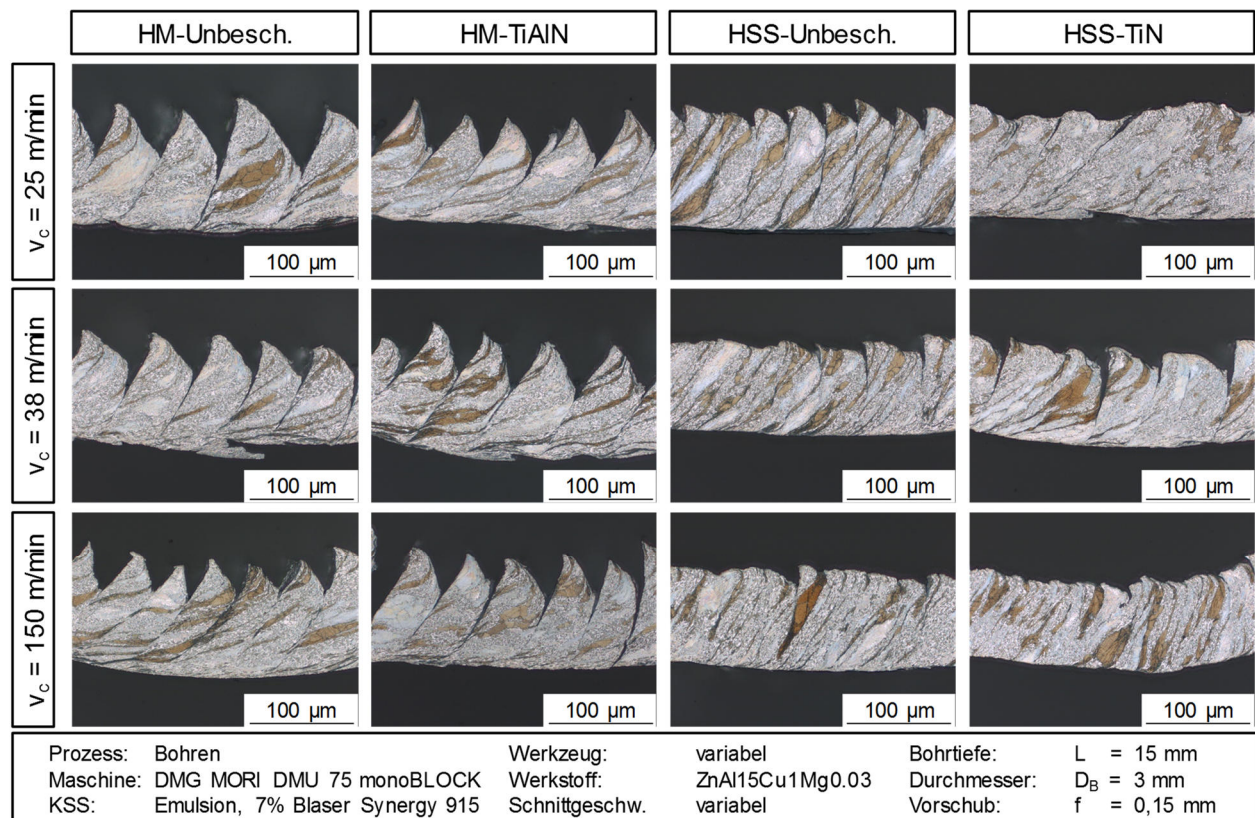


Bild 4.19: Spanlängsschliffe vom Bohren mit unterschiedlichen Schneidstoffen und Schnittgeschwindigkeiten

In weiteren Untersuchungen wurde das Einsatzverhalten der Hartmetallwerkzeuge und des unbeschichteten HSS-Werkzeugs untersucht. Die Verschleißuntersuchungen wurden aufgrund der hohen Bohrungsanzahl auf einem Stagedrehzentrum vom Typ DMG MORI CTX Beta 800 durchgeführt. Aufgrund der auf $n = 4000 \text{ 1/min}$ begrenzten Drehzahl dieser Werkzeugmaschine wurden für die Verschleißuntersuchungen die maximal mögliche Schnittgeschwindigkeit von $v_c = 38 \text{ m/min}$ angewendet. Der Vorschub wurde auf $f = 0,15 \text{ mm}$ eingestellt. Der Versuch mit

dem unbeschichteten HSS-Werkzeug musste nach $n = 9986$ Bohrungen aufgrund eines Schneidkantenausbruchs abgebrochen werden (Bild 4.20). Auf der gegenüberliegenden Schneide war eine Verschleißkerbe von etwa $100 \mu\text{m}$ Breite sowie leichter Abrasivverschleiß zu erkennen. Bei den Hartmetallwerkzeugen wurden die Versuche nach $n = 14040$ Bohrungen bzw. einer Schnittzeit von $t_c = 250 \text{ min}$ abgebrochen. Beide Werkzeuge wiesen nur geringen Verschleiß auf. Das unbeschichtete Werkzeug wies leichten Kerbverschleiß an der Schneidkante auf. Bei dem TiAlN-beschichteten Werkzeug war in der Nähe der Schneidenecke die Schicht leicht geschädigt.

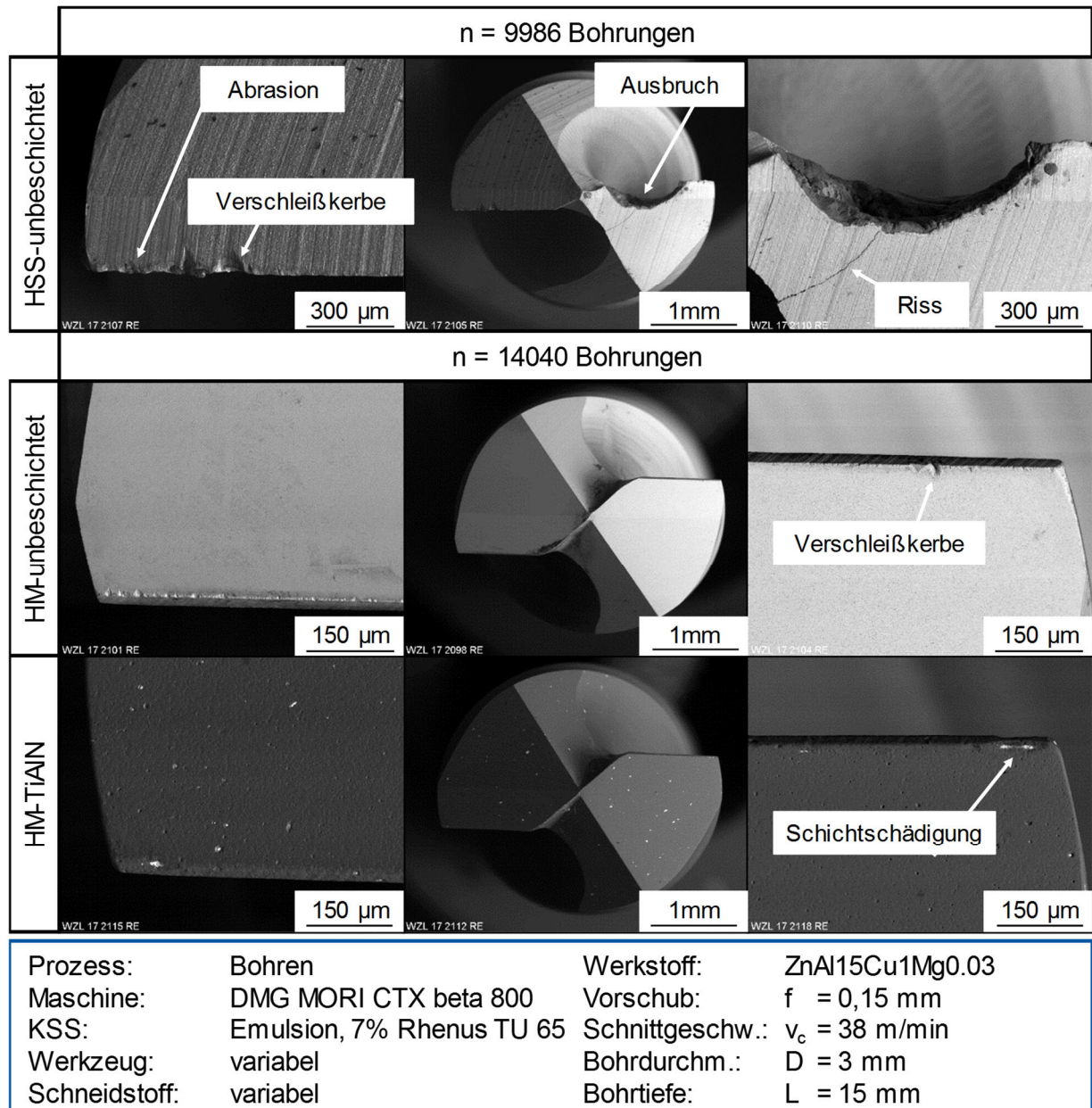


Bild 4.20: REM-Aufnahmen der Versuchswerkzeuge nach 9986 bzw. 14040 Bohrungen

Fazit

Beim Drehen wies ein mit TiB_2 beschichtetes Hartmetallwerkzeug einen guten Kompromiss aus Härte und Zähigkeit auf. Nach einer Schnittzeit von $t_c = 500$ min war lediglich ein leichter Einlaufverschleiß mit einer Verschleißmarkenbreite von $VB = 20 \mu m$ zu erkennen. Der Einsatz von Diamant als Schicht- und Schneidwerkstoff zeigte aufgrund der geringen Neigung zur Aufbauschneidenbildung weitergehendes Potential zur Steigerung der Standzeiten. Zu dessen Realisierung sollte in weiteren Untersuchungen eine Möglichkeit untersucht werden, eine ausreichende Zähigkeit und Schichthaftung einzustellen.

