



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN  
Vienna University of Technology

Institut für  
Fertigungstechnik und  
Hochleistungslasertechnik



# Masterarbeit

## Optimierung von Planfräsbearbeitungen an Kurbelgehäusen

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines

Master of Science unter der Leitung von

**Univ.-Prof. Dipl. Ing. Dr. Bleicher**

(Institut für Fertigungstechnik und Hochleistungslasertechnik)

eingereicht an der Technischen Universität Wien

**Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften**

von

**Christoph Hintermeier**

0625124 (E 066 445)

Mittersteig 11/10

1040 Wien

Wien, im November 2012

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Christoph Hintermeier, BSc'.

Christoph, Hintermeier

Ich habe zur Kenntnis genommen, dass ich zur Drucklegung meiner Arbeit unter der Bezeichnung

## **Masterarbeit**

nur mit Bewilligung der Prüfungskommission berechtigt bin.

Ich erkläre weiters Eides statt, dass ich meine Masterarbeit nach den anerkannten Grundsätzen für wissenschaftliche Abhandlungen selbstständig ausgeführt habe und alle verwendeten Hilfsmittel, insbesondere die zugrunde gelegte Literatur, genannt habe.

Weiters erkläre ich, dass ich dieses Masterarbeitsthema bisher weder im In- noch Ausland (einer Beurteilerin/einen Beurteiler zur Begutachtung) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe und dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit übereinstimmt.

Wien, im November 2012

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Christoph Hintermeier, BSc', written over a horizontal line.

Christoph, Hintermeier

## Danksagung

An dieser Stelle möchte ich all jenen Personen danken, die an der Umsetzung dieser Arbeit beteiligt waren. Allen voran möchte ich Herrn Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Friedrich Bleicher für seine großartige Unterstützung danken.

Die Unterstützung des Institutes für Fertigungs- und Hochleistungstechnik der TU Wien und aller Mitarbeitern, vor allem jene von Herrn Dipl.-Ing. Georg Geiger waren eine sehr große Hilfe.

Auch den tatkräftigen Mitarbeitern der Opel Wien GmbH möchte ich meinen Dank aussprechen. Besonders die Leistungen von Herrn Robert Kletzer und dem gesamten Team der Werkzeugaufbereitung, welche mich stets in meinen Anliegen unterstützt haben, würde ich gerne hervorheben.

Auch Herrn Ing. Karl Amon möchte ich meinen Dank für die Hilfe bei den organisatorischen Abläufen ausdrücken. Seiner Unterstützung ist es zu verdanken, dass die Zusammenarbeit zwischen Universität und Wirtschaft weitestgehend reibungslos verlaufen sind.

Auch die großartige Unterstützung meiner Familie, besonders jene meiner Eltern muss hier erwähnt werden. Ihr Rückhalt hat mein Studium erst ermöglicht.

## Kurzfassung

Die Optimierung von bestehenden Bearbeitungsprozessen zählt zu den wichtigsten Möglichkeiten die Produktivität und Effizienz von Fertigungslinien zu steigern.

Vor allem bei Großserienproduktionen können, aufgrund der hohen Stückzahlen, bereits geringe Verbesserungen zu enormen Einsparungen führen.

Eine Optimierung im laufenden Betrieb zu realisieren gestaltet sich zunehmend komplizierter. Bedingt durch kürzer werdende Produktlebenszyklen und „Just in Time“ basierende Lagersysteme, unterliegen die meisten Fertigungslinien einem sehr großen Produktionsdruck. Die zunehmende Vernetzung einzelner Produktionsstätten miteinander führt dazu, dass der Ausfall einer einzelnen Fertigungslinie an einem Ort, zu einem Ausfall mehrere Produktionsstandorte weltweit führen kann. Die Automobilindustrie ist hierfür ein gutes Beispiel.

Die Möglichkeiten Optimierungspotentiale zu identifizieren und Verbesserungen umzusetzen sind somit immer an die Forderung gebunden die laufende Produktion nicht zu unterbrechen. Dies schränkt die Möglichkeiten zur Untersuchung von Prozessen sehr stark ein. Die Umsetzung von Verbesserungen muss rasch erfolgen und sollte auf den bestehenden Prozessen aufbauen.

Diese Arbeit dokumentiert die Optimierung eines bestehenden Prozesses in einer Fertigungslinie eines Automobilherstellers. Untersucht wurde ein Planfräsprozess an Kurbelgehäusen. Um die laufende Produktion nicht unterbrechen zu müssen konzentrierten sich die Untersuchungen vor allem auf die eingesetzten Werkzeuge und deren Verschleißverhalten. Außerdem wurde eine kritische Beurteilung des gesamten Arbeitsablaufs und des Werkstück- und Werkzeughandlings in der betreffenden Fertigungslinie durchgeführt.

Anhand der Ergebnisse dieser Arbeit konnte eine detaillierte Empfehlung zur Effizienzsteigerung abgegeben werden.

## Abstract

The optimization of established machining processes is an important possibility to increase the productivity and the efficiency of manufacturing systems.

Particularly in high quantity productions, even a small improvement can lead to large savings, due to the large number of produced parts.

An optimization during the ongoing production becomes increasingly complicated. Caused by shortened product lifecycles and “just in time” based storage systems, most manufacturing systems underlie an extreme production pressure. Increasing cross-linking between production sites leads to a high dependence. The breakdown of one machine can cause the downtime of several production sites worldwide. The automotive industry is a good example for this.

Thereby, the identification of optimization potentials and the implementation of improvements is always linked to the requirement, to never interrupt the ongoing production. This requirement limits the number of possible research methods. Improvements have to be implemented very quick and based on the existing processes.

This paper documents the optimization of an established machining process, which was part of an automotive manufacturing system.

Centre of the research was a face milling process, carried out on a crankcase. To assure that the ongoing production wasn't disturbed, the research focused particularly on the applied tools and their wear behavior. Furthermore, a critical assessment of the tool- and part-handling was carried out for the concerning production line.

By means of the results of this investigation, a detailed recommendation for an improvement of the efficiency was generated.

## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung .....	6
1.1	Problemstellung .....	6
1.2	Vorgehensweise .....	8
2	Werkstoff .....	10
3	Bearbeitungsprozess .....	11
3.1	Bearbeitungsmaschinen .....	12
3.2	Werkstückaufspannung .....	14
3.3	Werkzeuge .....	17
4	Zerspanbedingungen am Werkzeug .....	22
4.1	Aufbereitungsprozess .....	22
4.2	Vermessung der Werkzeuge .....	25
4.3	Berechnung des Spanungsquerschnitt .....	27
5	Werkzeugverschleiß .....	34
5.1	Unbeschichtete Wendeschneidplatten .....	35
5.2	Beschichtete Wendeschneidplatten .....	39
5.3	Wendeschneidplatten mit geändertem Neigungswinkel .....	43
6	Verschleißmerkmale am Werkstück .....	46
6.1	Ebenheit der Fläche in der Fertigbearbeitung .....	46
6.2	Ebenheit der Fläche in der Fertigbearbeitung .....	52
6.3	Rautiefe .....	55
6.4	Gesamtlänge des Werkstückes .....	56
6.5	Optische Kontrolle .....	56
7	Zusammenfassung .....	60
8	Literaturverzeichnis .....	63
9	Abbildungsverzeichnis .....	65
10	Formelverzeichnis .....	69
11	Tabellenverzeichnis .....	70

# 1 Einleitung

In der Motorenfertigung spielen Planfräsbearbeitungen eine sehr wichtige Rolle. Vor allem an Verbindungsflächen des Motors zu diversen Anbauteilen, aber auch bei Dichtflächen, ist die Genauigkeit der gefertigten Flächen von sehr großer Bedeutung für die Funktion des Motors.

Neben den Ansprüchen an die Genauigkeit sind natürlich auch die Produktivität und die Wirtschaftlichkeit von Planfräsbearbeitungen entscheidende Faktoren. Werden bei einer Planfräsbearbeitung die geplanten Standzeiten nicht erreicht, kann dies zu erheblichen Einbußen bei der Wirtschaftlichkeit und der Ausbringung des Prozesses führen. Außerdem birgt ein nicht Erreichen der geplanten Standzeit das Risiko, dass Werkstücke mit verschlissenenem Werkzeug bearbeitet werden, was zu einem schlechten Bearbeitungsergebnis und damit zur Produktion von schadhaften Werkstücken führen kann.

## 1.1 Problemstellung

Bei der Fertigbearbeitung der Getriebeanschlussseite von Zylinderblöcken wurden die geforderten Standzeiten nicht erreicht. Es handelte sich um Zylinderblöcke der Familie 0-Motoren von Opel, die im Motoren Werk Wien Aspern gefertigt werden.

Der Prozess wurde analysiert, um mögliche Ursachen für die Standzeitschwankungen aufzuzeigen. Ziel war es, Möglichkeiten zur Erhöhung der Standzeit zu erarbeiten.

Der Verschleiß der eingesetzten Fräser wurde anhand der bei der Bearbeitung erreichten Genauigkeit festgestellt. Als Qualitätsmerkmale der Getriebeanschlussfläche waren vom Hersteller die Rauheit der Fläche, die Flächenform und die Gesamtlänge des Zylinderblocks definiert.

Ein besonderes Augenmerk der Untersuchungen lag auf einer Unebenheit an den Außenbereichen der bearbeiteten Fläche, in Höhe der Starterbohrung des Zylinderblocks. Die Unebenheit konnte als Stufe ertastet werden und trat erst allmählich mit fortgeschrittenem Verschleiß des Fräasers auf. Zur Außenseite des Teiles hin war eine glänzende Oberfläche erkennbar. Abbildung 1-1 zeigt eine schematische Darstellung der Unebenheit am Zylinderblock, Abbildung 1-2 und 1-3 zeigen Fotografien.

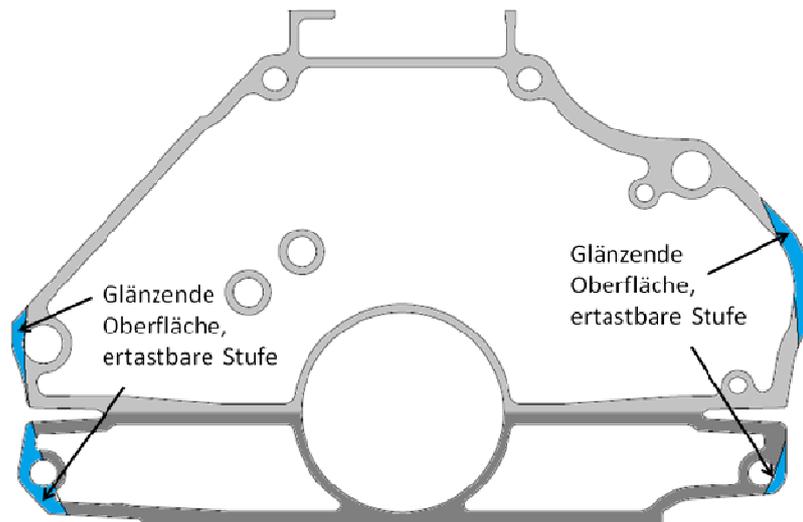


Abbildung 1-1: Schematische Darstellung der Unebenheit



Abbildung 1-2: Unebenheit links



Abbildung 1-3: Unebenheit rechts

Bei der betreffenden Fertigungslinie am Standort Aspern handelte es sich um eine Engpass-Linie. Ein Ausfall der Fertigungslinie hätte zum Stillstand der gesamten Motorenproduktion geführt. Aus diesem Grunde durfte die laufende Produktion durch die Untersuchungen nicht über längere Zeiträume gestört werden.

Eine Messung direkt am zu bearbeitenden Teil während der laufenden Produktion war ausgeschlossen, da dies nur durch eine Abschaltung und teilweisen Demontage der betreffenden Transfermaschine zu bewerkstelligen gewesen wäre.

Es wurde im Drei-Schichtbetrieb an sechs Tagen der Woche produziert. Längere produktionsstillstände durch Feiertage oder Werksferien wurden für

Instandhaltungstätigkeiten verwendet. Eine Untersuchung der Maschine an Produktionsfreien Tagen war insofern auch nicht möglich.

Die Untersuchungen beschränkten sich demnach auf die Analyse der Werkzeuge und auf das Umfeld der Maschine, sowie eine genaue Untersuchung der bearbeiteten Fläche. Auch der Einsatz von Versuchswerkzeugen war nur bedingt möglich, da die Produktion von Ausschussteilen über einen längeren Zeitraum einem Produktionsausfall gleichbedeutend gewesen wäre.

## **1.2 Vorgehensweise**

Wie in Abschnitt 1 beschrieben, waren die Untersuchungsmöglichkeiten an der betreffenden Maschine sehr stark eingeschränkt. Es wurde ein Untersuchungsplan entsprechend der vorliegenden Randbedingungen erarbeitet.

Der erste Teil des Untersuchungsplans konzentrierte sich auf die Werkstoffzusammensetzung und die mechanischen Eigenschaften der zu bearbeiteten Werkstücke.

Im zweiten Teil wurde der eigentliche Bearbeitungsprozess untersucht, um mögliche Ursachen für Standzeitschwankungen zu identifizieren. Es wurden sowohl die Maschinen als auch die eingesetzten Werkzeuge analysiert, auch die Vorbearbeitung der Werkstücke wurde in die Untersuchungen mit einbezogen.

Das Hauptaugenmerk des dritten Teils des Untersuchungsplans richtete sich auf die Schnittbedingungen am Werkzeug. Hierbei wurde auch der Aufbereitungsprozess der Werkzeuge untersucht. Es wurde der exakte Spanungsquerschnitt jeder einzelnen Schneide der eingesetzten Werkzeuge berechnet und untersucht, ob Abweichungen einzelner Schneiden des Werkzeuges innerhalb des Toleranzfeldes einen Einfluss auf das Verschleißverhalten der betreffenden Platten haben.

Der fünfte Teil des Untersuchungsplans bestand darin, den Verschleiß an den eingesetzten Werkzeugen zu untersuchen und den Einsatz von Beschichtungen zur Standzeiterhöhung zu bewerten.

Der letzte Teil des Untersuchungsplanes beschäftigte sich mit der Analyse jener Merkmale, die sich an der bearbeiteten Fläche des Werkstücks auf Grund des Werkzeugverschleißes ausbilden. Es wurden sowohl Rauheit, Ebenheit als auch die Gesamtposition der Fläche im Bezug auf das gefertigte Teil betrachtet. Auch die Messverfahren wurden auf ihre Zuverlässigkeit hin überprüft.

Die Erkenntnisse der Untersuchungen wurden zusammengetragen und ausgewertet. Anschließend wurde ein Ursache-Wirkungs-Diagramm erstellt.

Die folgenden Abschnitte dieser Arbeit orientieren sich an den einzelnen Schritten des beschriebenen Untersuchungsplans, die einzelnen Abschnitte entsprechen den einzelnen Teilen des Untersuchungsplans.

## 2 Werkstoff

Der zu bearbeitende Werkstoff ist abhängig von den einzelnen Motorentypen. Der Zylinderblock besteht bei allen Motorentypen aus Grauguss mit der Opel-internen Bezeichnung GMW4M-IR-CG250.

Das Bedplate der Turbomotoren besteht aus demselben Grauguss wie der Zylinderblock. Bei den Saugmotoren wird hingegen eine Aluminium-Gusslegierung mit der Opel-internen Bezeichnung GMW5M-Al-C-P-Si-Cu3-F verwendet. Die mechanischen Eigenschaften der einzelnen Werkstoffe sind in der nachstehenden Tabelle 2-1 aufgelistet.

Material	Opel-Interne Bezeichnung	Härte [HBW]	Zugfestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]
Aluminiumlegierung	GMW5M-Al-C-P-Si9Cu3-F	90	210
Grauguss	GMW4M-IR-C-G250	187-255	250

Tabelle 2-1: Eigenschaften der verwendeten Werkstoffe [1], [2]

Abbildung 2-1 zeigt die Getriebeanschlussfläche des Zylinderblocks mit dem verschraubten Bedplate. Der Anteil des Zylinderblocks am Spannungsvolumen beträgt 60% (7.757mm<sup>2</sup>), der des Bedplate 40% (5.181mm<sup>2</sup>).

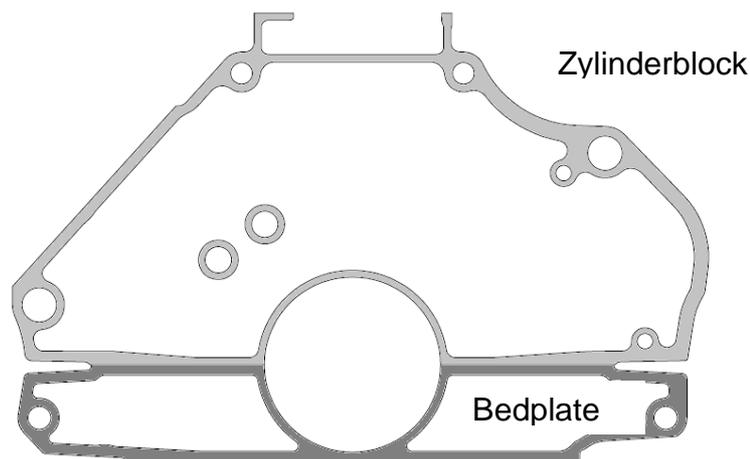


Abbildung 2-1: Flächenanteile von Zylinderblock und Bedplate

Die geringere Härte und Zugfestigkeit der Aluminiumlegierung und der relativ hohe Flächenanteil des Bedplates an der bearbeitenden Fläche weisen auf einen höheren Verschleiß bei der Bearbeitung von Turbomotoren hin.

### 3 Bearbeitungsprozess

Der Bearbeitungsprozess des betrachteten Zylinderblocks erstreckte sich vom Gussrohling bis hin zum fertigbearbeiteten Werkstück, welches in der Montage verbaut wurde. Da eine Analyse des gesamten Bearbeitungsprozesses den Rahmen dieser Arbeit gesprengt hätte, wurde die Analyse des Bearbeitungsprozesses auf wesentliche Teiloperationen begrenzt. Wie in Abschnitt 1 bereits beschrieben bestand das Werkstück aus zwei einzelnen Teilen, dem Bedplate und dem Zylinderblock. Die beiden Teile wurden zuerst einzeln bearbeitet, die Fertigbearbeitung erfolgte jedoch gemeinsam im verschraubten Zustand. Im Zuge der Untersuchungen wurden nur jene Bearbeitungsschritte, analysiert die für die Planfräsbearbeitung der Getriebeanschlussseite des Zylinderblocks im verschraubten Zustand relevant waren. Es handelt sich hierbei um eine Schruppbearbeitung mit der Opel-internen Bezeichnung OP 1080 und einer Schlichtbearbeitung mit der Opel-internen Bezeichnung OP 1090. Diese Opel-internen Nummern beschreiben jeweils einzelne Transferlinien, bestehend aus mehreren Stationen. Die Schruppbearbeitung der Fläche erfolgte in Station Nummer 6 der Transferlinie, die Schlichtoperation in den Stationen 8 und 9. Bei der Schruppbearbeitung wurde ein Aufmaß von 0,4mm für die Fertigbearbeitung berücksichtigt.

Die Analyse des Bearbeitungsprozesses umfasste drei wesentliche Bereiche, die Bearbeitungsmaschinen an sich, die Aufspannung der Werkstücke während der Bearbeitung, sowie die eingesetzten Werkzeuge.

Zur Analyse der Bearbeitungsmaschinen wurden Konstruktionszeichnungen, Werkzeugpläne als auch die Aufzeichnungen über Instandhaltungsmaßnahmen herangezogen.

Die Aufspannung der Werkstücke konnte auf Grund der in Abschnitt 1.1 beschriebenen Umstände nur anhand der Konstruktionszeichnungen beurteilt werden. Ziel war es, eventuelle Schwachstellen im Aufbau der Spannvorrichtungen zu identifizieren.

Die Werkzeuge wurden hinsichtlich des prinzipiellen Aufbaus untersucht um etwaige Schwachstellen in der Werkzeugkonstruktion auszumachen. Des Weiteren wurden die vorherrschenden Schnittparameter untersucht.

### 3.1 Bearbeitungsmaschinen

Sowohl die Vorbearbeitung als auch die Fertigbearbeitung erfolgten auf Maschinen der Firma Ex-Cello. Für die Vorbearbeitung stand nur eine einzelne Frässpindel zur Verfügung. Die Fertigbearbeitung erfolgte auf Grund der längeren Bearbeitungszeit auf zwei parallel arbeitenden Frässpindeln. Abbildung 3-1 und Abbildung 3-2 zeigen Auszüge aus den entsprechenden Werkzeugplänen. Es sind sowohl die Fräsbahn, die Transferrichtung des Werkstücks, sowie die Lage des Werkstücks in der Maschine abgebildet. Die Bearbeitungswege wurden mit den NC-Programmen der einzelnen Maschinen abgeglichen, um eventuelle Unterschied zwischen den in den Werkzeugplänen angegeben Daten und der tatsächlichen Bearbeitung in der Maschine auszuschließen. Es konnten keine jedoch Abweichungen festgestellt werden.

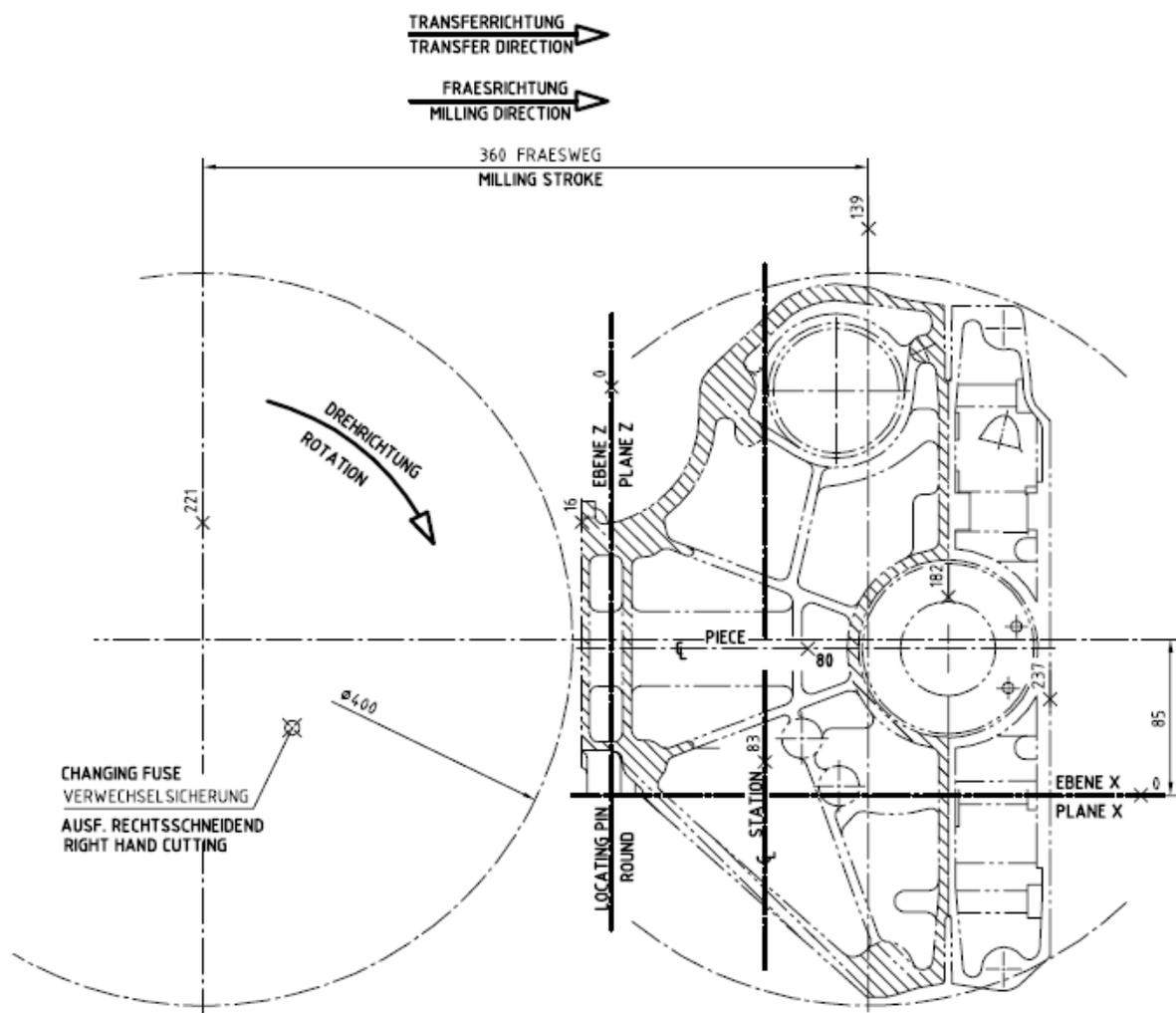


Abbildung 3-1: Werkzeugplan OP 1080 [3]

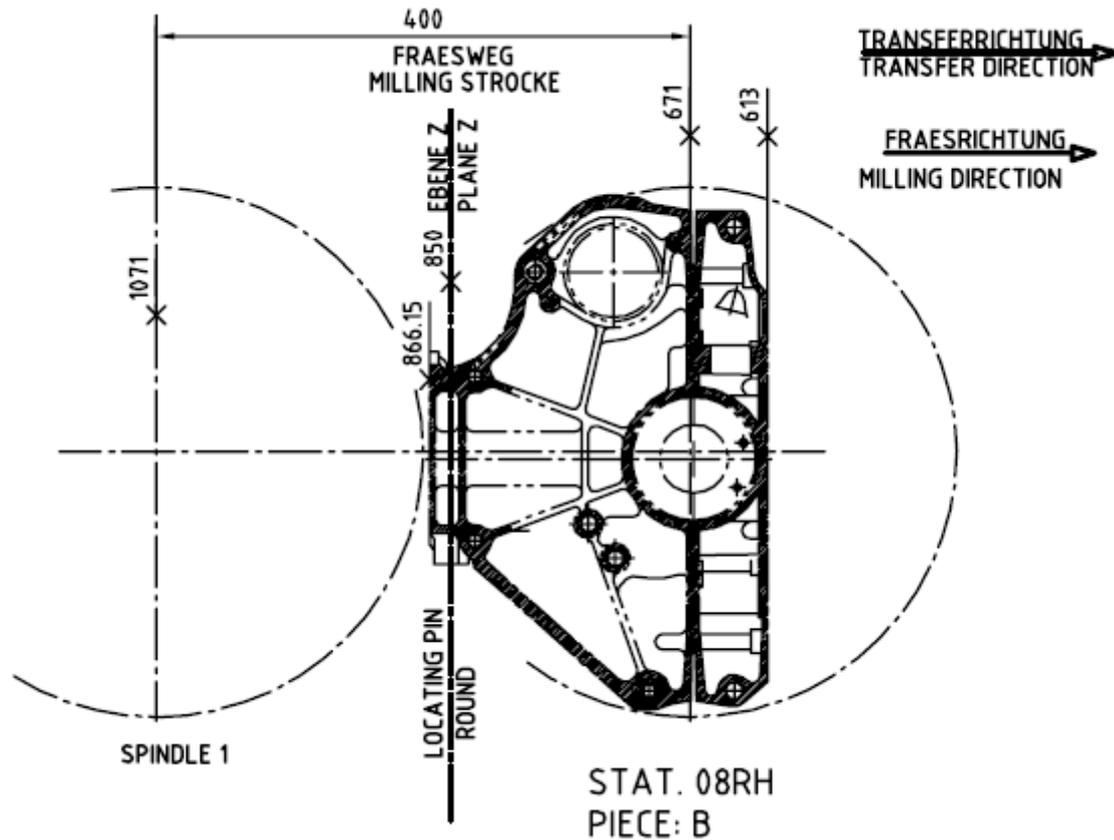


Abbildung 3-2: Werkzeugplan OP 1090 [4]

Laut den Aufzeichnungen der Instandhaltung wurde die Station der OP 1080 das letzte Mal im Jahre 2000 überholt. Die Stationen 8 und 9 der OP 1090 wurden hingegen im Sommer 2011 überarbeitet. Hierbei wurden die Führungsleisten beider Maschinen neu eingestellt und die exakte Position der Leisten durch das Fertigen und vermessen von Versuchsteilen überprüft.

Des Weiteren wurden bei allen Bearbeitungsmaschinen Schwingungsmessungen durch die Instandhaltung durchgeführt. Diese Messungen dienen dazu, einen möglichen Lagerschaden an der Spindellagerung zu identifizieren. Ein solcher Lagerschaden zeichnet sich durch einen spezifischen Frequenzgang aus, welcher durch einen Vergleich der Schwingungsmessung mit aufgezeichneten Messungen der letzten Jahre eindeutig festgestellt werden kann. Bei den Schwingungsmessungen wurden jedoch keine Besonderheiten festgestellt, ein Lagerschaden als Ursache für die Standzeitschwankungen konnte somit ausgeschlossen werden.

## 3.2 Werkstückaufspannung

Die Spannvorrichtung in der Maschine hat einen entscheidenden Einfluss auf die Stabilität des Werkstücks während des Bearbeitungsprozesses. Alle Passivkräfte, die während der Bearbeitung auftreten, müssen durch die Spannvorrichtung aufgenommen werden. Ein eventuelles Nachgeben der Auflage kann zu einem Versatz des Werkstückes und damit zu Unebenheiten am zu bearbeitenden Werkstück führen. Je stärker das Werkzeug verschlissen ist, desto größer werden die Passivkräfte während der Zerspanung, welche von der Spannvorrichtung der Maschine aufgenommen werden müssen.

Wie schon in Kapitel 1. beschrieben, war eine genaue Messung der Kräfte und Bewegungen des Werkstücks in der Spannvorrichtung während der Bearbeitung unter den gegebenen Umständen nicht möglich. Es wurde demnach nur der Aufbau der Spannvorrichtung anhand von Zeichnungen analysiert, sowie der Kraftfluss und die Stabilität während der Bearbeitung beurteilt.

Abbildung 3-1 zeigt Auszüge aus den Konstruktionszeichnungen der Werkstückaufnahme in der Station.

Zur besseren Veranschaulichung wurde ein dreidimensionales Modell des Werkstücks in der Spannvorrichtung erstellt, welches in den Abbildungen 3-2 und 3-3 ersichtlich ist. Die beiden Detailansichten, die in der Abbildung 3-4 dargestellt ist, zeigen die einzelnen Auflagepunkte des Werkstückes.

Das Werkstück wird an insgesamt neun Punkten fixiert. An der Unterseite wird es anhand zweier Bohrungen zentriert und an zwei Flächen abgestützt, an der Oberseite werden vier hydraulisch betätigte Andrücker eingesetzt. Ein weiterer Andrücker an der Oberseite stützt den Teil entgegen der Transferrichtung ab.

Auffällig ist vor allem, dass die Randzonen an der Getriebeanschlussfläche nicht abgestützt werden. Beim Stirnfräsen kann es beim Einsatz von Fräsern mit großem Durchmesser zu sehr großen Schnittkräften vor allem in den Randzonen der Bearbeitungszone kommen. Im betrachteten Fall wird ein Fräser mit sehr großem Durchmesser eingesetzt. Passivkräfte, die während der Bearbeitung auftreten könnten, werden von der entsprechenden Spannvorrichtung nur unzureichend aufgenommen. Es kann zu einer elastischen Verformung der Werkstückfläche während der Bearbeitung kommen.