Beim Bohren mit TiN-Schicht beschränkte die hohe Adhäsionsneigung die Prozesssicherheit. Mit unbeschichtetem Schnellarbeitsstahl wurde mit einem kostengünstigen Werkzeug eine Standmenge von knapp $n = 10.000$ Bohrungen erreicht. Versuche mit Hartmetallwerkzeugen zeigten nur geringen Einlaufverschleiß nach $n = 14040$ Bohrungen. Dies legte nahe, dass damit ein Vielfaches dessen möglich ist.

5 Empfehlungen für die Werkzeug- und Prozessauslegung

Ein maßgebliches Ziel dieses Forschungsvorhabens war es, die erzielten Forschungsergebnisse direkt in der industriellen Praxis anwenden zu können. Ein wirtschaftlich günstiges Zerspanergebnis wird durch möglichst hohe prozesssicher anwendbare Schnittparameter ermöglicht. Die einstellbaren Prozessparameter werden also durch die Prozesssicherheit bezüglich der Bauteilqualität, des Werkzeugverschleißes und der Spanform, bzw. des Spanabtransportes begrenzt. In diesem Kapitel werden für die drei Zinkknetlegierungen ZnAl15Cu1Mg0,03 (Grillo ZEP 1510), ZnAl10Cu1Mg0,03 (Grillo ZEP 1010) und ZnAl4Cu2,5Mg0,03 (Grillo ZEP 425) auf Grundlage der zuvor diskutierten Richtwerte und Empfehlungen für die Auslegung von Zerspanprozessen hinsichtlich der Prozessparameter, der Werkzeuggeometrie, der Kühlschmierstrategie und der Auswahl von Schneidstoff und Beschichtung vorgestellt.

Tabelle 5.1: Empfehlungen für die Prozessauslegung für die Zerspanung von ZnAl15Cu1Mg0,03

		Primäre Zerspanbarkeitsprobleme	Schneidstoff / Beschichtung	Schnittparameter	Werkzeuggeometrie	KSS-Medium / KSS-Zufuhr
ZnAl15Cu1Mg0,03 (ZEP 1510)	Außenlängsdrehen Schichten	Bandspanbildung im Trockenschnitt Ausgeprägte Adhäsionsneigung	Hartmetall + TiB ₂	f > 0,15 mm v _c = 200 m/min Bei höheren v _c Einsatz von KSS mit Hochdruck zur Spanformkontrolle empfehlenswert	Spanwinkel γ ≥ 15° Freiwinkel α = 7° Schleifscharfe Schneidkante	Beste Oberflächengüte: Direkte Zufuhr von Öl Bester Spanbruch: Direkte Zufuhr von Öl (p = 40 bar) Trockenbearbeitung nicht empfehlenswert
	Außenlängsdrehen Schruppen	Spanbildung im Trockenschnitt Ausgeprägte Adhäsionsneigung	Hartmetall + TiB ₂	f > 0,15 mm v _c = 200 m/min Bei höheren v _c Einsatz von KSS mit Hochdruck zur Spanformkontrolle empfehlenswert	Spanwinkel γ ≥ 15° Freiwinkel α = 7° Schleifscharfe Schneidkante	Beste Oberflächengüte: Direkte Zufuhr von Öl Bester Spanbruch: Direkte Zufuhr von Öl (p = 40 bar) Trockenbearbeitung nicht empfehlenswert
	Einstechdrehen	Spanbildung im Trockenschnitt Scheinspanbildung / Adhäsionsneigung	Hartmetall + AlTiN	f ≥ 0,1 mm v _c = 120 m/min	Spanwinkel γ ₀ = 15° Rückenwinkel σ _B = 40° - 55° Rillbreite l _{Bn} = 0,5 mm Rilltiefe h _B = 0,2 – 0,4 mm Schleifscharfe Schneidkante	Direkte Zufuhr von Öl (p = 40 bar) Trockenbearbeitung nicht empfehlenswert
	Bohren	Ausbrüche Spanabtransport	Hartmetall TiN-Schicht nicht empfohlen	f ≥ 0,1 mm v _c ≤ 25 m/min	Drallwinkel δ = 25° Möglichst große Spannutt	Innere Zufuhr von ölbasiertem KSS

Tabelle 5.2: Empfehlungen für die Prozessauslegung für die Zerspanung von ZnAl10Cu1Mg0,03

		Primäre Zerspanbarkeitsprobleme	Schneidstoff / Beschichtung	Schnittparameter	Werkzeuggeometrie	KSS-Medium / KSS-Zufuhr
ZnAl10Cu1Mg0,03 (ZEP 1010)	Außenlängsdrehen Schichten	Spanbildung im Trockenschnitt Ausgeprägte Adhäsionsneigung	Hartmetall + TiB ₂	f > 0,15 mm v _c = 200 m/min Bei höheren v _c Einsatz von KSS mit Hochdruck zur Spanformkontrolle empfehlenswert	Spanwinkel γ ≥ 15° Freiwinkel α = 7° Schleifscharfe Schneidkante	Beste Oberflächengüte: Überflutungskühlung mit Öl Bester Spanbruch: Direkte Zufuhr von Öl (p = 40 bar)
	Außenlängsdrehen Schruppen	Spanbildung im Trockenschnitt Ausgeprägte Adhäsionsneigung	Hartmetall + TiB ₂	f ≥ 0,3 mm v _c = 200 m/min Bei höheren v _c Einsatz von KSS mit Hochdruck zur Spanformkontrolle empfehlenswert	Spanwinkel γ ≥ 15° Freiwinkel α = 7° Schleifscharfe Schneidkante	Beste Oberflächengüte: Überflutungskühlung mit Öl Bester Spanbruch: Direkte Zufuhr von Öl (p = 40 bar)
	Einstechdrehen	Trockenschnitt Ausgeprägte Adhäsionsneigung Scheinspanbildung	Hartmetall + AlTiN	f ≥ 0,1 mm v _c = 120 m/min	Spanwinkel γ ₀ = 15° Rückenwinkel σ _B = 40° - 55° Rillenbreite l _{Bn} = 0,5 mm Rillentiefe h _B = 0,2 – 0,4 mm Schleifscharfe Schneidkante	Bester Spanbruch: Direkte Zufuhr von Öl (Normaldruck) Trockenbearbeitung nicht empfohlen
	Bohren	Spanabtransport	Hartmetall TiN-Schicht nicht empfohlen	f ≥ 0,3 mm v _c ≤ 50 m/min	Drallwinkel δ = 25° Möglichst große Spannutt	innere Zufuhr von ölbasiertem KSS

Tabelle 5.3: Empfehlungen für die Prozessauslegung für die Zerspanung von ZnAl4Cu2,5Mg0,03

		Primäre Zerspanbarkeitsprobleme	Schneidstoff / Beschichtung	Schnittparameter	Werkzeuggeometrie	KSS-Medium / KSS-Zufuhr
ZnAl4Cu2,5Mg0,03 (ZEP 425)	Außenlängsdrehen Schlichten	Spanbildung im Trockenschnitt Ausgeprägte Adhäsionsneigung	Hartmetall + TiB ₂	f > 0,15 mm v _c = 200 m/min Bei höheren v _c Einsatz von KSS mit Hochdruck zur Spanformkontrolle empfehlenswert	Spanwinkel γ ≥ 15° Freiwinkel α = 7° Schleifscharfe Schneidkante	Beste Oberflächengüte: Trocken, aufgrund der Spanform allerdings nicht empfehlenswert Empfehlung: Überflutung oder direkte Zufuhr von Öl
	Außenlängsdrehen Schruppen	Spanbildung	Hartmetall + TiB ₂	f ≥ 0,2 mm v _c = 200 m/min Bei höheren v _c Einsatz von KSS mit Hochdruck zur Spanformkontrolle empfehlenswert	Spanwinkel γ ≥ 15° Freiwinkel α = 7° Schleifscharfe Schneidkante	Beste Oberflächengüte: Trocken, aufgrund der Spanform allerdings nicht empfehlenswert Empfehlung: Überflutung oder direkte Zufuhr von Öl
	Einstechdrehen	Spanbildung im Trockenschnitt	Hartmetall + AlTiN	f ≥ 0,1 mm v _c = 120 m/min	Spanwinkel γ ₀ = 15° Rückenwinkel σ _B = 55° Rillenbreite l _{Bn} = 0,25 mm Rillentiefe h _B = 0,4 mm Schleifscharfe Schneidkante	Bester Spanbruch: Direkte Zufuhr von Öl (p = 70 bar) Trockenbearbeitung nicht empfohlen
	Bohren	Spanabtransport	Hartmetall TiN-Schicht nicht empfohlen	f ≥ 0,3 mm v _c ≤ 50 m/min	Drallwinkel δ = 25° Möglichst große Spannutt	Innere Zufuhr von ölbasiertem KSS

6 Diskussion der Ergebnisse

Der Einsatz von bleihaltigen Automatenmessingen wird zukünftig nicht mehr möglich sein, da der Bleigehalt gesetzlich streng reglementiert wird (vgl. [1-3]). Die Verwendung von Zinkknetlegierungen als Werkstoff für Zerspananwendungen eröffnet für Anwender die Perspektive, Kostensteigerungen aus der Umstellung von bleihaltigen auf bleifreie Werkstoffe durch einen günstigen Rohstoffpreis zu kompensieren. Voraussetzung für die industrielle Anwendung von Zinkknetlegierungen sind prozesssichere und wirtschaftliche Zerspanprozesse.