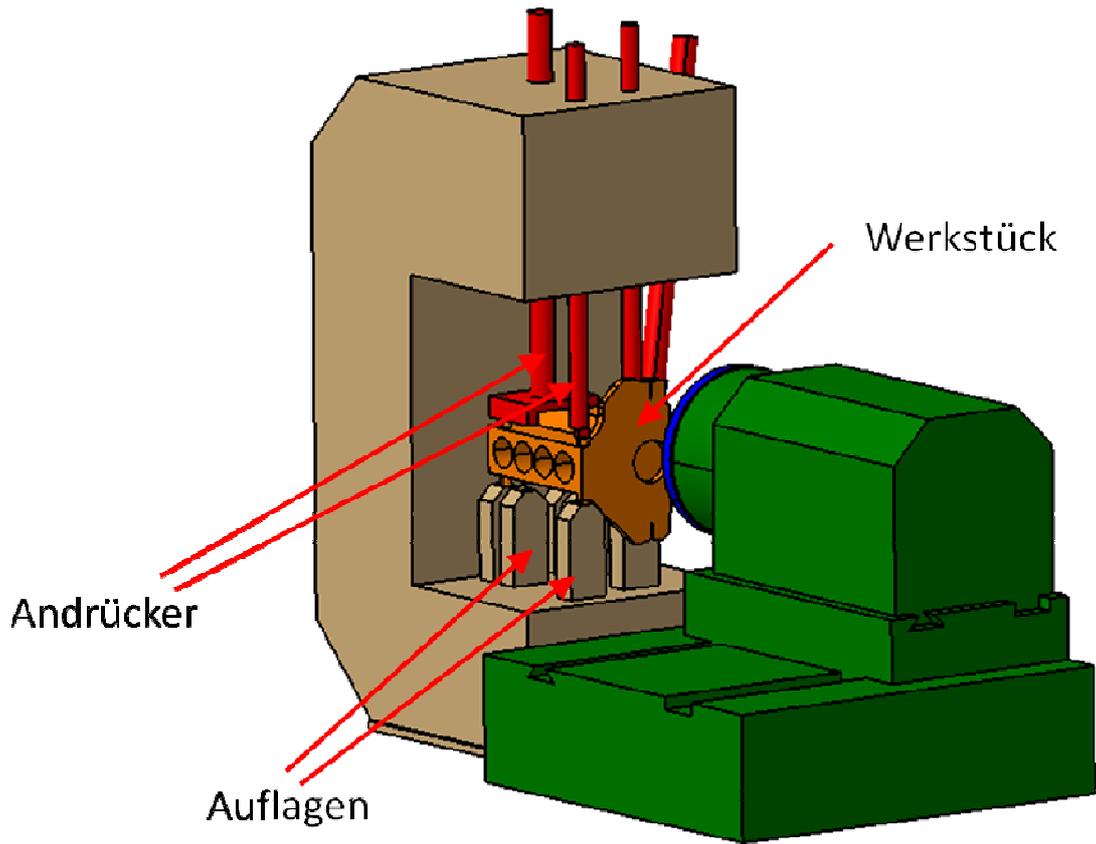


Abbildung 3-2: Dreidimensionale Darstellung der Werkstückauflage in der Maschine

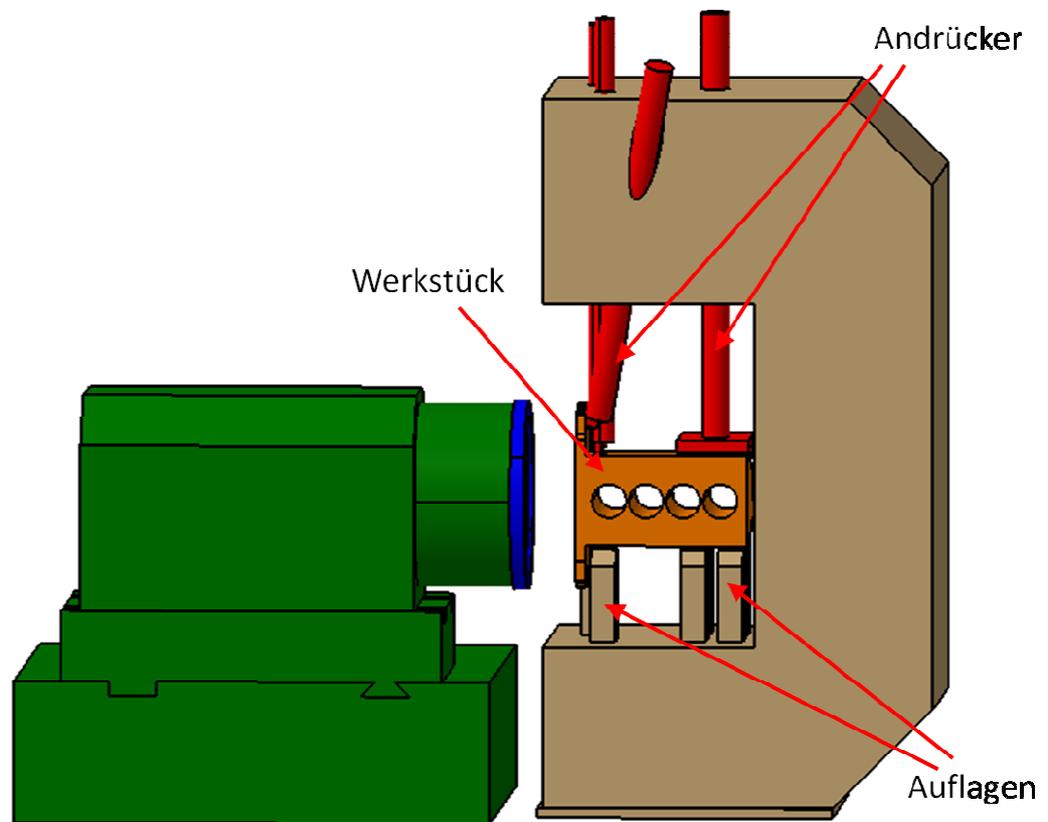


Abbildung 3-3: Dreidimensionale Darstellung der Werkstückauflage in der Maschine

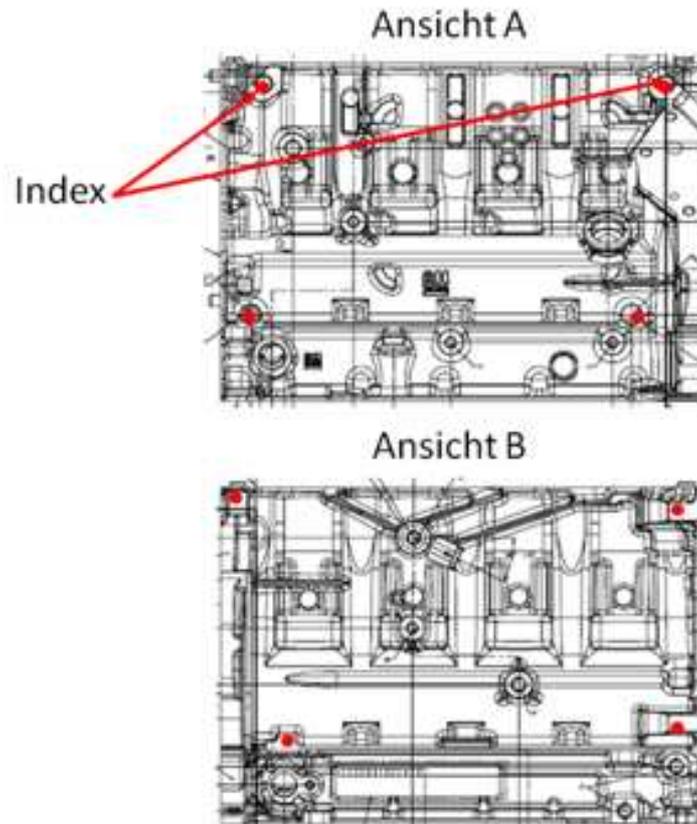


Abbildung 3-4: Spannpunkte am Werkstück

### 3.3 Werkzeuge

Wie in Abschnitt 3 erwähnt, wurde für die hier beschriebene Untersuchung sowohl die Vorbearbeitung als auch die Fertigbearbeitung der Getriebeanschlussfläche analysiert. Die exakten Schnittbedingungen an den einzelnen Schneiden wurden jedoch lediglich in der Fertigbearbeitung ermittelt. Aus diesem Grunde sind im Folgenden zwar die Schnittparameter der Werkzeuge beider Bearbeitungen aufgelistet, Konstruktionszeichnungen des Werkzeuges und der eingesetzten Wendeschneidplatten werden jedoch ausschließlich jene der Fertigbearbeitung dargestellt.

Bei der Vorbearbeitung wurde ein Fräskörper der Firma Sandvik eingesetzt. Dieser war mit 30 Wendeschneidplatten der Firma Plansee bestückt.

Für die Fertigbearbeitung wurde ein Fräser der Firma Ingersoll verwendet. Der Fräser ist mit 30 Schlichtwendeschneidplatten und 30 Schruppwendeschneidplatten der Firma Ingersoll bestückt. In Abbildung 3-6 ist die Herstellerzeichnung des Fräasers abgebildet, Abbildung 3-7 zeigt eine Detailaufnahme des Fräskörpers. Die Schlichtplatten waren normal zur Drehachse des Fräasers angeordnet, die

Schruppplatten parallel zur Drehachse. Die Neigung der Schlichtplatten konnte durch zwei Einstellschrauben am Plattensitz verstellt werden. Diese Einstellung wurde jedoch vom Hersteller vorgenommen und von den Mitarbeitern beim Aufbereiten des Werkzeuges nicht verändert. Es sind deutlich die einzelnen Werkzeugaufnahmen für je eine Schrupp und eine Schlichtplatte zu erkennen. Die 30 Werkzeugaufnahmen waren gegen den Uhrzeigersinn nummeriert und in jeder fünften Auflage war die Nummerierung eingestanzt. Dies ermöglichte eine eindeutige Identifikation der einzelnen Schneiden ohne aufwendige Markierprozesse.

Zur Zeit der Untersuchung waren acht verschiedenen Fräskörper für die Fertigbearbeitung im Umlauf.

Tabelle 3-1 gibt Auskunft über die Schnittparameter der eingesetzten Werkzeuge. Wie bereits in Abschnitt 3.1 erwähnt, wurden die Schnittdaten aus den Werkzeugplänen mit jenen aus den aktuellen NC-Programmen der Bearbeitungsmaschinen verglichen.

Die Bewertung der Schnittparameter wurde gemeinsam mit dem Werkzeugherstellern durchgeführt. Es wurde festgestellt, dass die gewählten Werkzeuge mit den angeführten Schnittparametern für die Bearbeitung gut geeignet waren. Da die untersuchten Standmengenprobleme erst nach langjährigem Betrieb aufgetreten waren und die Schnittparameter weder vor noch nach dem Auftreten der Probleme verändert wurden, konnte ein direkter Zusammenhang mit den Schnittparametern ausgeschlossen werden. Um dennoch eine genaue Analyse der exakten Schnittbedingungen zu ermöglichen, insbesondere die genauen Schnitttiefe und Schnittbreite an den einzelnen Schneiden wurde, wie in Abschnitt 4 beschrieben, eine Berechnung des Spanungsquerschnittes durchgeführt.

		Vorbearbeitung	Fertigbearbeitung
Durchmesser	mm	400,0	402,5
Drehzahl	U/min	112,0	160,0
Schnittgeschwindigkeit	m/min	140,7	202,3
Vorschub pro Minute	mm/min	1792,0	1350,0
Vorschub pro Umdrehung	mm/U	16,0	8,4
Vorschub pro Schneide	mm/z	0,5	0,1
Vorschubweg	mm	360,0	400,0
Bearbeitungszeit	sec	12,1	17,8
Schnitttiefe	mm	1,1	0,4

Tabelle 3-1: Parameter der Fräswerkzeuge (Siehe [3], [4])

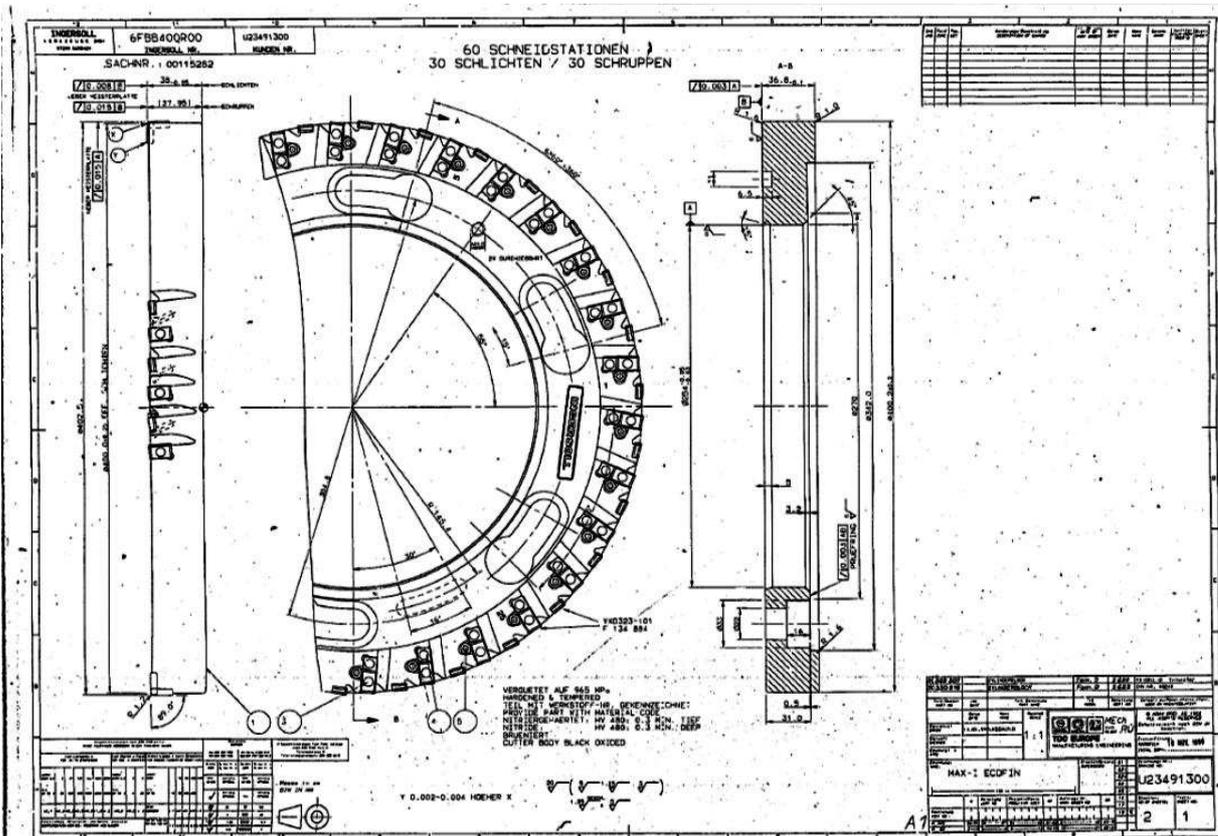


Abbildung 3-6: Herstellerzeichnung Fräskörper [6]

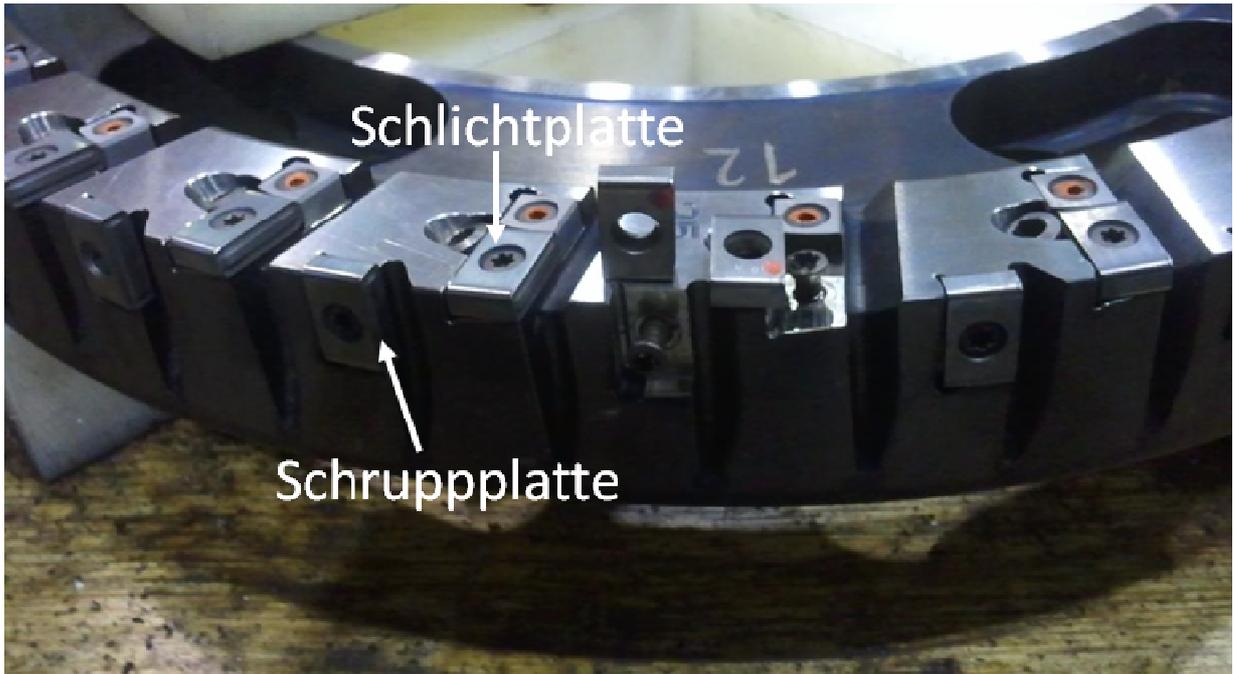


Abbildung 3-7: Detailaufnahme Fräskörper

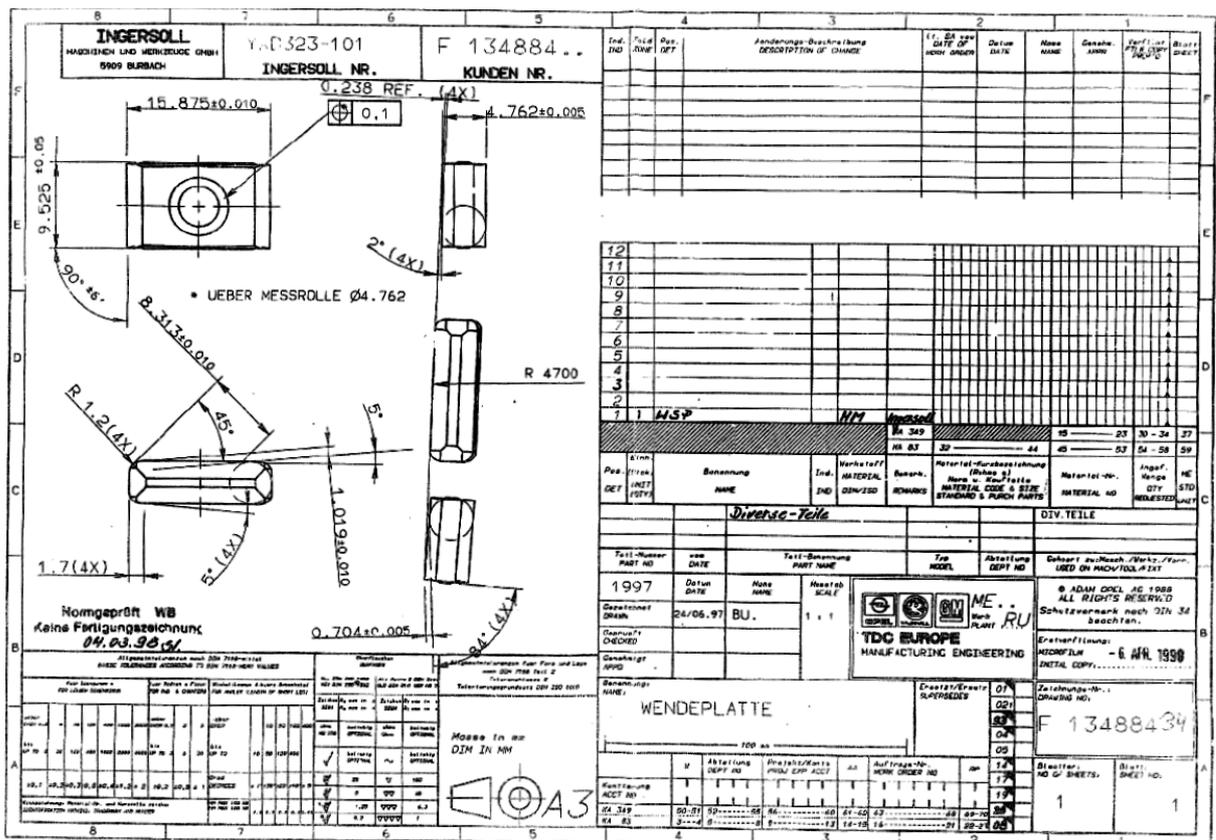


Abbildung 3-8: Herstellerzeichnung Wendschneidplatte [7]

Die Wendeschneidplatten bestanden aus Hartmetall der Sorte IN6510 und waren nicht beschichtet. Sie wurden sowohl als Schrupp- sowie auch als Schlichtplatten eingesetzt. Die Schneidplatten wurden im Neuzustand vermessen, die Schneidkantenverrundung betrug  $9\mu\text{m}$ . Abbildung 3-9. zeigt eine Aufnahme der Schneidkante unter dem Lichtmikroskop. Die scharfe Schneidkante sowie Schleiffrillen an den Freiflächen sind deutlich zu erkennen.

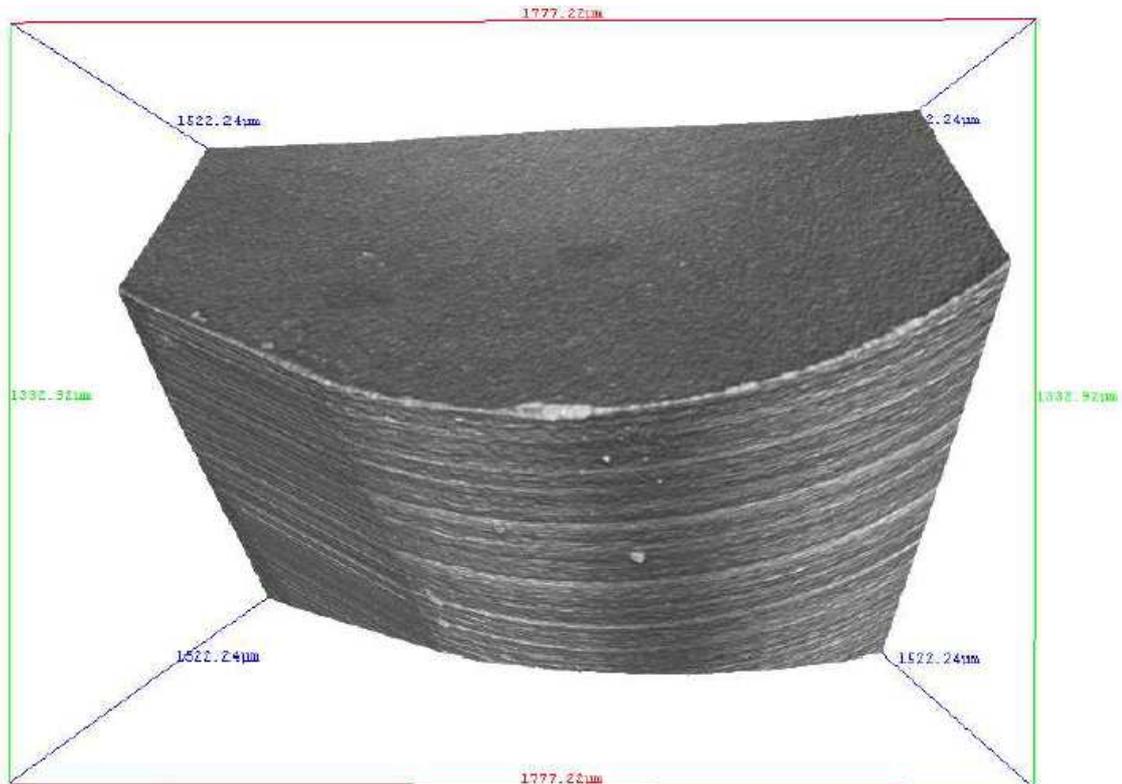


Abbildung 3-9: Aufnahme der Schneidkante unter dem Lichtmikroskop

## 4 Zerspanbedingungen am Werkzeug

Die Zerspanbedingungen am Werkzeug wurden untersucht, um eine genaue Aussage über das Verhältnis zwischen geringen Abweichungen der Schnittparameter an den einzelnen Schneiden und deren Auswirkungen auf das Verschleißverhalten treffen zu können. Es wurde insbesondere untersucht, ob geringe Unterschiede der Spanungsdicke oder Schnitttiefe zu einem stärkeren Verschleiß einzelner Schneidplatten führen können.