In diesem Projekt wurde die Zerspanbarkeit von Zinkknetlegierungen analysiert und anschließend angepasste Werkzeuge und Prozessstellgrößen ausgelegt. Im Rahmen der Zerspanbarkeitsanalyse wurden die folgenden maßgeblichen Herausforderungen bei der Zerspannung von Zinkknetlegierungen identifiziert:

- Bildung langer Spanformen beim Außenlängs- und Einstechdrehen
- Verklemmen von Spänen in der Spannut beim Bohren
- Aufbauschneidenbildung und starke Adhäsionsneigung
- Scheinspanbildung bei Trockenbearbeitung
- Höherer Werkzeugverschleiß als bei CuZn39Pb3

Die Temperatur in der Zerspanzone hatte in den Untersuchungen einen maßgeblichen Einfluss auf die Prozesssicherheit. Zinkknetlegierungen haben einen niedrigen Schmelzpunkt von etwa $T_s \approx 300 \text{ °C}$. Ohne den Einsatz von Kühlschmierstoff (KSS) wurden diese Temperaturen in der Zerspanzone häufig erreicht. Dies führte zu einer thermischen Entfestigung des ablaufenden Spans. Beim Drehen entstanden lange Bandspäne sowie Scheinspäne, die entlang der Freifläche abliefen. Beim Bohren hafteten Späne in der Spannut an und führten teilweise zum Werkzeugbruch, da sie sich in der Bohrung verklemmten. Der Einsatz von KSS reduziert die auftretenden Temperaturen deutlich, es wurden stets Temperaturen $T < 80 \text{ °C}$ gemessen. Aufgrund der geringeren Temperaturen wurde der Werkstoff nicht entfestigt und es entstanden kürzere Spanformen. Durch die direkte Zufuhr von KSS wurden auch bei Schnittparametern, bei denen beim Drehen Bandspäne auftragen kurzbrüchige Späne erzeugt. Beim Bohren wurde durch innere Zufuhr aufgrund der Kühl- und Spülwirkung des KSS der Spanabtransport wesentlich verbessert. Es hafteten keine Späne in der Spannut an.

Hinsichtlich der Werkzeuggeometrie wurden Spanformrillen ausgelegt, die eine Verbesserung des Spanbruchs erzielten. Aufgrund der hohen Duktilität der Zinkknetlegierungen waren aggressive Spanformrillen mit steilen Rückenwinkeln ($\sigma_B = 40 - 55^\circ$) in Kombination mit einem Spanwinkel von $\gamma_0 = 15^\circ$ erforderlich, um kurzbrüchige Späne zu erzielen. Beim Bohren wurden wesentliche Verbesserungen des Spanabtransports durch den Einsatz von Werkzeugen mit

möglichst großen Spannuten bei relativ geringen Schnittgeschwindigkeiten $v_c \leq 50$ m/min erreicht.

Die starke Adhäsionsneigung der Zinkknetlegierungen verursachte primär adhäsiven Werkzeugverschleiß. Bei ZnAl15Cu1Mg0,03 entstand zusätzlich abrasiver Verschleiß. In Optimierungsuntersuchungen mit verschiedenen Schneidstoffen und Beschichtungen zeigte sich, dass beim Drehen durch den Einsatz von einem mit TiB₂ beschichteten Hartmetallwerkzeug ein geringer Verschleiß mit einer Verschleißmarkenbreite von nur VB = 20 µm nach einer Schnittzeit von $t_c = 500$ min erreicht werden konnte. Ein mit Diamant beschichtetes Hartmetallwerkzeug zeigte im Vergleich dazu eine geringere Adhäsionsneigung und bietet somit Potential zur weiteren Minderung des Verschleißes. Im Versuch konnte dies aufgrund von einer unzureichenden Schichthaftung aus einem für diesen Anwendungsfall ungeeigneten Beschichtungsprozess nicht bestätigt werden. Beim Bohren konnten durch den Einsatz von Hartmetall als Schneidstoff 14.000 Bohrungen mit geringem Einlaufverschleiß gefertigt werden. Aufgrund des gleichmäßig fortschreitenden Freiflächenverschleißes wurde angenommen, dass ein Vielfaches dieser Bohrungszahl bis zum Erreichen des Standzeitendes möglich ist.

In diesem Forschungsvorhaben wurden maßgebliche Fortschritte zur Zerspanung von Zinkknetlegierungen erzielt. Durch die gezielte Anpassung von Werkzeuggeometrie, Schnittparametern, KSS-Strategie und Schneidstoffauswahl konnte die Prozesssicherheit gegenüber dem Stand der Technik gesteigert werden. Geeignete Werkzeuge für die Zerspanung von Zinkknetlegierungen sind beispielsweise von den im pA vertretenen Firmen Gühring und Kennametal serienmäßig verfügbar und können mit geringem Aufwand in die Fertigung eingebracht werden. Hochdruckaggregate für die direkte Zufuhr von KSS sind in der Praxis in den meisten modernen Werkzeugmaschinen verfügbar oder mit moderaten Investitionskosten in bestehende Anlagen nachrüstbar. Mit den aus den Ergebnissen abgeleiteten Handlungsempfehlungen wurden Anwendern Handlungsempfehlungen für die Werkzeug- und Prozessauslegung an die Hand gegeben und so ein Beitrag zur Einführung von Zinkknetlegierungen in die industrielle Praxis geleistet.

7 Transfermaßnahmen

Durch die im Forschungsvorhaben erzielten Ergebnisse zur Werkzeug- und Prozessauslegung wurde für eine Vielzahl von vornehmlich kleinen und mittelständischen Unternehmen eine Basis geschaffen, Zinkknetlegierungen produktiv, prozesssicher und somit auch wirtschaftlich zerspanen zu können und so Ihre Wettbewerbsfähigkeit zu stärken. Wesentliche Voraussetzung hierfür war ein direkter und effektiver Transfer der Ergebnisse zu den entsprechenden KMU. Um dies zu erreichen, wurden die Projektergebnisse auf vielfältige Weise durch die in Tabelle 7.1 zusammengefassten Maßnahmen verbreitet und einem breiten Anwenderkreis zur Verfügung gestellt.

Tabelle 7.1: Durchgeführte Transfermaßnahmen des WZL der RWTH Aachen

Jahr	Transfermaßnahme	Zeitpunkt
2016	Veröffentlichung in der Zeitschrift „Unter Span“, Titel: Zinkknetlegierungen als Zerspanungswerkstoff“	Juni 2016
	Präsentation im Rahmen des Basisseminar Zerspantechnik am WZL der RWTH Aachen	02. - 03.11.2016
	Erstes Treffen des projektbegleitenden Ausschusses	14.11.2016
	Diskussion im Rahmen des Kupfersymposiums des deutschen Kupferinstituts	16. - 17.11.2016
2017	Präsentation im Rahmen des Basisseminar Zerspantechnik am WZL der RWTH Aachen	05. - 06.04.2017
2017	Posterpräsentation im Rahmen des Aachener Werkzeugmaschinenkolloquiums (AWK) in Aachen	18. - 19.05.2017
2017	Zweites Treffen des projektbegleitenden Ausschusses	23.05.2017
2017	Präsentation im Rahmen des Basisseminar Zerspantechnik am WZL der RWTH Aachen	20. - 21.09.2017
	Projektarbeit: „Einfluss verschiedener Schneidstoffe und Beschichtungen auf die Zerspanung von Zinkknetlegierungen“	29.09.2017
	Veröffentlichung in den Zeitschriften „UMFORMtechnik“ und „DRAHT“, Titel: „In Zukunft bleifrei“	Oktober 2017
2017	Drittes Treffen des projektbegleitenden Ausschusses	28.11.2017
2018	Viertes Treffen des projektbegleitenden Ausschusses	15.05.2018
2018	Präsentation im Rahmen des Basisseminar Zerspantechnik am WZL der RWTH Aachen	12. - 13.09.2018
2018	Diskussion und Posterpräsentation im Rahmen des Kupfersymposiums des deutschen Kupferinstituts	20. - 21.11.2018

2019	Veröffentlichung dieses Abschlussberichts	01/2019
2019	Zeitschriftenveröffentlichung über die im Projekt erzielten Ergebnisse (geplant)	03/2019

Neben den in Tabelle 7.1 genannten Transfermaßnahmen flossen die Ergebnisse des Projekts in Lehrveranstaltungen der RWTH Aachen in dem Fach „Fertigungstechnik“ ein. Die Erkenntnisse wurden darüber hinaus in zahllosen Fachgesprächen sowie bilateralen Beratungs- und Entwicklungsprojekten weitergegeben. Die im Projekt vertretenen Halbzeug- und Werkzeughersteller tragen die Projektergebnisse im Rahmen der Beratung Ihrer Kunden fortlaufend in die industrielle Praxis weiter.

8 Anhang

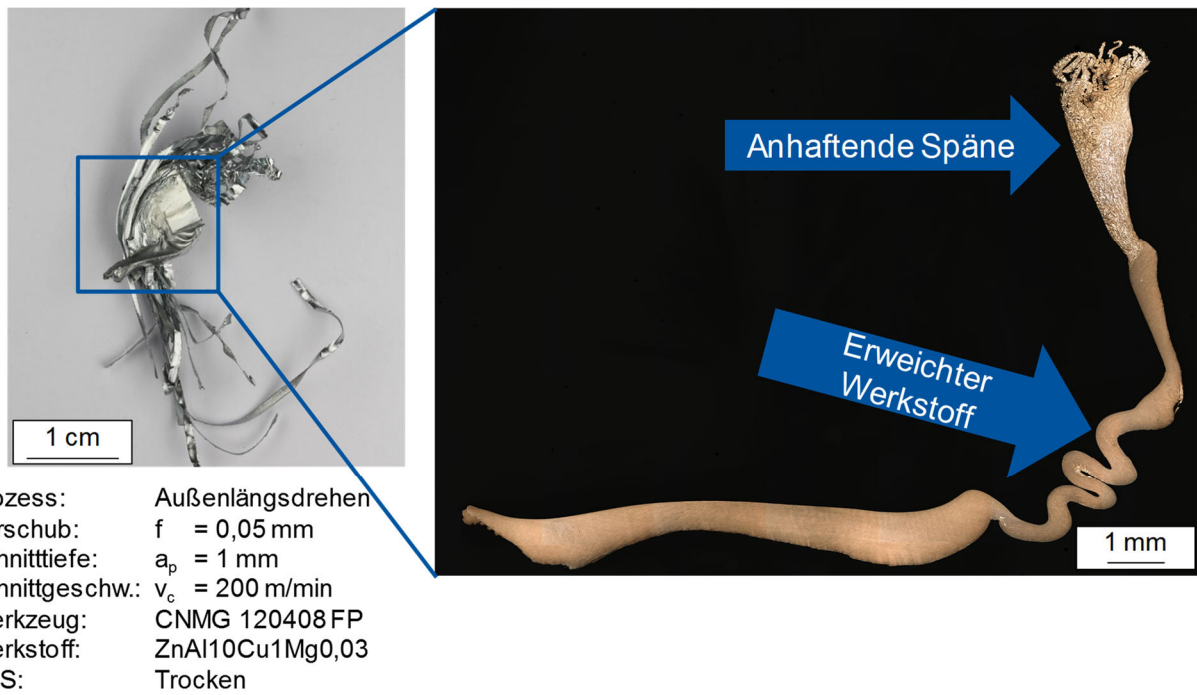


Bild 8.1: Metallographisches Schliffbild eines Scheinspans mit anhaftenden Spänen (1/2)