Außerdem wurden anhand der Verschleißbilder der Platten die entsprechenden Verschleißmechanismen und deren Ursachen analysiert.

In einem ersten Schritt wurde der Aufbereitungsprozess analysiert. Hierbei wurde eine statistische Auswertung der erreichten Standzeiten, abhängig vom verwendeten Fräskörper und abhängig vom Mitarbeiter, welcher für die Aufbereitung des Werkzeuges verantwortlich war, durchgeführt. Somit konnte analysiert werden, ob eventuelle Unterschiede bei der Handhabung der Werkzeuge Auswirkungen auf die Standzeit des Fräsers haben können.

Der zweite Schritt der Untersuchung bestand daraus, die einzelnen Schneiden der Werkzeuge genau zu vermessen und die exakten Spanungsbedingungen an den einzelnen Schneiden zu berechnen. Die Schneiden wurden nach ihrem Einsatz optisch vermessen und die Verschleißbilder mit den berechneten Werten verglichen, um eine mögliche Korrelation beurteilen zu können.

### 4.1 Aufbereitungsprozess

Der Aufbereitungsprozess des Fräsers bestand aus der Reinigung, dem Entfernen der verschlissenen Wendeschneidplatten und dem Bestücken des Fräsers mit neuen Wendeschneidplatten, beziehungsweise dem Wenden der verschlissenen Wendeschneidplatten, falls noch nicht alle Schneidkanten der Platte im Einsatz waren. Anschließend folgte das Vermessen der Schlichtplatten auf deren Planlauf-Abweichungen.

Die Reinigung des Fräsers erfolgte maschinell mit Hilfe einer Waschanlage. Das Lösen der Wendeschneidplatten erfolgte von Hand. Der Fräser wurde im gereinigten Zustand auf eine Messvorrichtung, (siehe Abbildung 4-1) aufgelegt und mit Hilfe

einer Messuhr, anhand des am Werkzeug eingearbeiteten Prüfrings auf Planlauf vermessen.



Abbildung 4-1: Messvorrichtung und Messuhr

Anschließend wurden neue Wendeschneidplatten aufgebracht. Die Vermessung des Planlaufs der Schlichtplatten erfolgte ebenfalls auf der Messvorrichtung mit Hilfe einer Messuhr. Die maximale Planlaufabweichung durfte  $12\mu\text{m}$  betragen. Kam es zu größeren Abweichungen, wurden jeweils die Platte mit der größten Abweichung in positiver Richtung und die Platte mit der größten Abweichung in negativer Richtung vertauscht. Wie schon in Abschnitt 3.3 erwähnt, war ein Verstellen des Plattensitzes durch den Mitarbeiter nicht vorgesehen. Der Planlauf der Schrupplatten sowie der Rundlauf aller Schneidplatten wurden nicht gemessen.

Alle Vorgänge des Aufbereitungsprozesses waren durch sogenannte Standardarbeitsblätter genau vorgeschrieben, die einzuhaltenden Toleranzen waren am Messplatz einsehbar. Der Einfluss der einzelnen Mitarbeiter auf das Ergebnis des Aufbereitungsprozesses und somit auf die erreichbare Standmenge des Werkzeuges, konnte somit als äußerst gering eingestuft werden. Um dies zu

beweisen, wurde eine statistische Auswertung der Standmengen aller Werkzeuge abhängig von den zuständigen Mitarbeitern durchgeführt.

Die Standmengen der Werkzeuge sowie die für die Aufbereitung verantwortlichen Mitarbeiter wurden dokumentiert. Der Dokumentationszeitraum erstreckte sich über 50 Tage. Abbildung 4-2 zeigt das Ergebnis der Auswertung für die einzelnen Fräser.

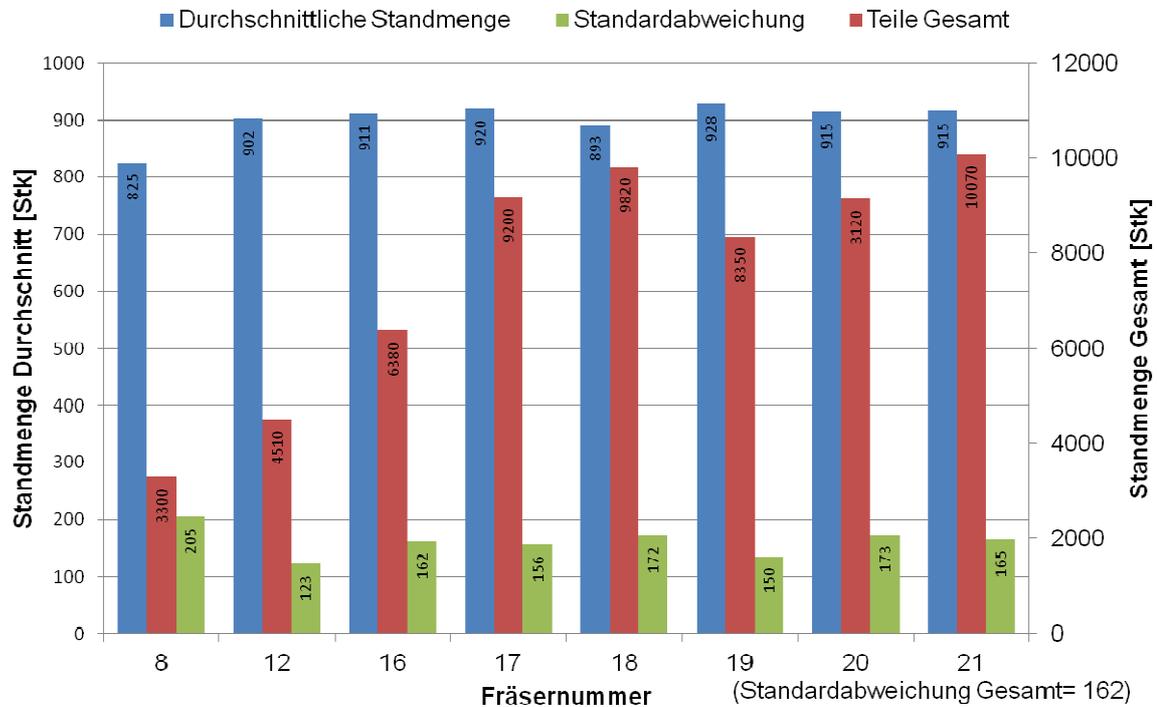


Abbildung 4-2: Auswertung Standzeiten über Fräsernummer

Eine durch den Fräser bedingte reduzierte Standmenge, hätte sich durch eine geringe durchschnittliche Standmenge mit einer geringen Standardabweichung ausgezeichnet. Die einzige markante Abweichung in Abbildung 4-2 war bei Fräser Nummer 8 zu erkennen. Die geringere durchschnittliche Standzeit wurde jedoch durch eine hohe Standardabweichung relativiert. Es konnte also nicht festgehalten werden, dass der betreffende Fräser generell eine geringere Standzeit erreicht hatte. Die relativ hohe Standardabweichung aller Fräser bestätigte jedoch die Problematik der Standzeitschwankungen bei den eingesetzten Werkzeugen.

Abbildung 4-3 zeigt die Ergebnisse der Auswertung betreffend der Mitarbeiter, die für die Aufbereitung zuständig waren.

Auch bei diesen Ergebnissen konnten die geringeren durchschnittlichen Standmengen der Mitarbeiter Nummer 7, 8 und 9 durch die hohe Standardabweichung erklärt werden. Auffällig war, dass mehr als die Hälfte der

gefertigten Teile von Werkzeugen bearbeitet wurden, welche die Mitarbeiter Nummer 1 und 6 aufbereitet hatten. Trotz der großen Routine dieser Mitarbeiter lag deren Standardabweichung ebenfalls bei mehr als 120 Teilen. Auch dies wies auf eine Ursache der Standmengenschwankung unabhängig vom Aufbereitungsprozesses hin.

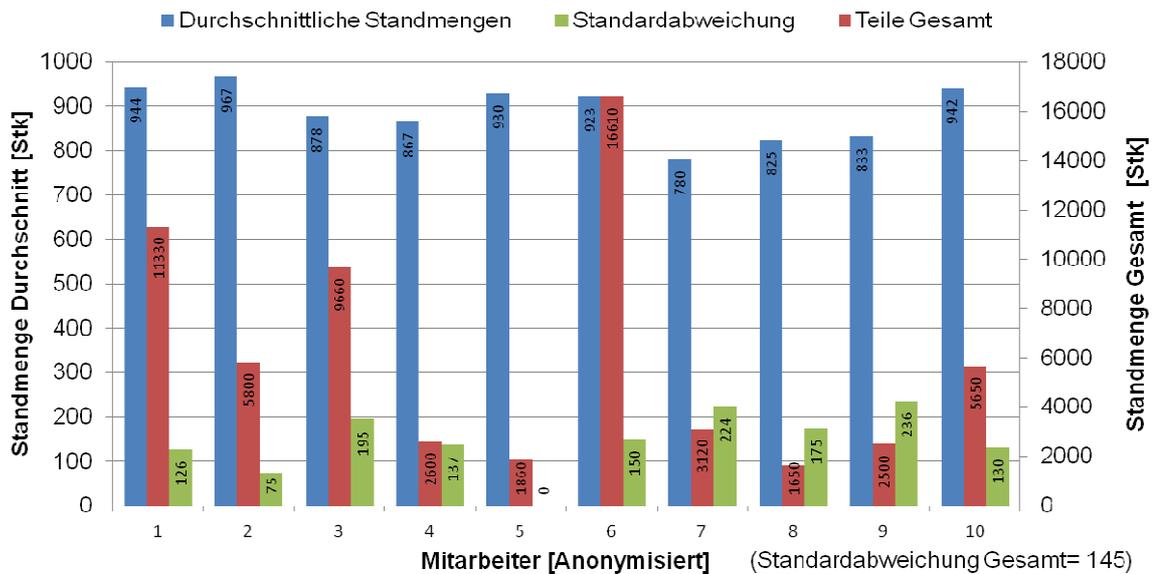


Abbildung 4-3: Auswertung Standzeiten anhand Mitarbeiter

## 4.2 Vermessung der Werkzeuge

Um eine exakte Berechnung des Spanungsquerschnittes zu ermöglichen, mussten sowohl die Abweichungen der einzelnen Schneiden am Fräskörper betreffend Rund- und Planlauf, als auch die Abweichungen des Fräskörpers in der Maschine gemessen werden. Da eine Messung des Rundlaufs am Werkzeug nicht standardisiert vorgenommen werden konnte, wurde ein Versuchswerkzeug mit einem Meßring am Außendurchmesser ausgestattet. Der Messring wurde vor den ersten Messungen mit Hilfe einer 3D-Messmaschine der Firma Zeiss auf Koaxialität in Bezug auf die Fräseraufnahme und auf den Gesamtrundlauf hin vermessen. Es wurden Rundlaufabweichungen von 18µm festgestellt. Da bei den späteren Messungen des Rundlaufs der Werkzeugaufnahme und der Wendeschneidplatten weitaus größere Abweichungen festgestellt wurden, konnte die Genauigkeit des Prüfrings als ausreichend erachtet werden.

Das aufbereitete Werkzeug wurde zuerst auf Plan- und Rundlauf anhand der bereits erwähnten Messringe vermessen. Anschließend wurden die einzelnen Schneiden auf

Plan- und Rundlauf vermessen. Hierbei wurden die Schneidplatten der Werkzeugaufnahme Nummer 1 als Referenz angenommen. Nach dem Einbau in der Maschine wurde der Fräskörper erneut auf Plan- und Rundlauf vermessen, um etwaige Abweichungen der Werkzeugaufnahme zu erfassen. Alle Messdaten wurden erfasst und in die Berechnung des Spanungsquerschnittes aufgenommen. Es wurden also vorerst die theoretischen Spannungstiefen und Spannungsdicken, ohne Berücksichtigung der Abweichungen einzelner Schneiden ermittelt. Anschließend wurden die gemessenen Abweichungen addiert und somit der Spanungsquerschnitt der einzelnen Schneiden berechnet. Die Abbildungen 4-4 und 4-5 zeigen den Messvorgang nach der Aufbereitung und in der Maschine.



Abbildung 4-4: Messvorgang außerhalb der Maschine



Abbildung 4-5: Messvorgang in der Maschine

### 4.3 Berechnung des Spanungsquerschnitt

Die Berechnung des Spanungsquerschnittes diente dazu, Unterschiede der Schnittbedingungen an den einzelnen Wendeschneidplatten zu erfassen und somit Rückschlüsse auf einen erhöhten Verschleiß an den einzelnen Schneiden zu ziehen. Da bei dem betrachteten Werkzeug ein Einstellwinkel  $\kappa$  von  $90^\circ$  vorherrschte, konnte die Berechnung des Spanungsquerschnittes anhand der Gleichung 4-1 erfolgen (vgl. auch [8]). Hierbei ist  $a_p$  die Schnitttiefe,  $h$  die Spanungsdicke

$$A[\text{mm}^2] = a_p[\text{mm}] \cdot h[\text{mm}] \quad (\text{Glg. 1})$$

Wie in Abbildung 4-6 dargestellt, sind jedoch beim Stirnfräsen die Eingriffsgrößen vom Eingriffswinkel  $\varphi$  abhängig. Statt der Spanungsdicke  $h$  wird daher die gemittelte Spanungsdicke  $h_m$  herangezogen. Da mit Hilfe der Berechnungen ausschließlich Unterschiede zwischen den einzelnen Schneiden aufgezeigt werden sollten, wurden in diesem Falle jedoch der Spanungsquerschnitt bei einem Eingriffswinkel  $\varphi$  von  $90^\circ$

berechnet. Prozessbedingt sind die Spannungsdicken bei diesem Eingriffswinkel jedoch am größten. Bei der weiteren Betrachtung musste demnach berücksichtigt werden, dass in den Randzonen der Arbeitsebene ( $\varphi=0^\circ$  oder  $180^\circ$ ) bedeutend geringere Spanungsquerschnitte vorhanden waren.

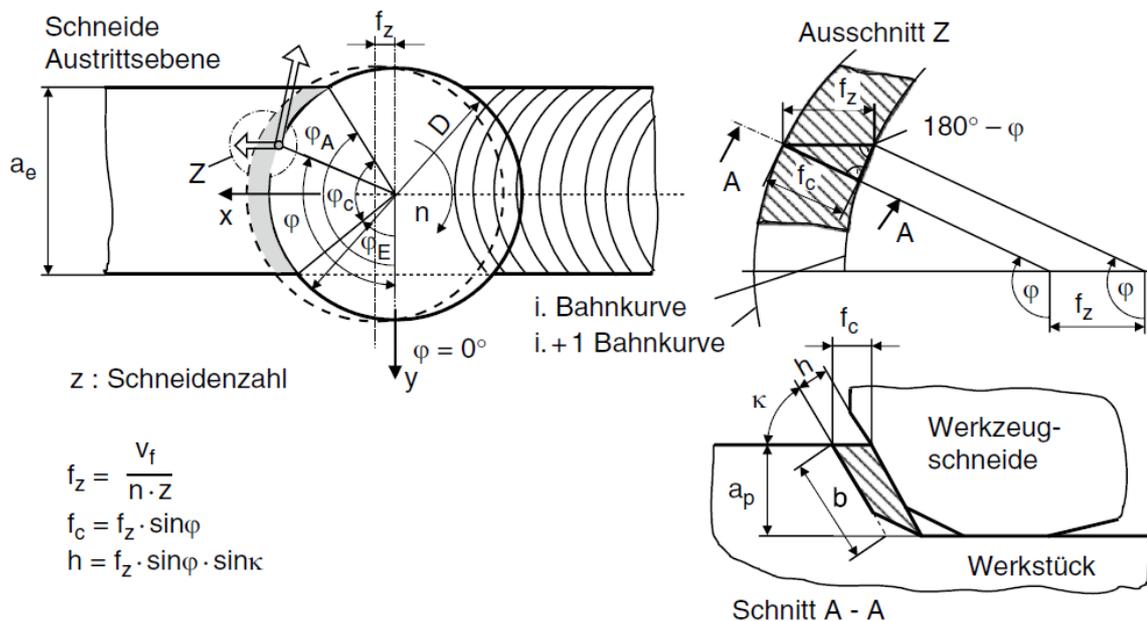


Abbildung 4-6: Eingriffsgrößen Stirnfräsen [8]

Neben den geringeren Spanungsquerschnitten musste auch der Sturz des Fräses berücksichtigt werden. Bei der Berechnung des Spanungsquerschnitts beim Eingriffswinkel  $\varphi$  von  $90^\circ$  hatte der Sturz nur einen sehr geringen Einfluss auf den Spannungswinkel. Wie in Abbildung 4-7 ersichtlich, war dies in den Bereichen  $\varphi > 90^\circ$  anders, der Sturz und die dadurch verursachte Balligkeit der Bearbeitungsfläche, hatten einen deutlichen Einfluss auf die Schnitttiefe und damit auf den Spanungsquerschnitt (vgl. auch [9]). In der betrachteten Bearbeitung hatte der Fräser einen Sturz von 0,1mm auf bezogen auf eine Länge von 1000mm. Dies bedeutete, dass die Schnitttiefe in den Randzonen der Arbeitsebene ( $\varphi=0^\circ$  oder  $180^\circ$ ) um 0,02mm geringer war als in der Mitte der Arbeitsebene.

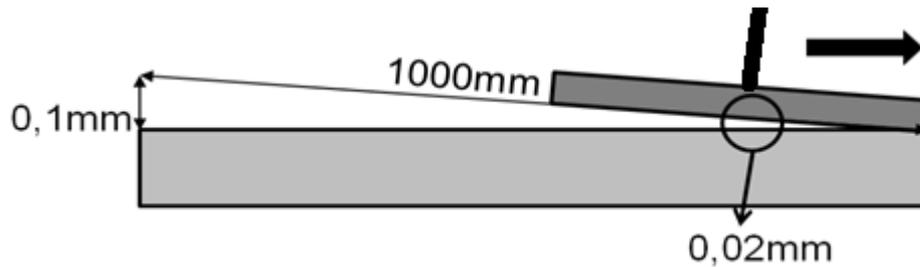


Abbildung 4-7: Einfluss Sturz auf Schnitttiefe

Um die Plan- und Rundlaufabweichungen der einzelnen Schneiden bei der Berechnung des Spanungsquerschnittes berücksichtigen zu können, musste der Spanungsquerschnitt an jeder einzelnen Schneide berechnet und die Eingriffsgrößen der vorangegangenen Schneiden in die Berechnung mit einbezogen werden. Vor allem der Überstand der Schruppschneiden am Radius und der Überstand der Schlichtschneiden auf der Stirnseite des Fräasers mussten berücksichtigt werden. Die Berechnung der Eingriffsgrößen unter einem Eingriffswinkel  $\varphi$  von  $90^\circ$  ohne Berücksichtigung der Plan- und Rundlaufabweichungen ergab folgendes Ergebnis: Es wurde eine Spannungsdicke  $h$ , von 0,219 mm für die Schrupp- und 0,063 mm für die Schlichtplatten errechnet. Die Schnitttiefe  $a_p$ , wurde mit 0,340 mm für die Schrupp- und 0,060 mm für die Schlichtplatten berechnet. Dies ergab einen Spanungsquerschnitt von  $0,074 \text{ mm}^2$  für die Schrupp- und  $0,038 \text{ mm}^2$  für die Schlichtplatten. Um die Ergebnisse der Berechnung auf ihre Richtigkeit zu überprüfen, wurde ein Fräser mit neuen Wendeschneidplatten bestückt, vermessen und 500 Teile damit bearbeitet. Hierzu wurden ausschließlich Turbo-Motoren verwendet, da die Materialzusammensetzung bei diesen Motoren zu einem höheren Verschleiß führte. Die Versuche sollten den Verschleiß bei den schlechtesten anzunehmenden Randbedingungen aufzeigen, deshalb wurden ausschließlich jene Motoren bearbeitet die zum größtmöglichen Verschleiß führten. Beim Ausbau waren erste Verschleißmerkmale an den Schneidplatten zu erkennen.

Hierbei handelte es sich um einen Freiflächenverschleiß. Auf die einzelnen Verschleißformen wird in Abschnitt 5 genauer eingegangen.

Eine Analyse der Schneidplatten unter dem Mikroskop diente dazu, die Verschleißmarkenbreite jeder Schneide zu verifizieren und mit den berechneten Spanungsquerschnitten zu vergleichen. In Abbildung 4-8 sind die Spanungsquerschnitte der einzelnen Schlichtschneiden dargestellt, in den darauffolgenden Abbildungen 4-9 bis 4-16 sind Aufnahmen der einzelnen

Schlichtplatten unter dem Mikroskop zu sehen. Auf den Abbildungen sind vergrößerte, dreidimensionale Darstellungen der Wendeschneidplatten zu erkennen. Dargestellt wird ein Bereich mit einer Breite von  $1.777\mu\text{m}$ , einer Höhe von  $1.332\mu\text{m}$  und einer Tiefe von  $1.510\mu\text{m}$ . Die einzelnen Wendeschneidplatten wurden mit der Nummer des jeweiligen Werkzeughalters und entweder mit dem Buchstaben A für Schruppplatten oder B für Schlichtplatten gekennzeichnet.

Die Abhängigkeit des Verschleißes der einzelnen Schneidplatten vom jeweiligen Spanungsquerschnitt ist deutlich zu erkennen. Jene Schneidplatten mit geringem berechnetem Spanungsquerschnitt, zum Beispiel die Schneidplatten 1B, 2B, 3B und 10B, weisen eine sehr geringe Verschleißmarkenbreite auf. Im Vergleich dazu haben Schneidplatten mit einem hohen berechnetem Spanungsquerschnitt, wie zum Beispiel die Platten 13B, 16B, 19B und 27B, eine größere Verschleißmarkenbreite. Auffällig ist, dass an den Spanflächen nahezu kein Verschleiß erkennbar ist.

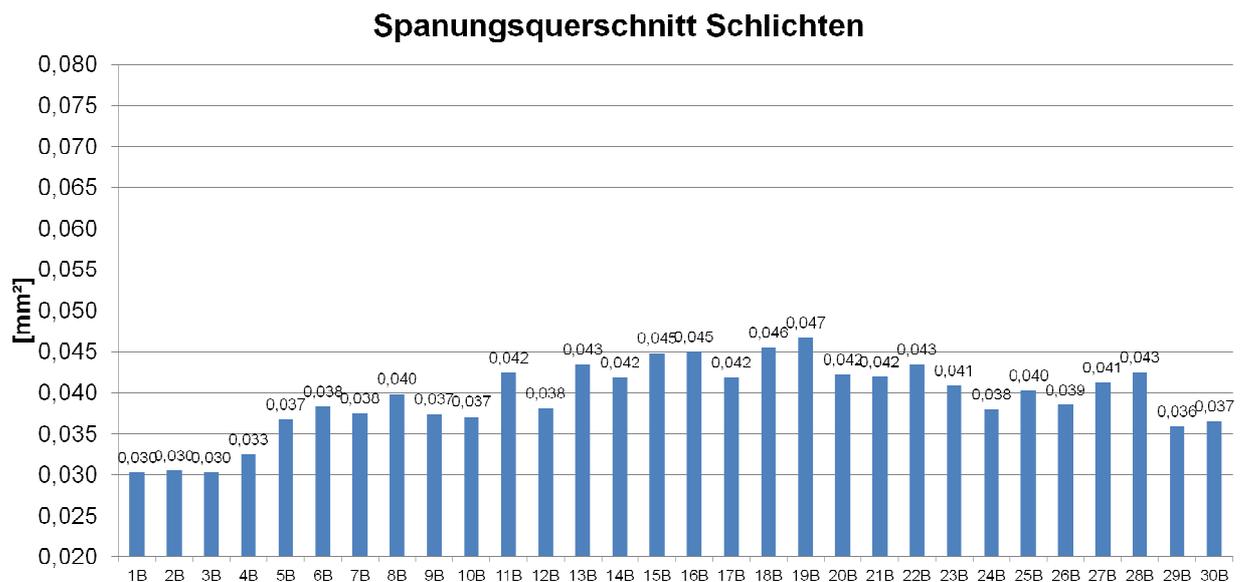


Abbildung 4-8: Spanungsquerschnitt Schlichtplatten

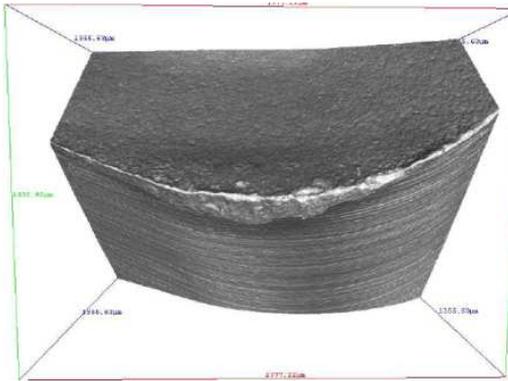


Abbildung 4-9: Schneide 1B

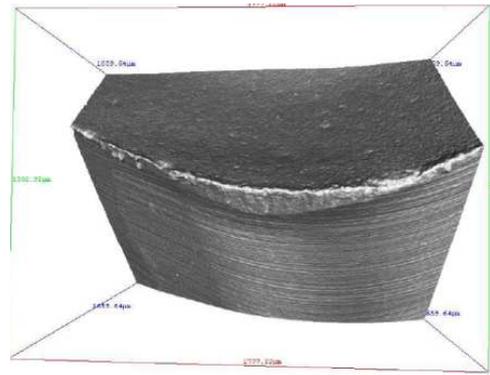


Abbildung 4-10: Schneide 2B

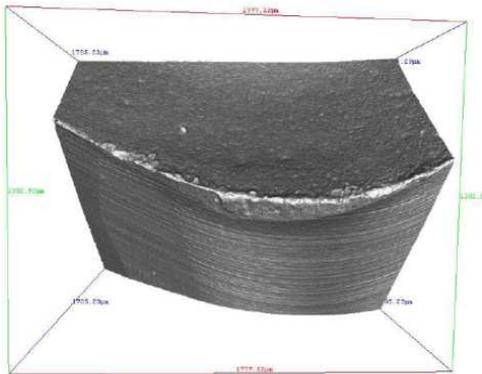


Abbildung 4-11: Schneide 3B

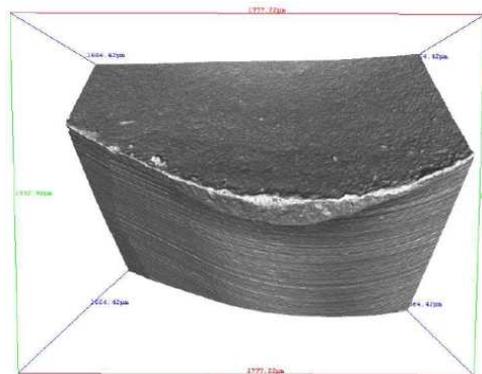


Abbildung 4-12: Schneide 10B

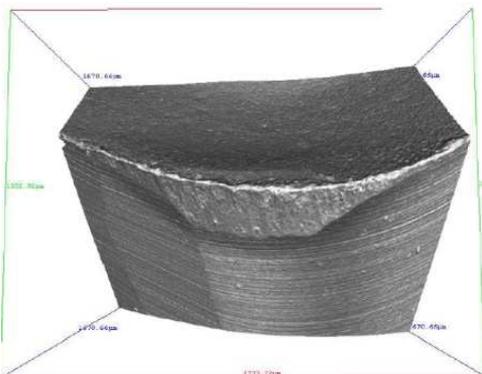


Abbildung 4-13: Schneide 13B

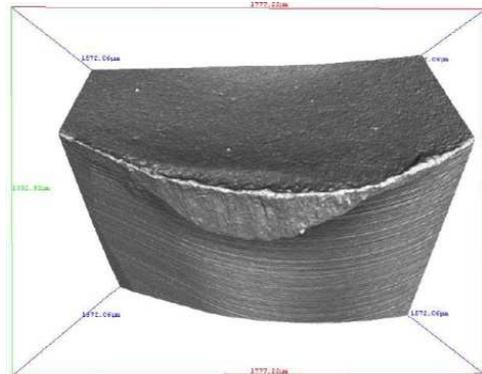


Abbildung 4-14: Schneide 16B

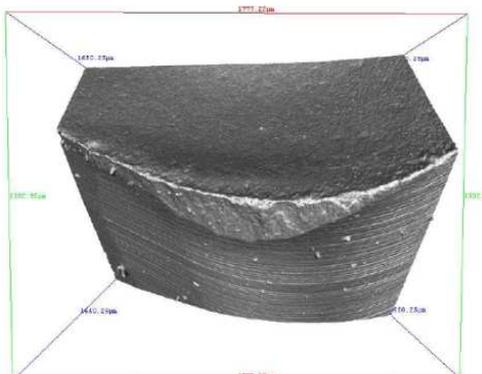


Abbildung 4-15: Schneide 19B

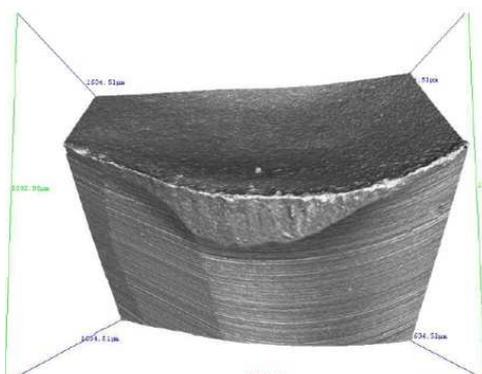


Abbildung 4-16: Schneide 27B

Wie schon bei den Schlichtplatten war auch bei den Schruppplatten ein deutlicher Freiflächenverschleiß erkennbar. Auf Grund des weitaus größeren Spanungsquerschnittes und der geringeren Unterschiede der Querschnitte war ein Zusammenhang zwischen dem Spanungsquerschnitt und der Verschleißmarkenbreite jedoch nur bedingt feststellbar. Abbildung 4-17 stellt die Ergebnisse der Berechnung des Spanungsquerschnittes der Schruppplatten dar. Die Abbildungen 4-18 bis 4-25 bilden die vergrößerte dreidimensionale Darstellung der einzelnen Schneidplatten ab. Da aus den oben genannten Gründen nur sehr geringe Unterschiede in der Verschleißmarkenbreite erkennbar sind, werden jeweils nur jene vier Schneidplatten mit dem geringsten und jene vier Schneidplatten mit dem größten Spanungsquerschnitt dargestellt.

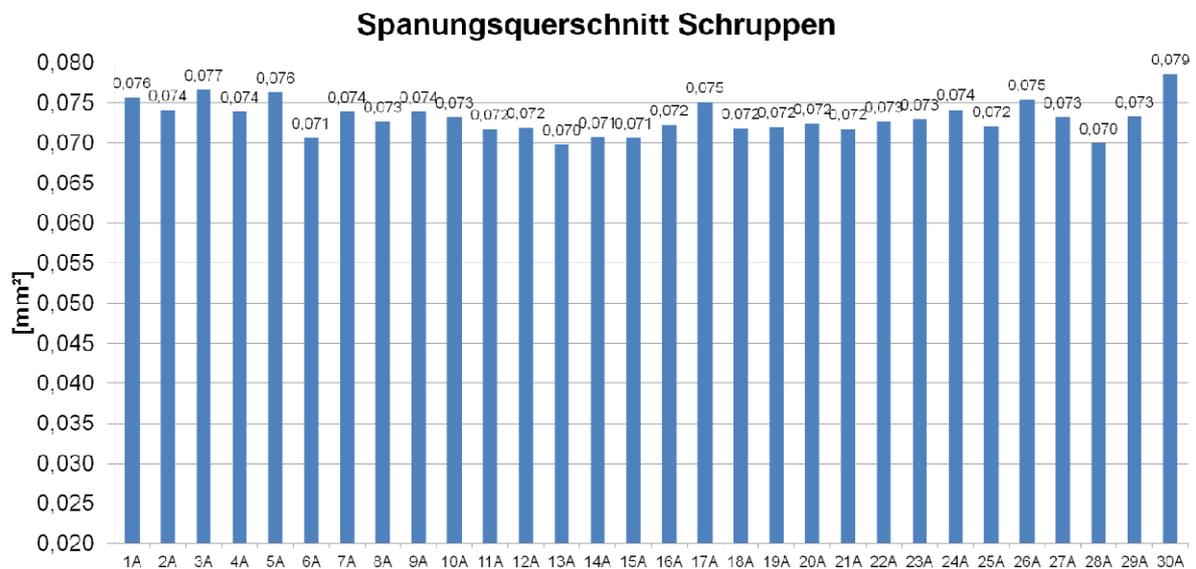


Abbildung 4-17: Spanungsquerschnitt Schruppplatten

Bis auf den Freiflächenverschleiß und eine geringfügige Kantenverrundung konnten keine weiteren Verschleißmerkmale wie Kolk oder Ausbrüche aus dem Schneidwerkstoff entdeckt werden. Abschließend wurde festgehalten, dass die Plan- und Rundlaufabweichungen der einzelnen Schneiden einen nachweisbaren Einfluss auf den Verschleiß der einzelnen Schneidplatten hatten. Dieser ungleichmäßige Verschleiß wurde als mögliche Ursache für die untersuchten Standmengenschwankungen identifiziert. Die genauen Zusammenhänge wurden durch weitere Versuche größerer Standmenge, beschichteten Schneidplatten und veränderter Plattengeometrie untersucht, wie in Abschnitt 5 genauer beschrieben ist.