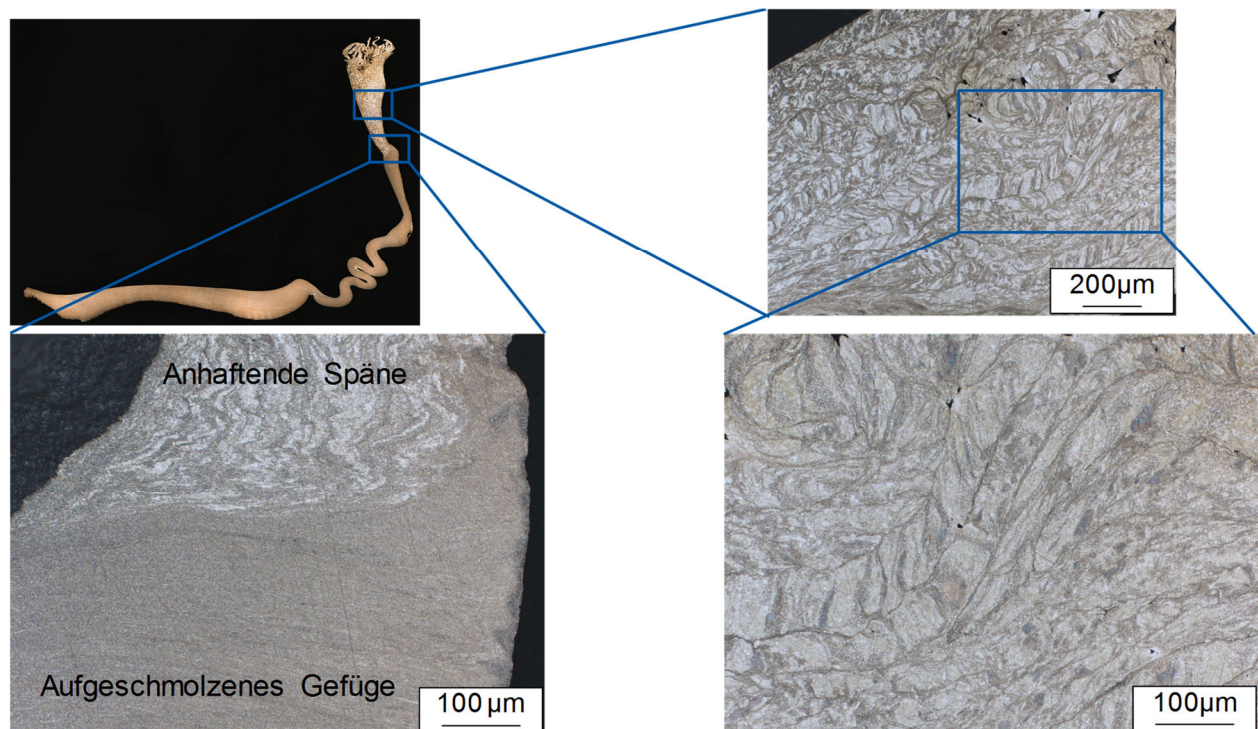


Bild 8.2: Metallographisches Schliffbild eines Scheinspans mit anhaftenden Spänen (2/2)

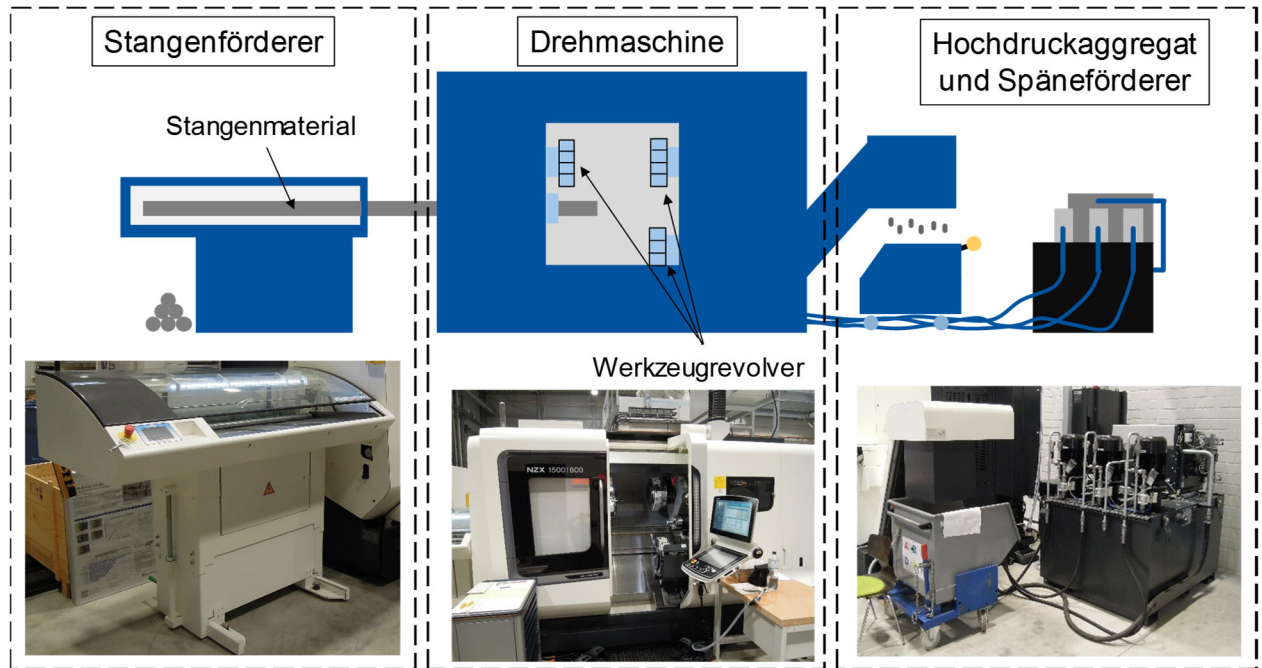


Bild 8.3: Versuchsaufbau zur Stangenbearbeitung auf Drehzentrum DMG MORI NZX 1500

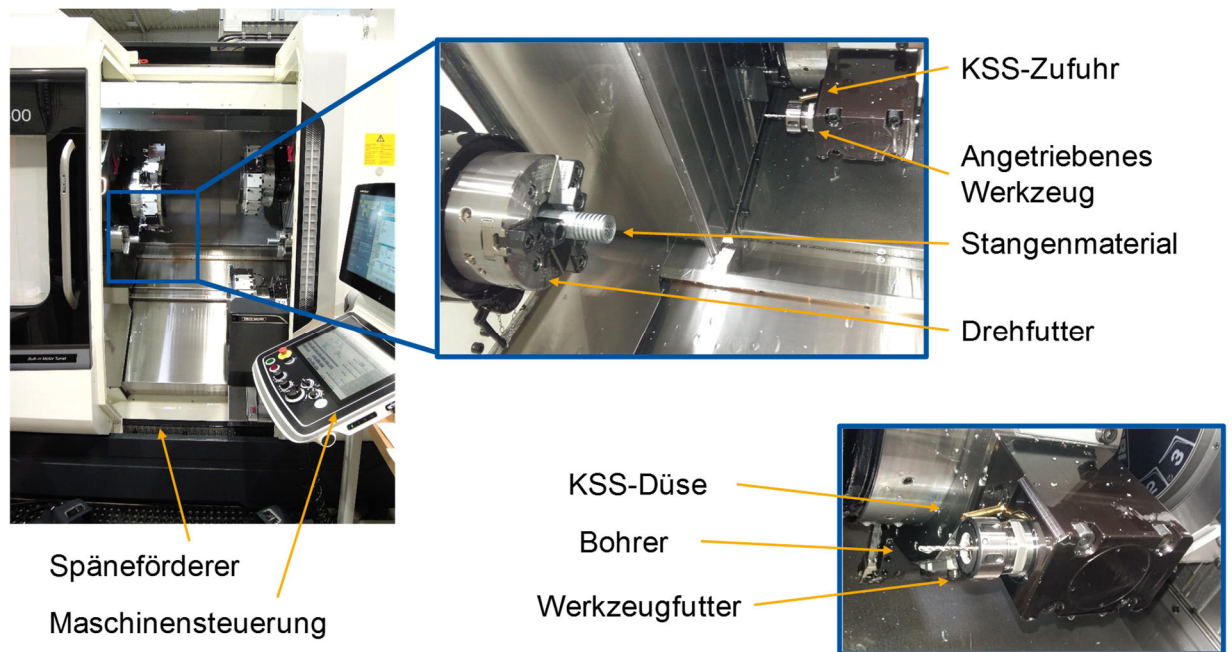


Bild 8.4: Versuchsaufbau zum Bohren auf Drehzentrum DMG MORI NZX 1500

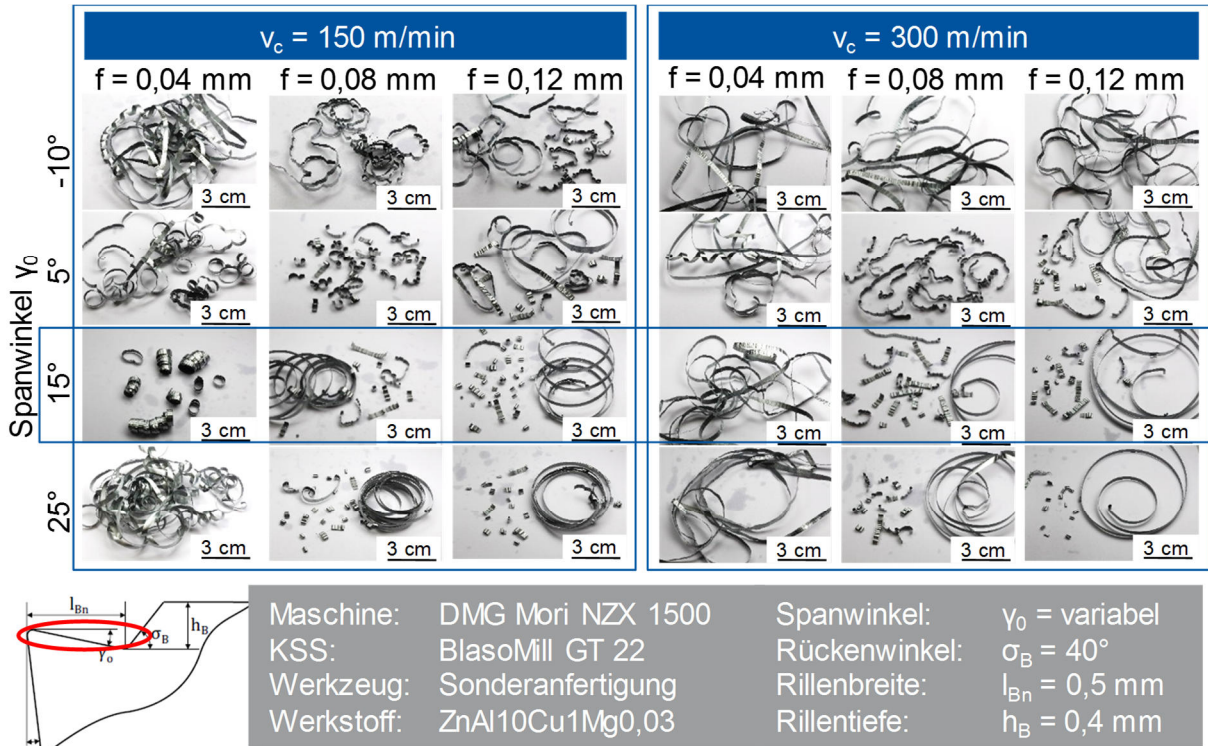


Bild 8.5: Einfluss des Spanwinkels auf die Spanform beim Einstechdrehen von ZnAl10Cu1Mg0,03 mit Spanformrille

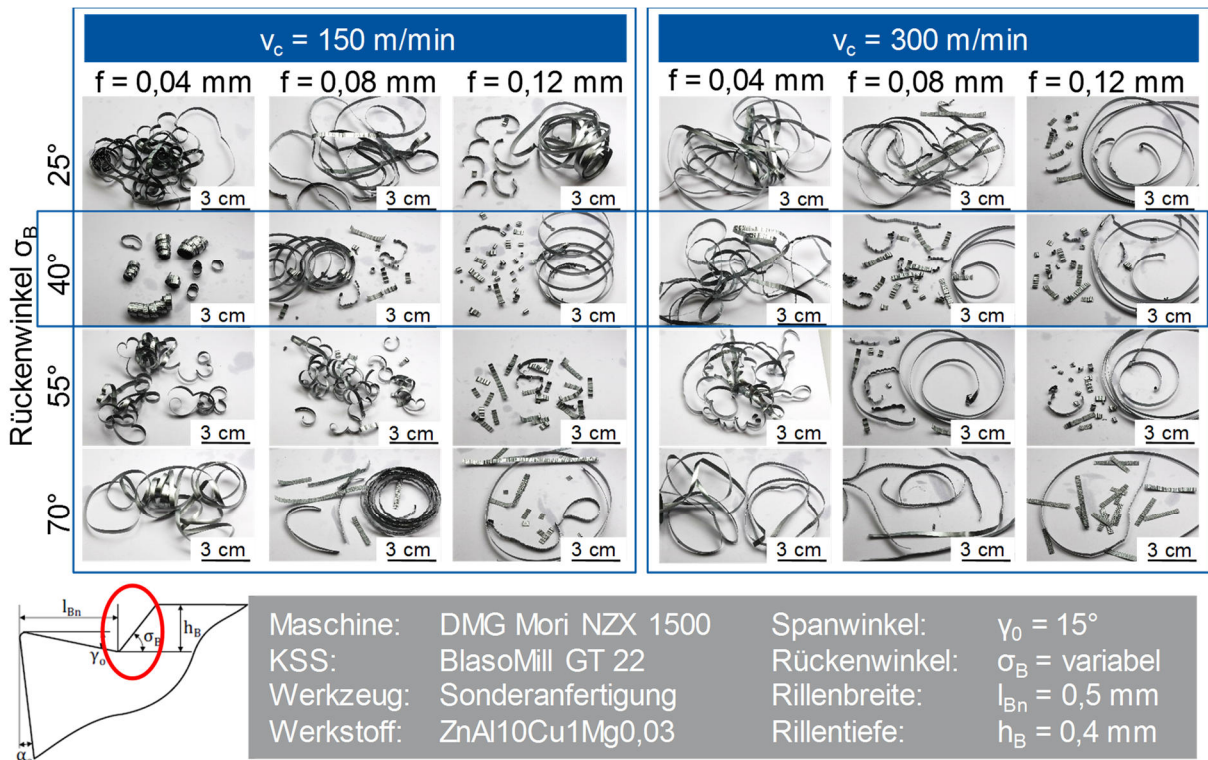


Bild 8.6: Einfluss des Rückenwinkels auf die Spanform beim Einstechdrehen von ZnAl10Cu1Mg0,03 mit Spanformrille

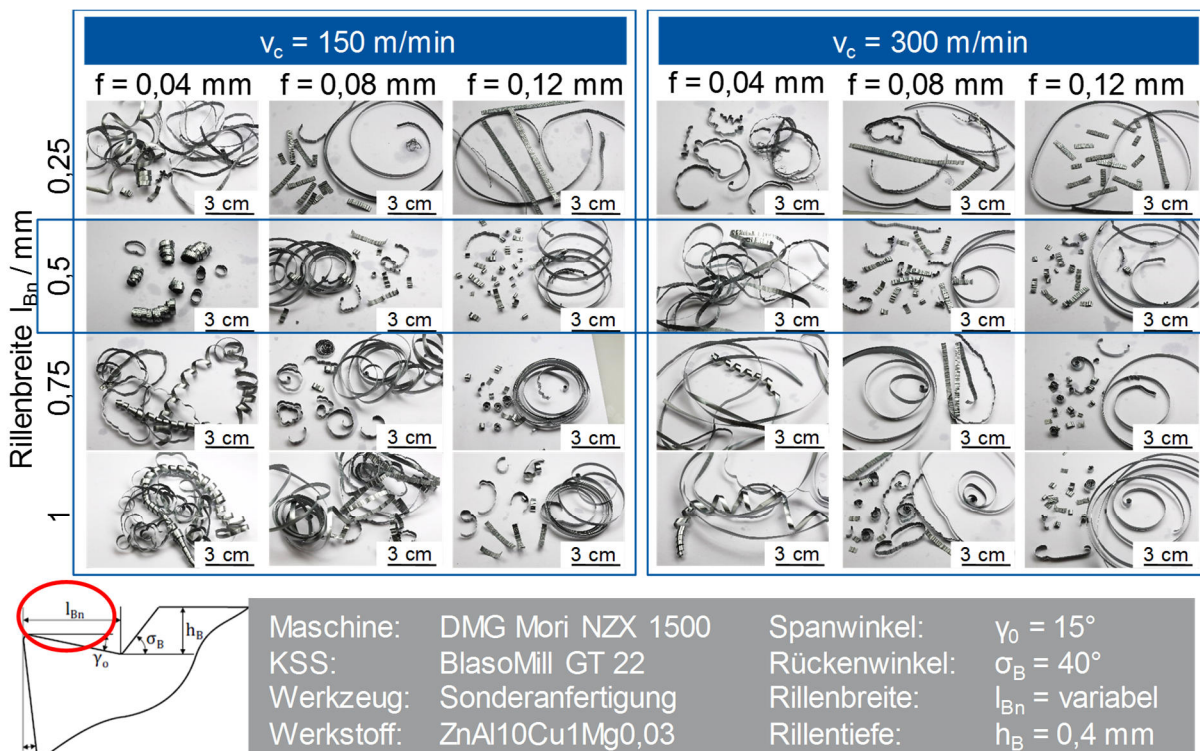


Bild 8.7: Einfluss der Rillbreite auf die Spanform beim Einstechdrehen von ZnAl10Cu1Mg0,03 mit Spanformrille