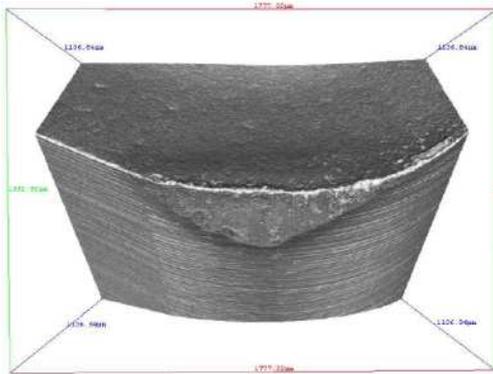


Abbildung 4-18: Schneide 6A

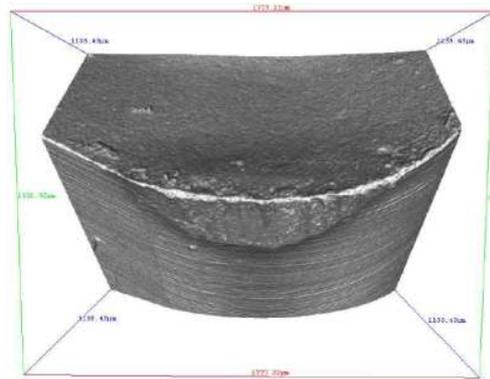


Abbildung 4-19: Schneide 13A

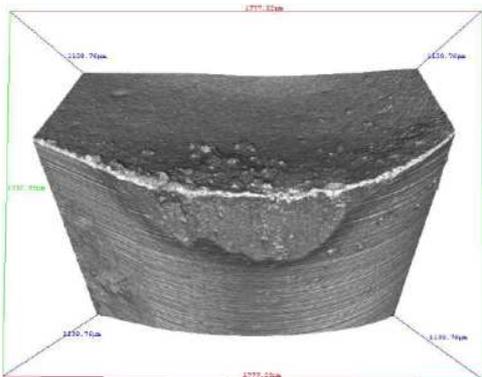


Abbildung 4-20: Schneide 15A

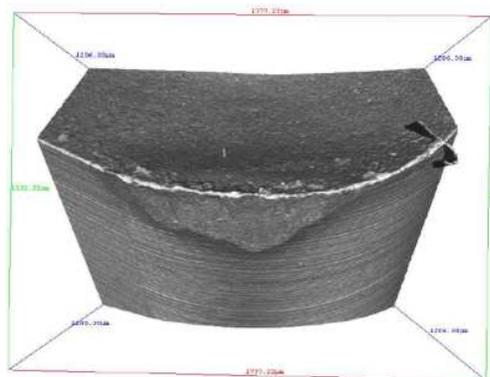


Abbildung 4-21: Schneide 28A

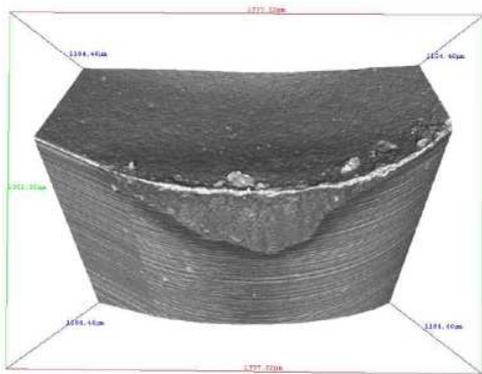


Abbildung 4-22: Schneide 1A

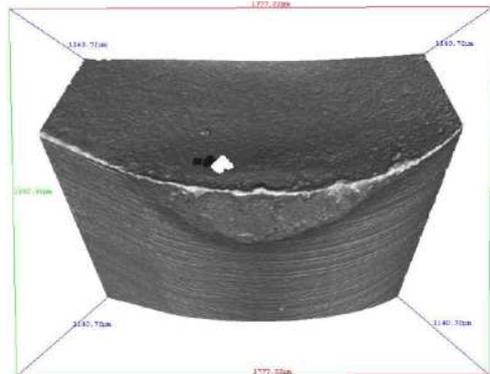


Abbildung 4-23: Schneide 3A

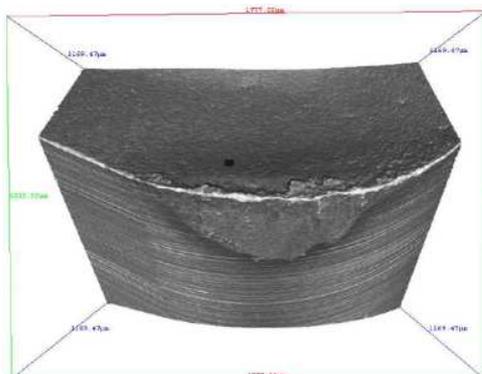


Abbildung 4-24: Schneide 5A

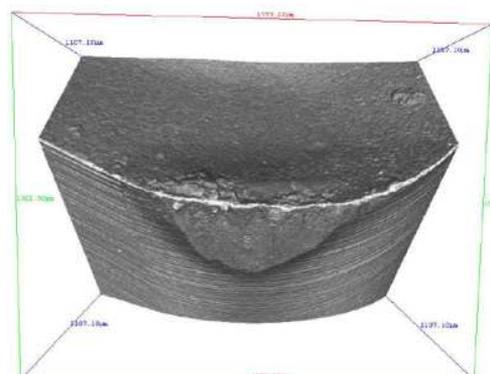


Abbildung 4-25: Schneide 30A

## 5 Werkzeugverschleiß

Um einen eventuellen Zusammenhang des ungleichmäßigen Verschleißes der einzelnen Schneiden mit den in Abschnitt 1 gezeigten Merkmalen am Teil aufzuzeigen, wurden weitere Versuche mit unterschiedlichen Schneidplatten durchgeführt. Die Werkzeuge wurden wie im vorherigen Abschnitt beschrieben, vermessen und anhand der Messergebnisse der Spanungsquerschnitt berechnet. Bei diesen Versuchen wurden die Versuchswerkzeuge bis zum Erreichen der Verschleißgrenze verwendet. Eine Bewertung des Verschleißzustandes der Werkzeuge oblag den zuständigen Mitarbeitern an der Bearbeitungsmaschine. Diese bewerteten die Werkzeuge nach dem Zustand der bearbeiteten Werkstücke. Ziel der Versuche war es, zum Einen die aktuell erreichbare Standmenge zu erfassen, zum Anderen eine mögliche Erhöhung der Standmenge durch beschichtete Schneidplatten und veränderte Plattengeometrie zu untersuchen. Außerdem wurden während den Werkzeugversuchen auch die Prozesse zur Werkstück- und Werkzeugbeurteilung, welche die einzelnen Mitarbeiter an der Maschine durchführten, analysiert. Auf den Prozess der Werkstückanalyse durch den Mitarbeiter wird in Abschnitt 6 genauer eingegangen.

Wie schon bei dem in Abschnitt 4-3 erwähnten Versuch wurden auch hier ausschließlich Turbo-Motoren bearbeitet. Es wurden sowohl die unbeschichteten Standardschneidplatten, als auch Schneidplatten mit einer TiAlN-Beschichtung eingesetzt. Ein weiterer Versuch wurde mit Schneidplatten durchgeführt, die einseitig abgeschliffen wurden, um einen Sturz von 0,02mm auf eine Plattenlänge von 16mm auf jeder Platte zu erreichen. Ziel war es hierbei, die Auswirkungen des geänderten Neigungswinkels auf den Plattenverschleiß zu untersuchen, ohne dabei Änderungen an der Bearbeitungsspindel durchführen zu müssen.

Die einzelnen Verschleißmerkmale an den Schneidplatten wurden kategorisiert und anhand von Fachliteratur analysiert (siehe [10]). Abbildung 5-1 zeigt eine schematische Darstellung eines verschlissenen Werkzeuges. Die Darstellung zeigt alle gängigen Verschleißarten, von denen einige in den folgenden Abschnitten erwähnt und auch in Abbildungen gezeigt werden.

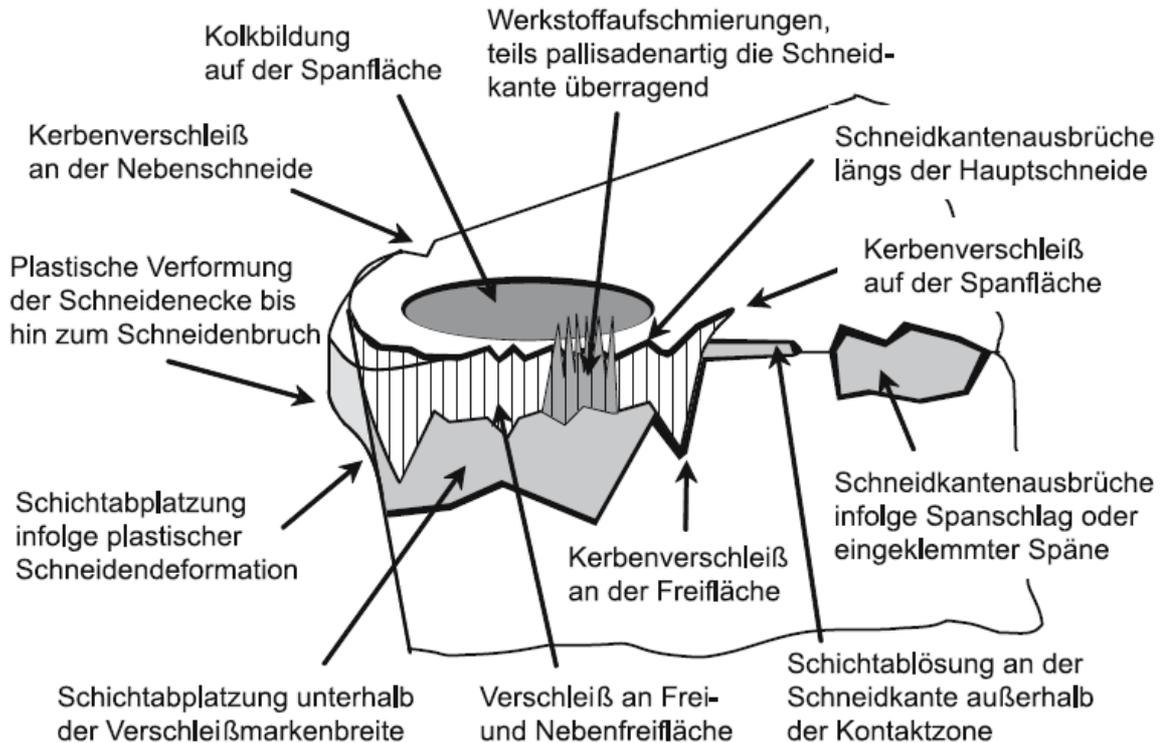


Abbildung 5-1: Schematische Darstellung der Verschleißarten [10]

## 5.1 Unbeschichtete Wendeschneidplatten

Es wurde ein weiterer Versuch mit denselben Wendeschneidplatten, wie in Abschnitt 4 erwähnt, durchgeführt. Bei diesem Versuch wurde jedoch, wie im vorherigen Absatz erwähnt, die Standmenge soweit als möglich ausgereizt. Die Ergebnisse der Berechnung des Spanungsquerschnittes dieses Versuches sind in Abbildung 5-2 angeführt. Die Abbildungen 5-3 bis 5-10, zeigen Aufnahmen der Schlichtplatten unter dem Lichtmikroskop. Wie schon in Abschnitt 4.3 werden jene vier Schneidplatten mit dem geringsten und jene vier Schneidplatten mit dem größten Spanungsquerschnitt dargestellt. Abbildung 5-11 zeigt die Ergebnisse der Spanungsquerschnittberechnung der einzelnen Schruppplatten. Die Abbildungen 5-12 bis 5-19 zeigen vergrößerte Aufnahmen jener acht Schruppplatten, mit dem jeweils geringsten und größten Spanungsquerschnitt.

Bei diesem Versuch wurde eine Standmenge von 1000 Teilen erreicht. Sowohl bei den Schlicht- als auch bei den Schruppplatten waren deutliche Merkmale eines abrasiven Verschleißbildes an den Freiflächen feststellbar. Auch Anzeichen für geringen Kolkverschleiß auf den Spanflächen waren zu erkennen. Der

Freiflächenverschleiß ist weitaus stärker ausgeprägt, als der Verschleiß an den Spanflächen. Dies weist auf einen sehr geringen Spanungsquerschnitt hin (vgl. [10]).

Der starke abrasive Verschleiß an den Freiflächen war ein Indiz für eine sehr hohe mechanische Belastung an den Freiflächen. Als mögliche Ursache wurde die geringe Spantiefe identifiziert. Bei fortgeschrittenem Verschleiß der Schneidkanten kann es zu einem Gleiten der Schneide über den eigentlichen Spanungsquerschnitt ohne Materialabtrag kommen. Die großen vorherrschenden Reibungskräfte führen zu sehr starkem abrasiven Verschleiß.

Die Ausbrüche an den Schneidkanten weisen auf eine hohe thermische und mechanische Beanspruchung der Schneidkanten hin (vgl. [10]).

Es ist offensichtlich, dass weder bei den Schlicht- noch bei den Schrupplatten ein Zusammenhang zwischen dem berechneten Spanungsquerschnitt der Schneidplatten und dem Verschleißbild besteht. Ein Grund hierfür scheint der starke abrasive Verschleiß zu sein. Der Verschleiß einer einzelnen Platte führt zu einer Verringerung des Spanungsquerschnitts, dies beeinflusst natürlich auch den Spanungsquerschnitt der darauffolgenden Schneidplatten.

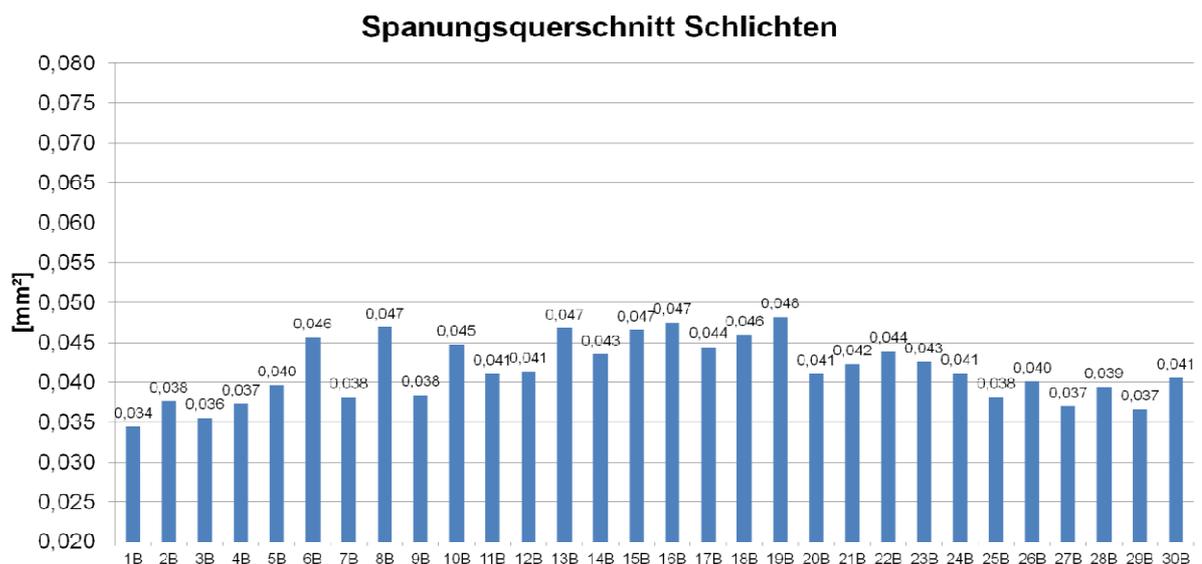


Abbildung 5-2: Spanungsquerschnitt Schlichtplatten

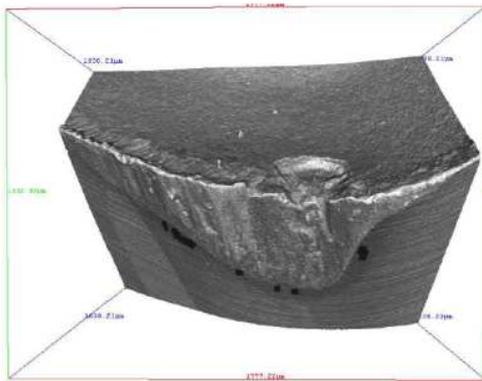


Abbildung 5-3: Schneide 1B

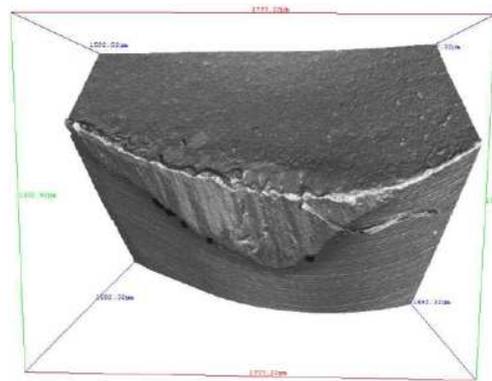


Abbildung 5-4: Schneide 3B

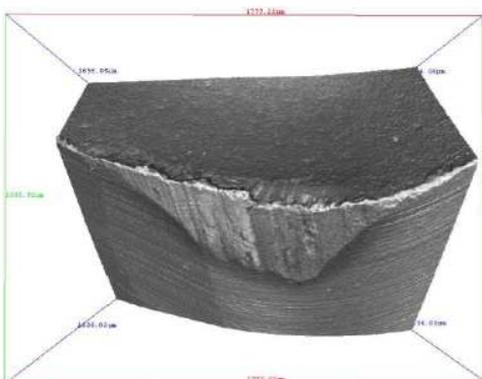


Abbildung 5-5: Schneide 27B

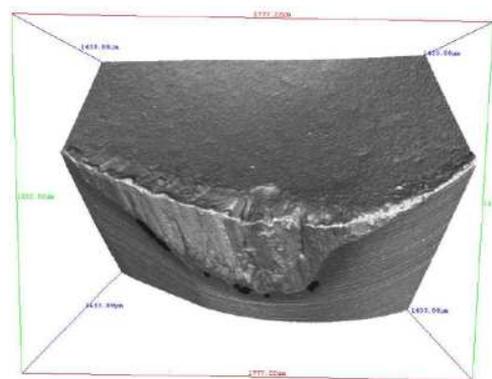


Abbildung 5-6: Schneide 29B

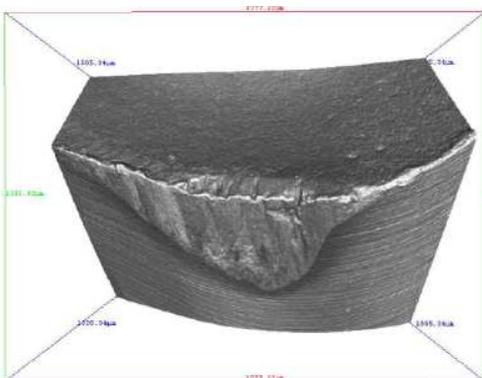


Abbildung 5-7: Schneide 8B

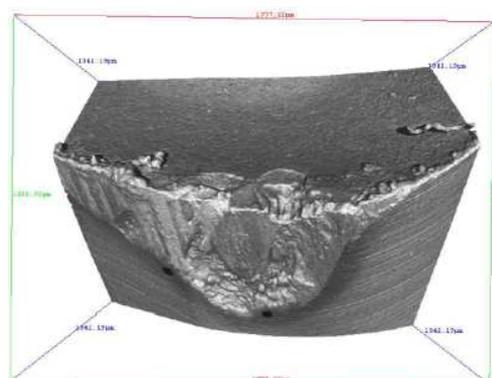


Abbildung 5-8: Schneide 13B

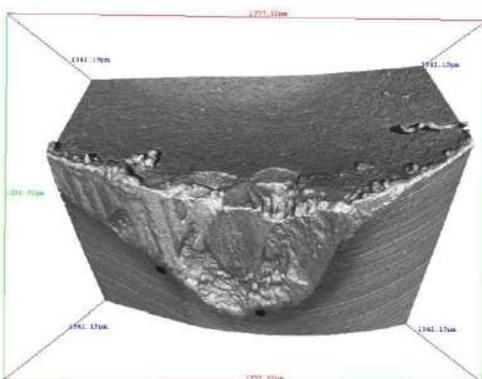


Abbildung 5-9: Schneide 16B

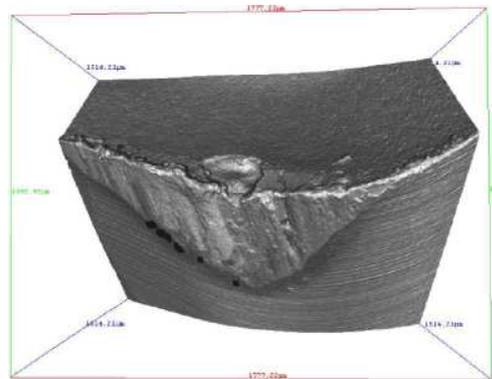


Abbildung 5-10: Schneide 19B

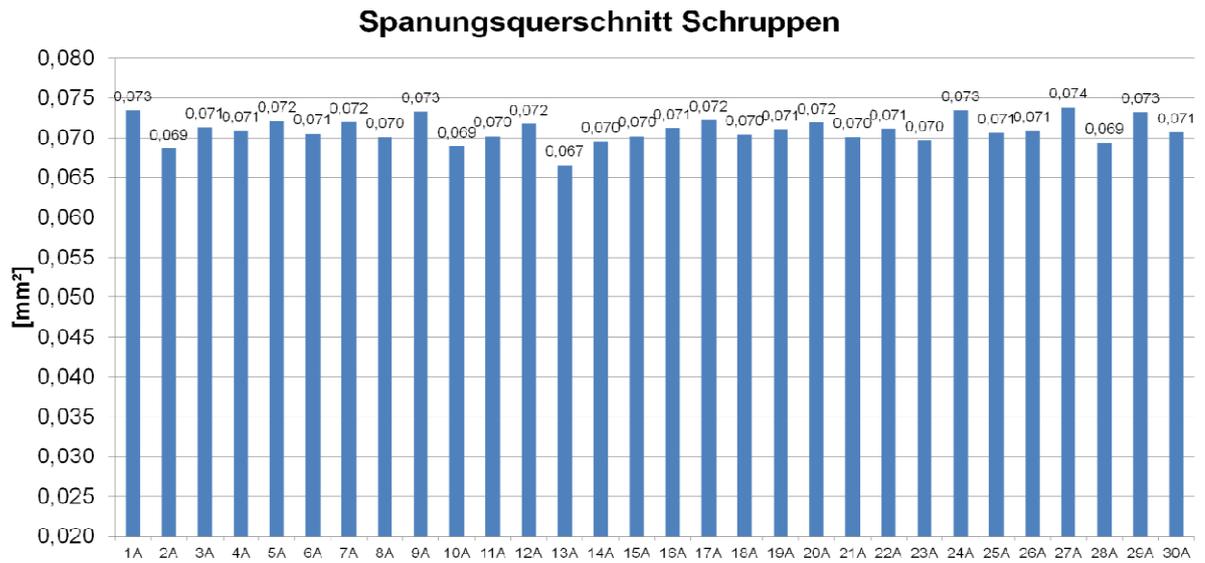


Abbildung 5-11: Spanungsquerschnitt Schruppplatten

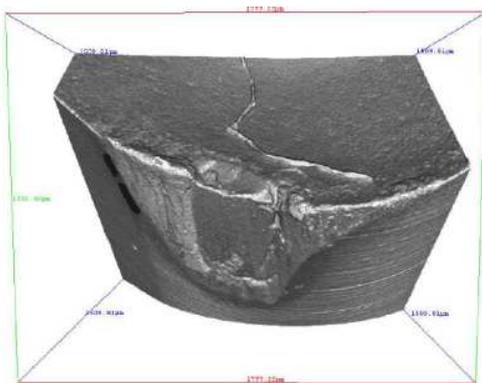


Abbildung 5-12: Schneide 2A

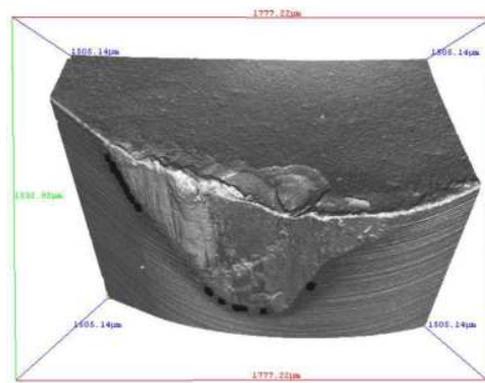


Abbildung 5-13: Schneide 10A

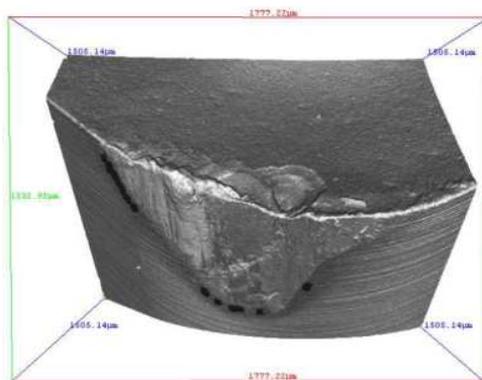


Abbildung 5-14: Schneide 13A

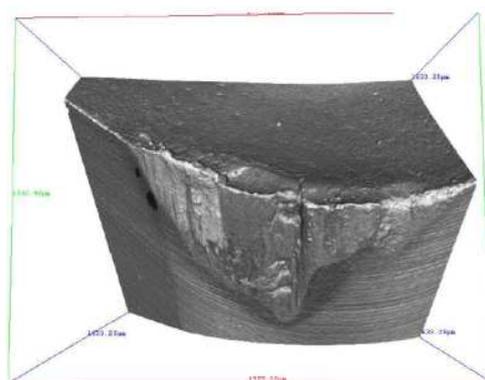


Abbildung 5-15: Schneide 28A

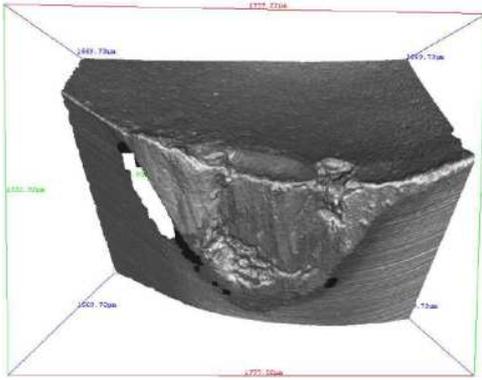


Abbildung 5-16: Schneide 1A

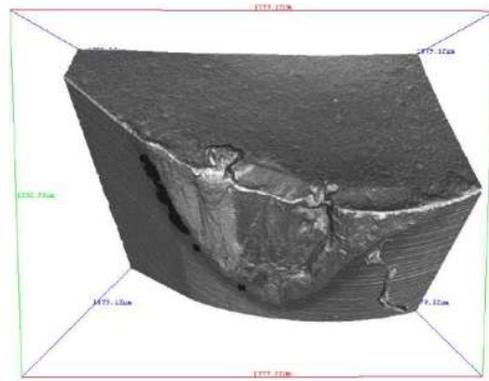


Abbildung 5-17: Schneide 9A

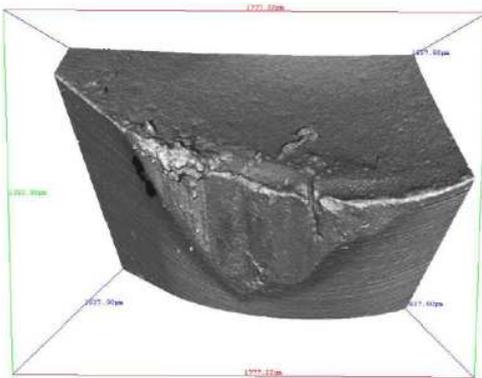


Abbildung 5-18: Schneide 24A

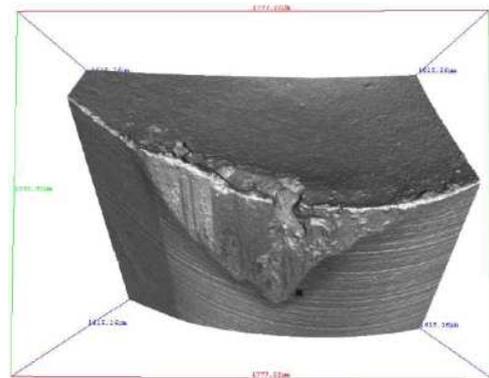


Abbildung 5-19: Schneide 27A

## 5.2 Beschichtete Wendschneidplatten

Im Zuge der Werkzeugversuche wurden Wendschneidplatten mit einer Aluminiumtitannitrid-Beschichtung präpariert. Ziel dieser Beschichtung war es, den Verschleiß der einzelnen Schneidplatten trotz ungleichmäßigem Spanungsquerschnitt hinauszuzögern und damit eine höhere Standmenge zu erreichen.

Eine Beschichtung dient vor allem der Verbesserung der Kontaktbedingungen zwischen Werkstück und Werkzeug. Ziel ist es hierbei, eine Erhöhung der Verschleißbeständigkeit des Werkzeuges zu erreichen. Aluminiumtitannitrid-Beschichtungen (TiAlN), sind sehr weit verbreitet unter den Werkzeugbeschichtungen. Gründe hierfür sind in erster Linie die Verschleißbeständigkeit des kubischen TiAlN-Mischkristalls, die auch bei höheren Temperaturen noch weitgehend erhalten bleibt. Außerdem zeichnet sich diese Art der Beschichtung durch ein günstiges Verhältnis zwischen Härte und Zähigkeit aus [11].

Die Versuchsbedingungen glichen jenen in den bereits erwähnten Werkzeugversuchen. Abbildung 5-20 zeigt die Spanungsquerschnitte der einzelnen

Schlichtplatten. Es ist deutlich zu erkennen, dass sich weder die Spanungsquerschnitte generell noch die Unterschiede der Spanungsquerschnitte der einzelnen Platten zueinander stark von jenen in Abschnitt 5.1 unterschieden haben. Die in Abbildung 5-20 bis 5-27 dargestellten Aufnahmen der Schlichtplatten mit dem größten und dem geringsten Spanungsquerschnitt zeigen keine Anzeichen für einen abrasiven Verschleiß der Freiflächen, wie es bei den unbeschichteten Platten der Fall war. Trotzdem wurde bei diesem Versuch lediglich eine Standmenge von nur 800 Teilen erreicht. Die Beschichtung hatte offensichtlich den Verschleiß der Werkzeuge verringert. Eine Steigerung der Anzahl an gefertigten Teilen pro Werkzeug, konnte dennoch nicht festgestellt werden. Auch die Analyse der Schruppplatten führte zu den gleichen Ergebnissen wie schon bei den Schlichtplatten. Trotz geringer Verschleißmarkenbreite kam es zum Ausbau des Fräasers. Abbildung 5-28 zeigt die berechneten Spanungsquerschnitte der Schruppplatten, die Abbildungen 5-29 bis 5-36 zeigen die vergrößerten Aufnahmen der Schneidplatten mit dem jeweils geringsten und größten Spanungsquerschnitt. Die Gründe für den Vorzeitigen Ausbau mussten insofern bei der Bewertung der Verschleißmerkmale am Werkstück liegen. Diese Erkenntnis wurde auch durch weitere Versuche mit derselben Beschichtung als auch mit ähnlichen Beschichtungen bestätigt. Keine der Beschichtungen führte zu einer größeren Standmenge der Werkzeuge, obwohl der Verschleiß der einzelnen Platten generell verringert wurde.