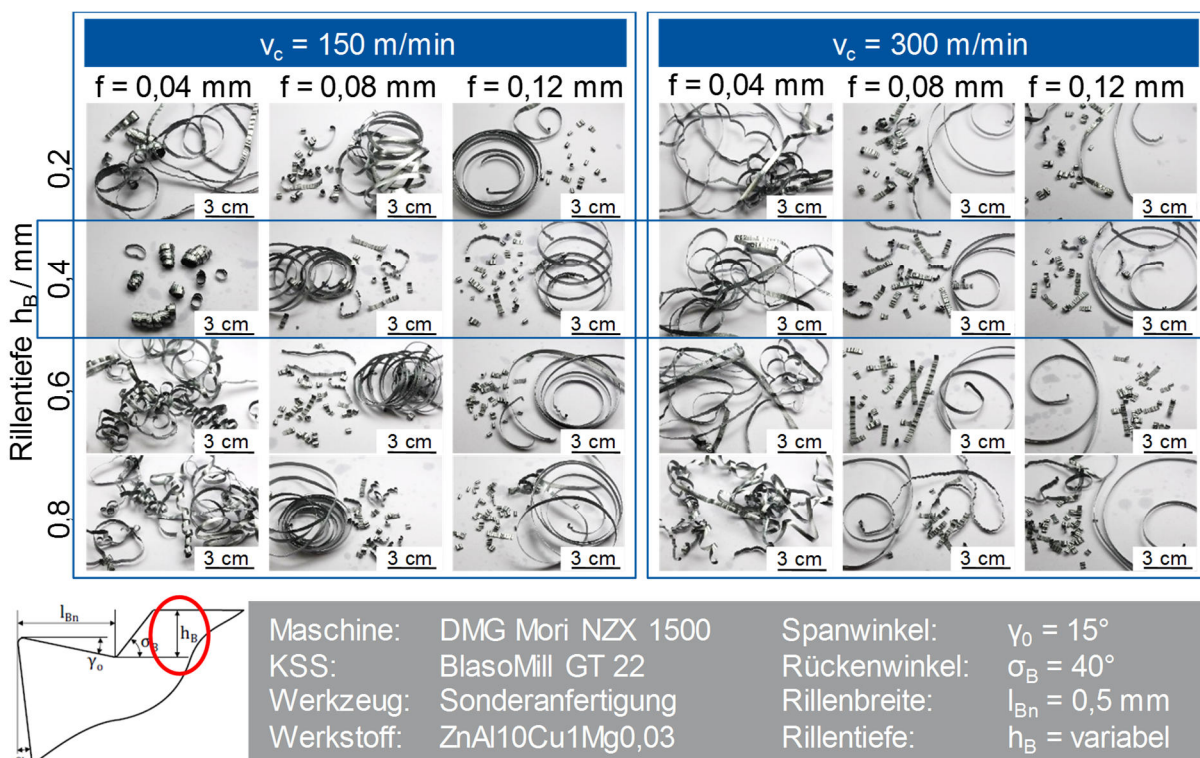


Bild 8.8: Einfluss der Rilltiefe auf die Spanform beim Einstechdrehen von ZnAl10Cu1Mg0,03 mit Spanformrille

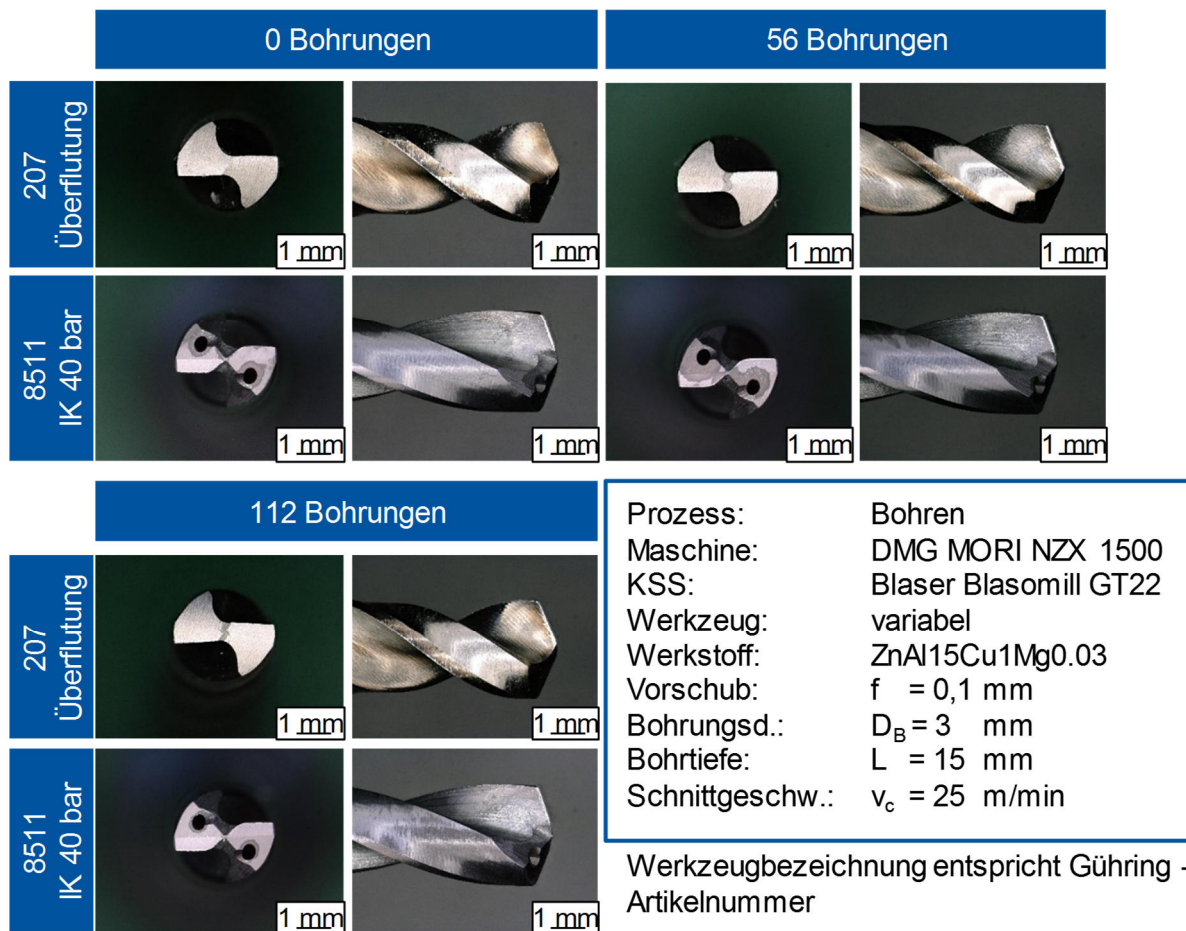


Bild 8.9: Validierung der Ergebnisse zur Auslegung von Bohrwerkzeugen zeigte keinen messbaren Verschleiß und konstante Spanformen

1 Ribbon chips	2 Tubular chips	3 Spiral chips	4 Washer-type helical chips	5 Conical helical chips	6 Arc chips	7 Elemental chips	8 Needle chips
1.1 Long ■	2.1 Long ■	3.1 Flat ■	4.1 Long ■	5.1 Long ■	6.1 Connected ■	7.1 ■	8.1 ■
1.2 Short ■	2.2 Short ■	3.2 Conical ■	4.2 Short ■	5.2 Short ■	6.2 Loose ■		
1.3 Snarled ■	2.3 Snarled ■		4.3 Snarled ■	5.3 Snarled ■			

Bild 8.10: Bewertung von Spanformen nach ISO 3685 (Quelle: ISO 3685, 1993)

		Trocken	MMS	Überflutung	Direkte Zuf.	40 bar	70 bar
Schruppen $v_c = 200 \text{ m/min}$	$a_p = 2 \text{ mm}$ $f = 0,1 \text{ mm}$	1.3	1.3	1.3	1.1	1.1	1.1
	$a_p = 1 \text{ mm}$ $f = 0,1 \text{ mm}$	1.3	4.3	2.3	2.1	1.2	1.2
Schlichten $v_c = 200 \text{ m/min}$	$a_p = 0,5 \text{ mm}$ $f = 0,1 \text{ mm}$	2.3	6.1	2.1	2.1	6.2	6.2
	$a_p = 0,25 \text{ mm}$ $f = 0,05 \text{ mm}$	2.3	2.2/ 6.1	2.3	2.1	6.2	6.2
Ein- stechen	$a_p = 0,25 \text{ mm}$ $f = 0,05 \text{ mm}$	1.1	Platten- klemmer	2.1	2.2	6.2	6.2

Bild 8.11: Spanformen bewertet nach ISO 3685 beim Drehen von ZnAl15Cu1Mg0,03 mit verschiedenen Kühlschmierstrategien

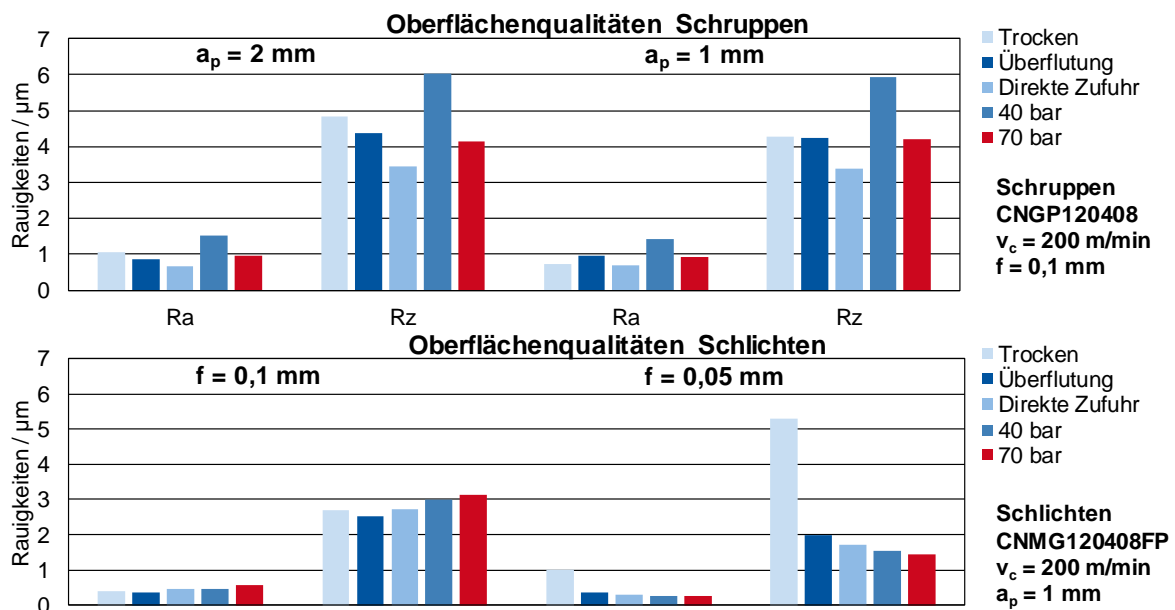


Bild 8.12: Oberflächenrauheiten beim Drehen von ZnAl15Cu1Mg0,03 mit verschiedenen Kühlschmierstrategien

		Trocken	MMS	Überflutung	Direkte Zuf.	40 bar	70 bar
Schruppen $v_c = 200 \text{ m/min}$	$a_p = 2 \text{ mm}$ $f = 0,1 \text{ mm}$	1.3	1.1	1.3	1.1	1.1	1.1
	$a_p = 1 \text{ mm}$ $f = 0,1 \text{ mm}$	2.3	1.3	2.3	2.1	1.2	1.2
Schlichten $v_c = 200 \text{ m/min}$	$a_p = 0,5 \text{ mm}$ $f = 0,1 \text{ mm}$	2.3	6.1	2.1	2.1	6.2	6.2
	$a_p = 0,25 \text{ mm}$ $f = 0,1 \text{ mm}$	2.3	6.2	2.3	2.1	6.2	6.2
Ein- stechen	$a_p = 0,25 \text{ mm}$ $f = 0,05 \text{ mm}$	1.3	Platten- klemmer	2.1	2.1 6.2	2.1 6.2	2.1 6.2

Bild 8.13: Spanformen bewertet nach ISO 3685 beim Drehen von ZnAl10Cu1Mg0,03 mit verschiedenen Kühlschmierstrategien

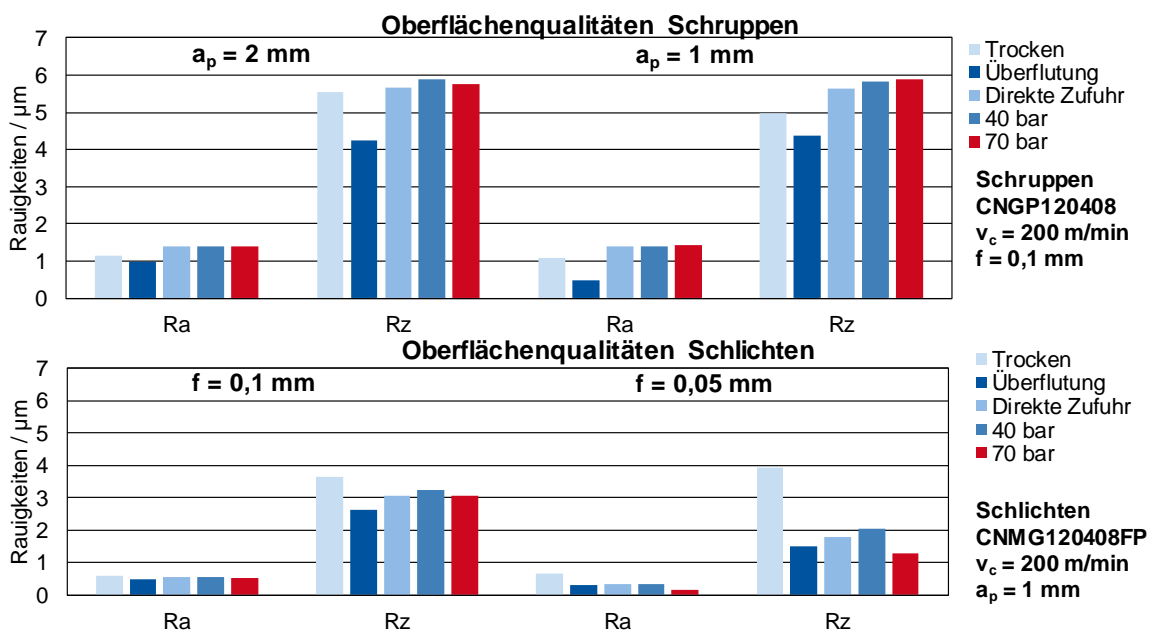


Bild 8.14: Oberflächenrauheiten beim Drehen von ZnAl10Cu1Mg0,03 mit verschiedenen Kühlschmierstrategien

		Trocken	MMS	Überflutung	Direkte Zuf.	40 bar	70 bar
Schruppen $v_c = 200 \text{ m/min}$	$a_p = 2 \text{ mm}$ $f = 0,1 \text{ mm}$	1.3	1.3	1.3	1.1	1.1	1.1
	$a_p = 1 \text{ mm}$ $f = 0,1 \text{ mm}$	2.3	1.3	1.3	2.1	1.2	1.2
Schlichten $v_c = 200 \text{ m/min}$	$a_p = 0,5 \text{ mm}$ $f = 0,1 \text{ mm}$	2.1	1.3	2.3	6.2	6.2	6.2
	$a_p = 0,25 \text{ mm}$ $f = 0,1 \text{ mm}$	1.3	6.1	2.3	2.2	6.2	6.2
Ein- stechen	$a_p = 0,25 \text{ mm}$ $f = 0,05 \text{ mm}$	1.3	Platten- klemmer	2.1	2.1	2.1	6.2

Bild 8.15: Spanformen bewertet nach ISO 3685 beim Drehen von ZnAl4Cu2,5Mg0,03 mit verschiedenen Kühlschmierstrategien

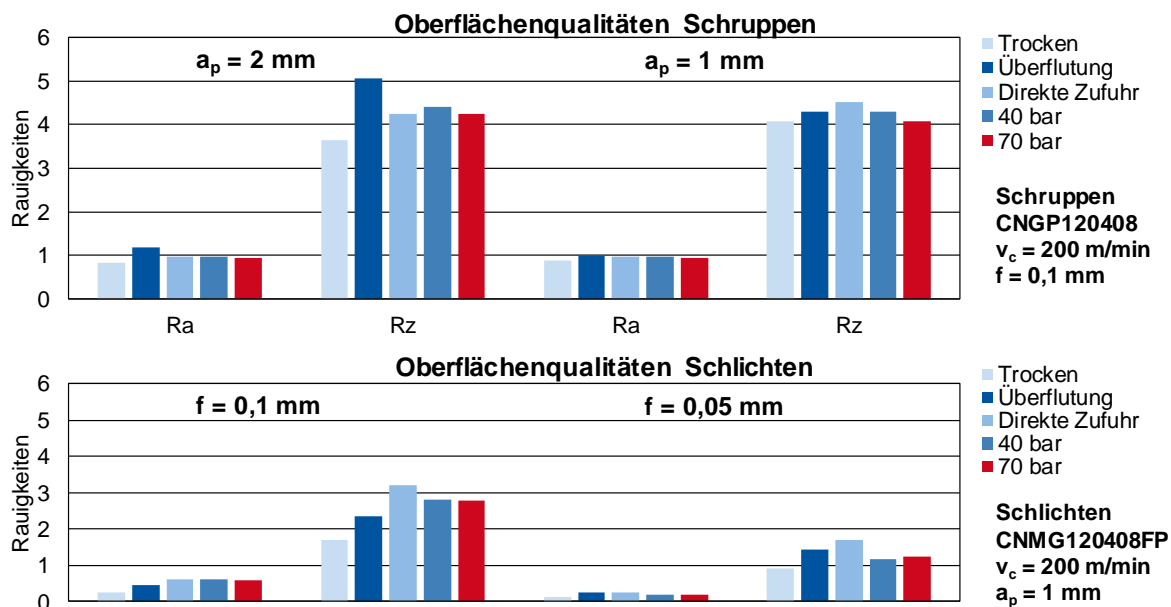


Bild 8.16: Oberflächenrauheiten beim Drehen von ZnAl10Cu1Mg0,03 mit verschiedenen Kühlschmierstrategien

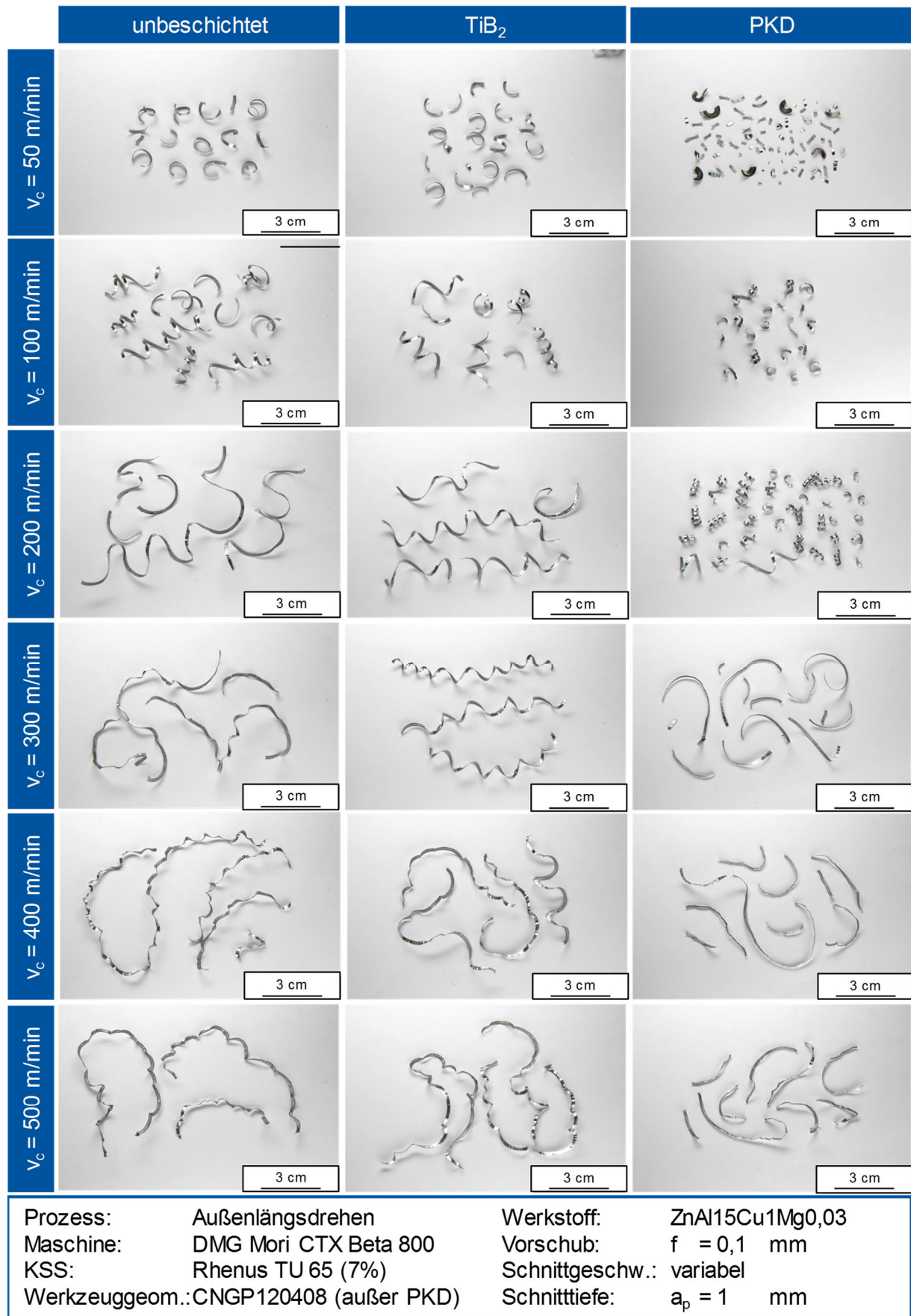


Bild 8.17: Spanformen beim Drehen mit verschiedenen Schneidstoffen und Beschichtungen bei variabler Schnittgeschwindigkeit

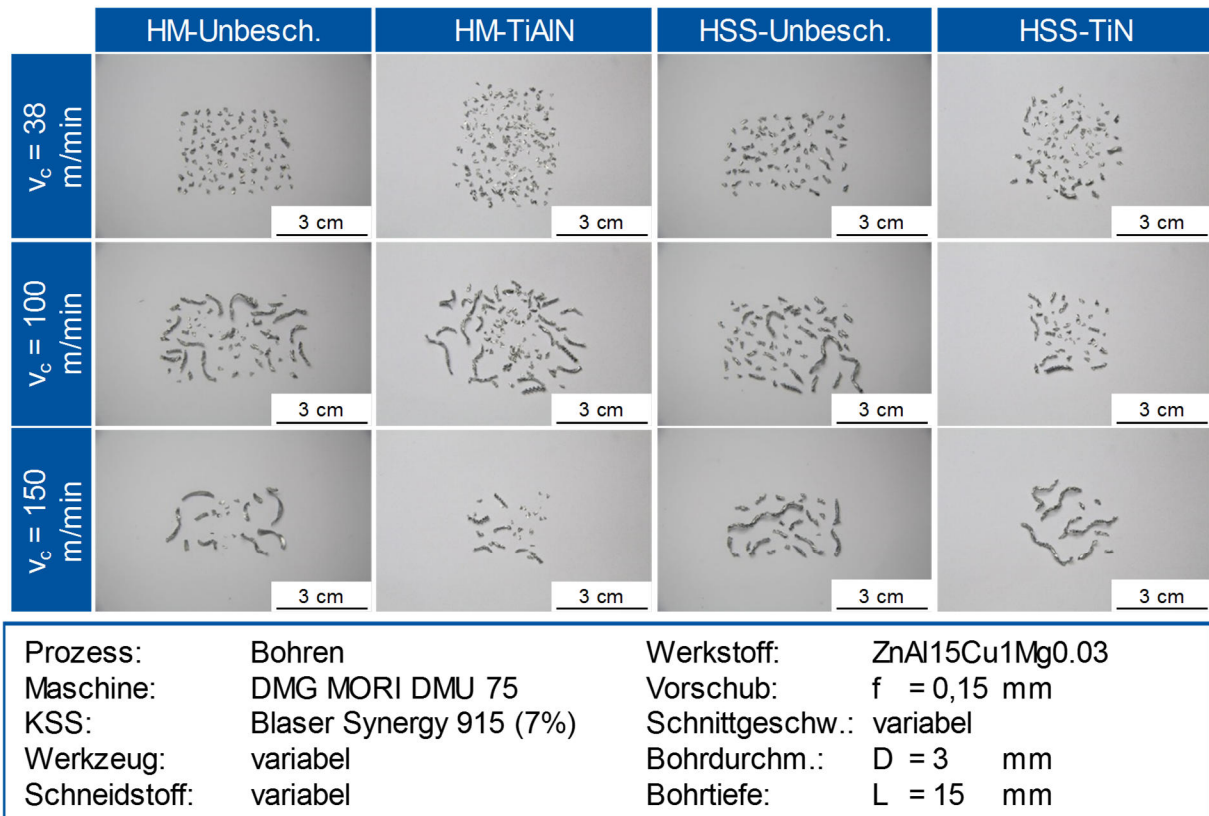


Bild 8.18: Spanformen beim Bohren mit verschiedenen Schneidstoffen und Schnittgeschwindigkeiten

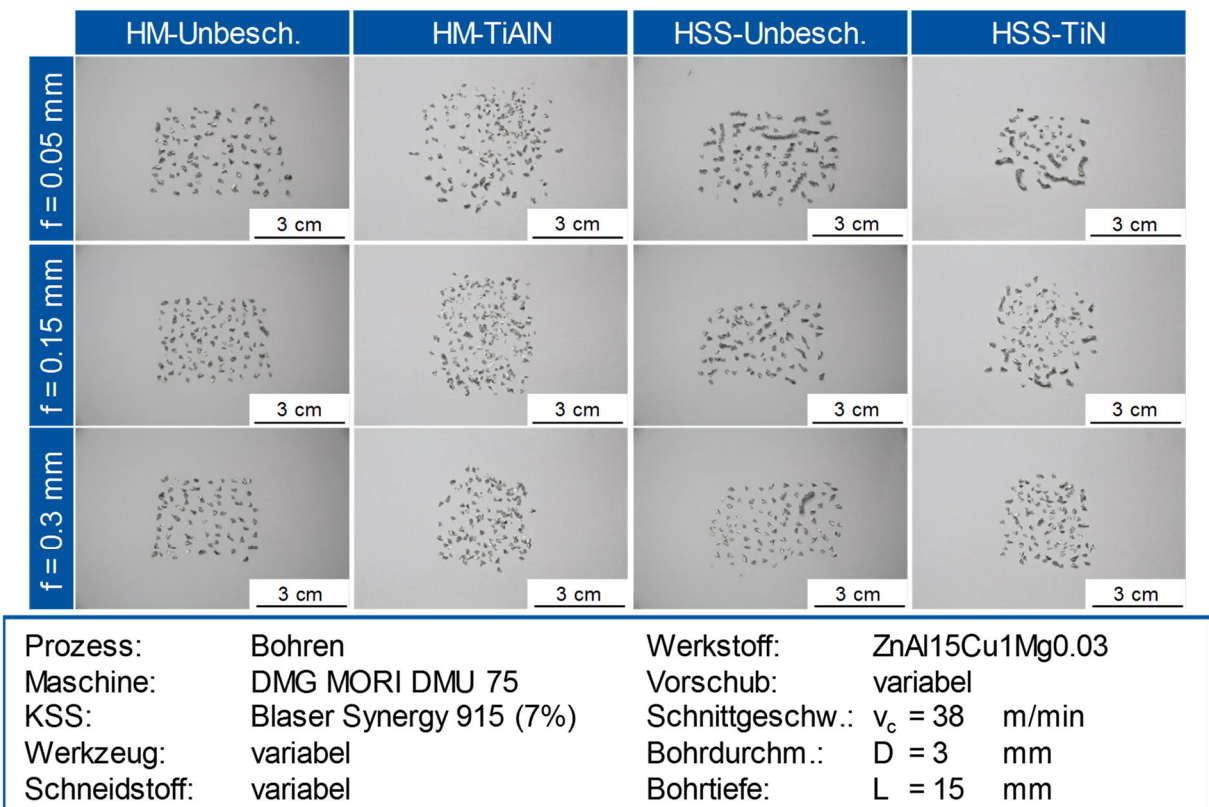


Bild 8.19: Spanformen beim Bohren mit verschiedenen Schneidstoffen und Vorschüben

Literatur:

- [1] Richtlinie 2000/53/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 18. September 2000 über Altfahrzeuge, Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, L 269/34, DE, 21.10.2000
- [2] Richtlinie 2002/95/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 27. Januar 2003 zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten. Amtsblatt der Europäischen Union, 13.2.2003, DE, L 37/19
- [3] Verordnung zur Novellierung der Trinkwasserverordnung vom 21 Mai 2001. Bundesgesetzblatt, Jahrgang 2001, Teil I Nr. 24, ausgegeben zu Bonn am 28. Mai 2001
- [4] Klocke, F., König, W.: Fertigungsverfahren – Drehen, Fräsen, Bohren. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, New-York, 8. Auflage, 2008
- [5] Lung, D.: Entwicklung einer Hochleistungszerspanung für schwerzerspanbare bleifreie Kupferknet- und -gusslegierungen. Schlussbericht zu AiF-IGF Vorhaben 16867 N. Aachen, 2013