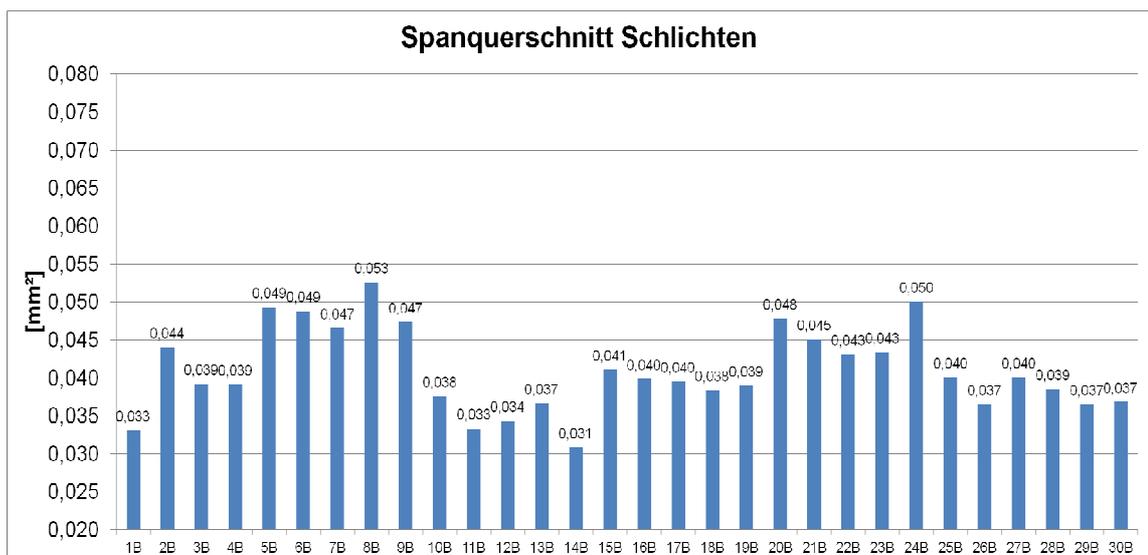


Abbildung 5-20: Spanungsquerschnitt Schlichtplatten

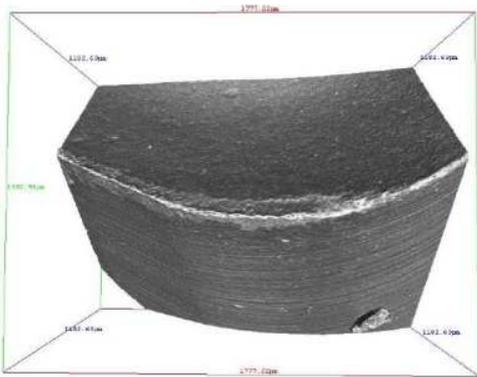


Abbildung 5-21: Schneide 1B

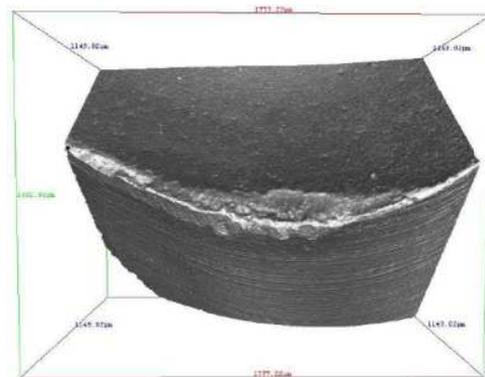


Abbildung 5-22: Schneide 11B

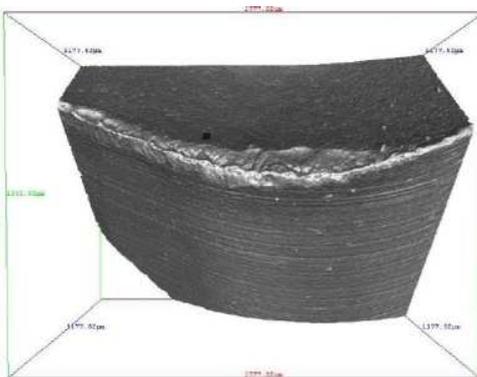


Abbildung 5-23: Schneide 12B

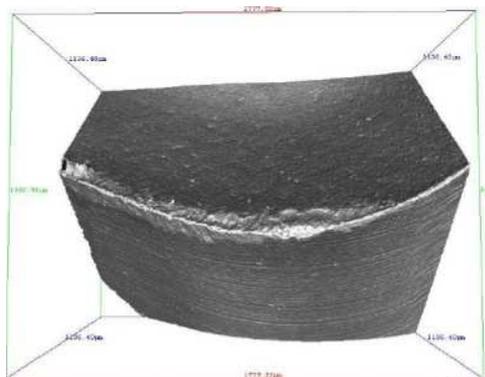


Abbildung 5-24: Schneide 14B

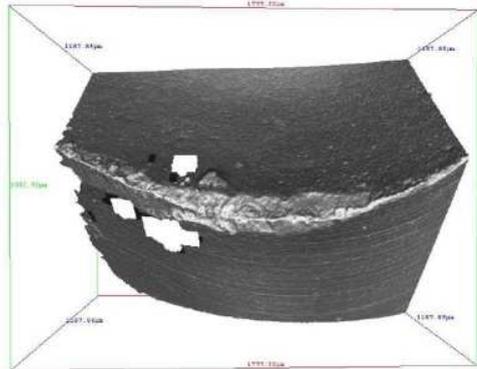


Abbildung 5-25: Schneide 5B

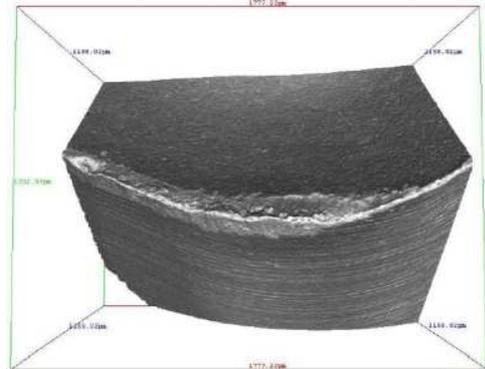


Abbildung 5-26: Schneide 6B

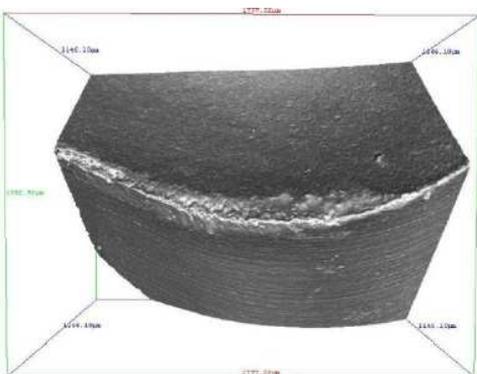


Abbildung 5-27: Schneide 8B

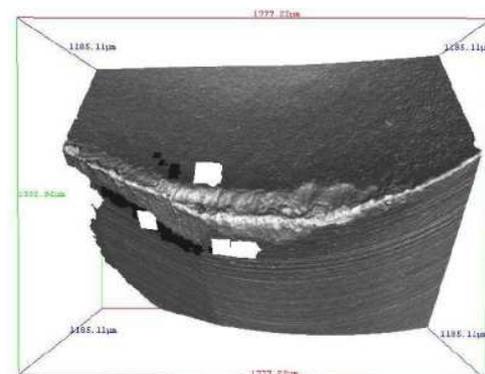


Abbildung 5-28: Schneide 24B

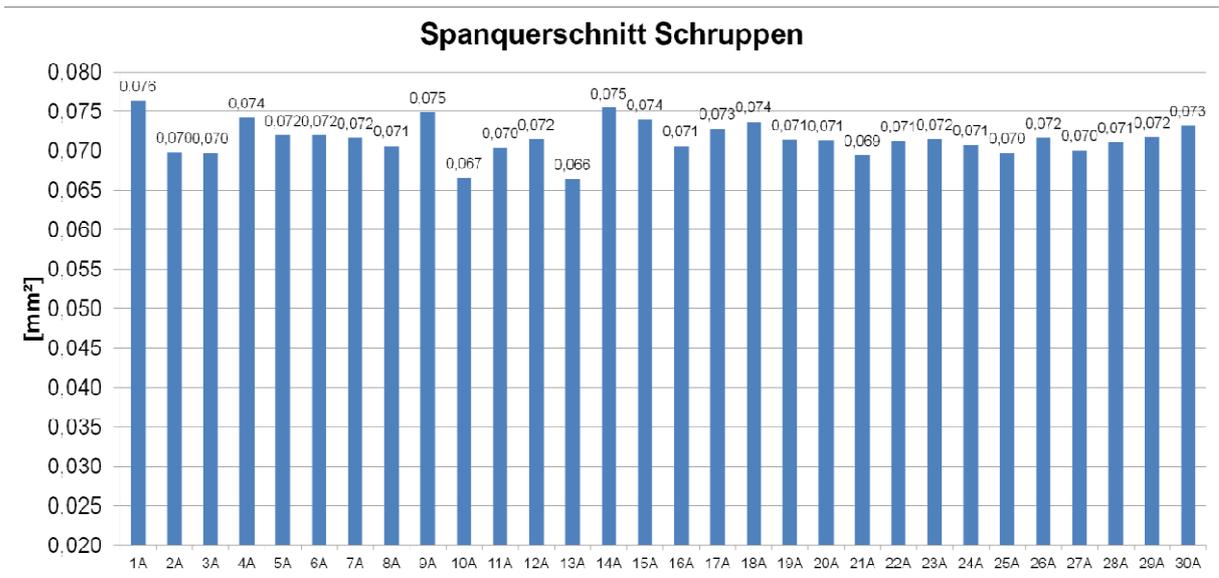


Abbildung 5-29: Spanungsquerschnitt Schrupplatten

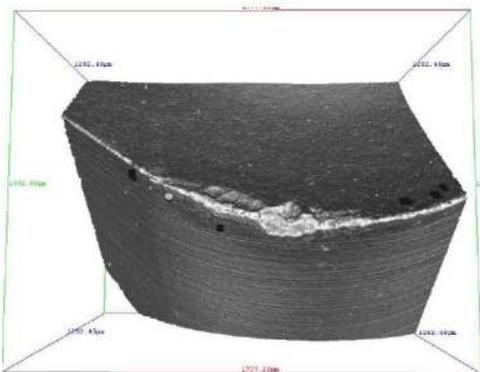


Abbildung 5-30: Schneide 2A

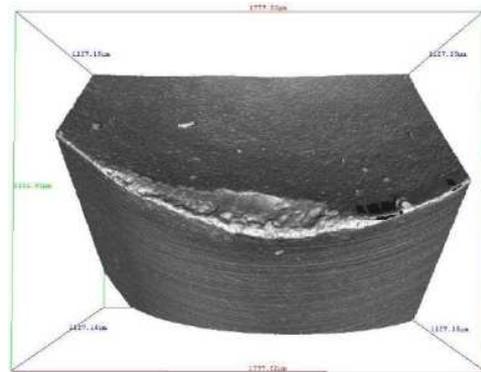


Abbildung 5-31: Schneide 10A

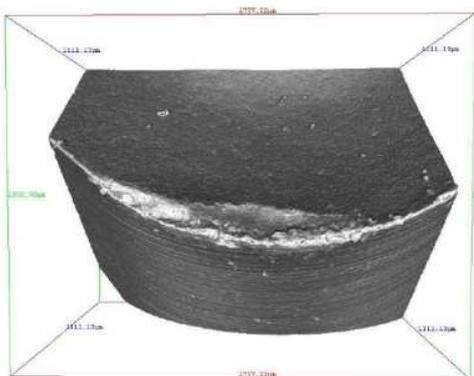


Abbildung 5-32: Schneide 13A

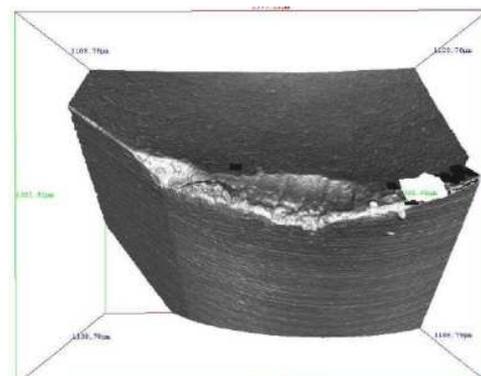


Abbildung 5-33: Schneide 21A

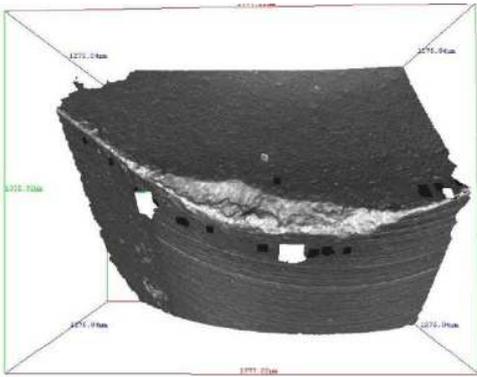


Abbildung 5-34: Schneide 1A

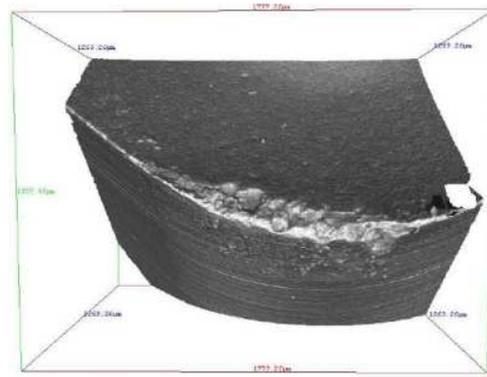


Abbildung 5-35: Schneide 4A

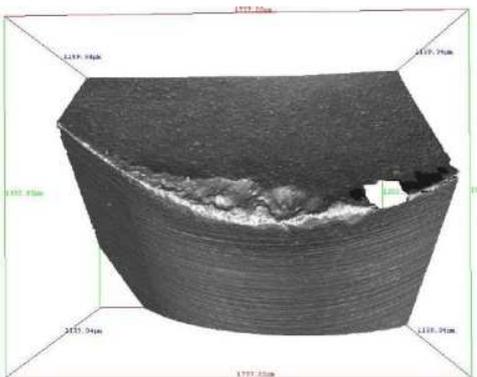


Abbildung 5-36: Schneide 9A

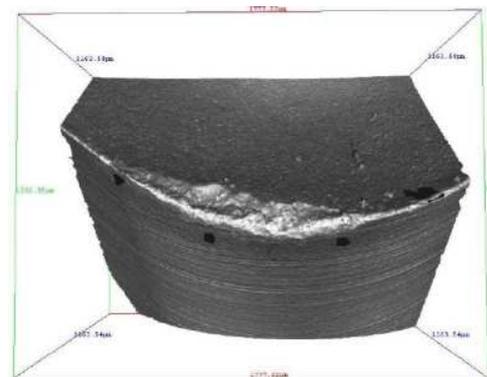


Abbildung 5-37: Schneide 14A

### 5.3 Wendeschneidplatten mit geändertem Neigungswinkel

Wie schon am Beginn des Abschnittes 5 beschrieben, wurde auch ein Versuch mit schräg angeschliffenen Schneidplatten durchgeführt. Die Schneidplatten wurden, wie in Abbildung 5-38 dargestellt, einseitig abgeschliffen. Es entstand eine Schräge mit einer Neigung von 0,02mm auf die Gesamtlänge der Platte. Somit wurde ein erhöhter Sturz bei der Bearbeitung realisiert. Eine solche Winkeländerung war nur an den Schlichtplatten möglich, da bei den Schrupplatten eine Verstellung der Werkzeugaufnahmen nötig gewesen wäre, um eine gleichartige Veränderung hervorzurufen. Dies ist auch in Abbildung 3-4 gut erkennbar. Insofern wurden natürlich nur die Schlichtplatten des Werkzeuges präpariert und im Folgenden werden auch nur Ergebnisse dieser Schneidplatten erörtert. Ziel dieses Versuches war es, die Auswirkungen eines geänderten Neigungswinkels auf die zu bearbeitende Fläche zu untersuchen, ohne dafür die ganze Maschine umbauen zu müssen.

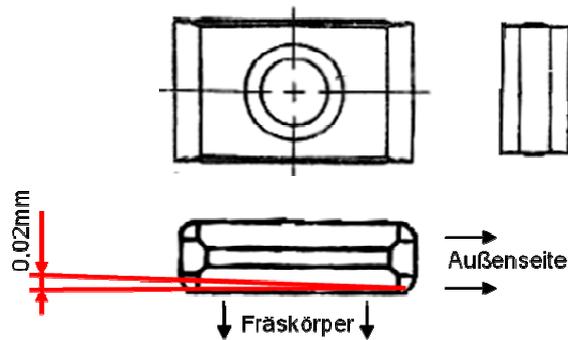


Abbildung 5-38: Darstellung der geschliffenen Platte

Die nachfolgenden Abbildungen verdeutlichen die Ergebnisse des Versuches. Abbildung 5-39 illustriert den berechneten Spannungsquerschnitt der Schichtplatten. Die Abbildungen 5-40 bis 5-47 beinhalten vergrößerte Aufnahmen der einzelnen Schichtplatten. Auch bei diesem Versuch wurde lediglich eine Standmenge von 800 Teilen erreicht. Da es sich um unbeschichtete Platten handelte, war ein deutlich größerer Freiflächenverschleiß als bei den beschichteten Platten zu erkennen. Es zeigte sich jedoch auch bei diesem Versuch kein starker abrasiver Verschleiß an den Freiflächen. Der vorzeitige Ausbau war also erneut auf Grund von Verschleißmerkmalen am Werkstück und nicht auf Grund von Verschleißmerkmalen am Werkzeug erfolgt. Die Rautiefe der bearbeiteten Fläche war zu Beginn des Versuches geringfügig größer als bei einem Vergleichswerkzeug, welches mit normalen Schneidplatten ohne Neigungswinkel ausgestattet war. Bereits nach 300 Teilen war jedoch kein Unterschied mehr messbar. Eine Erhöhung des Neigungswinkels hätte demnach also nur eine geringfügige Verschlechterung der Rautiefe zur Folge.

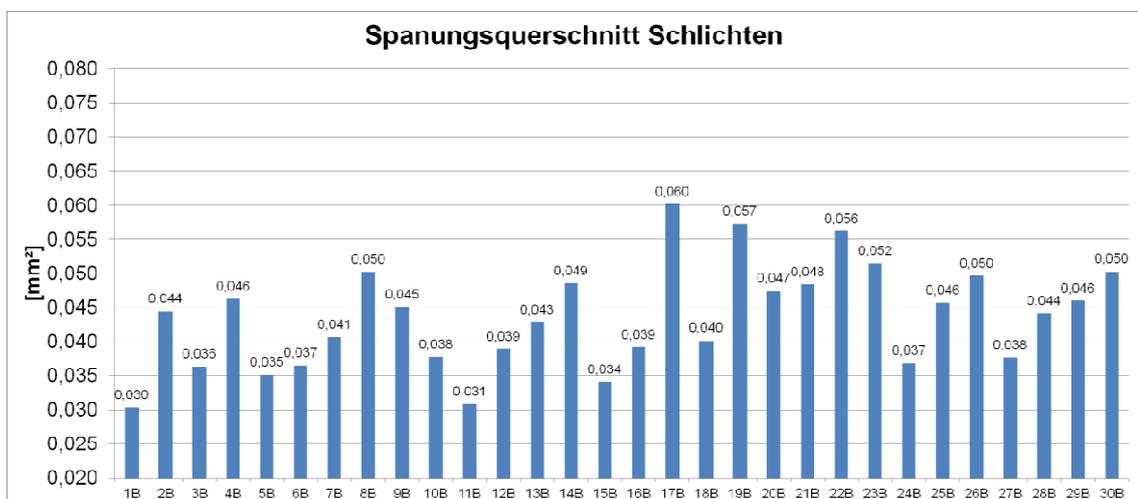


Abbildung 5-39: Spannungsquerschnitt Schichtplatten

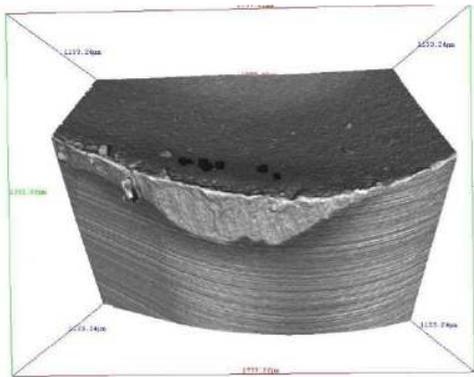


Abbildung 5-40: Schneide 1B

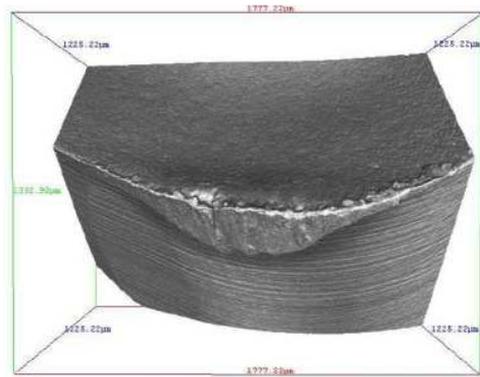


Abbildung 5-41: Schneide 5B

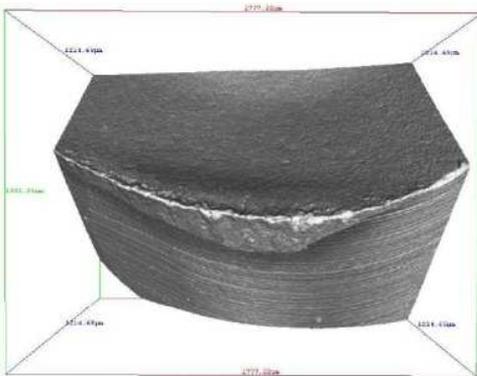


Abbildung 5-42: Schneide 11B

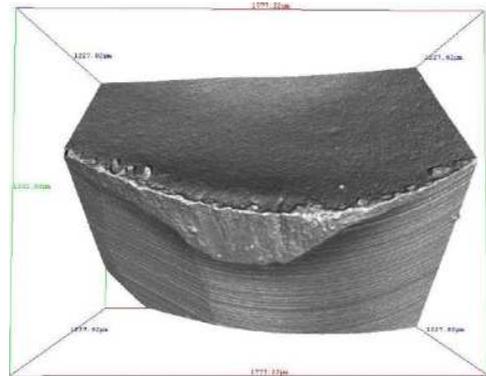


Abbildung 5-43: Schneide 15B

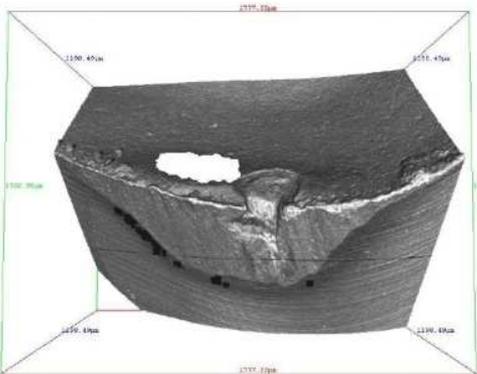


Abbildung 5-44: Schneide 17B

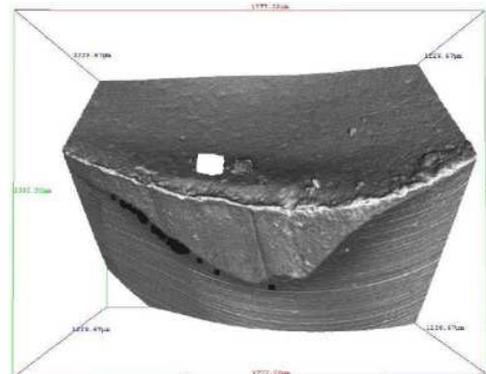


Abbildung 5-45: Schneide 19B

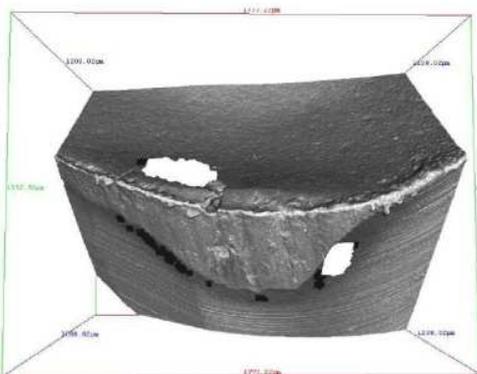


Abbildung 5-46: Schneide 22B

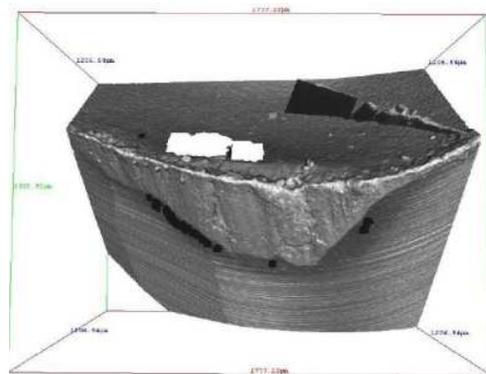


Abbildung 5-47: Schneide 23B

## 6 Verschleißmerkmale am Werkstück

Die in Abschnitt 5 bereits erwähnten Kriterien, nach welchen die Mitarbeiter an der Bearbeitungsmaschine den Zustand des Werkzeuges beurteilten, werden in diesem Abschnitt genau beschrieben. Die Abläufe des Beurteilungsprozesses wurden während der bereits beschriebenen Werkzeugversuche dokumentiert und analysiert. Ziel war es, eine Begründung für den Ausbau der Werkzeuge bei noch nicht verschlissenen Werkzeugschneiden und den damit verbundenen geringen Standmengen zu finden.

Grundsätzlich wurde die betreffende Fläche nach der Bearbeitung anhand von vier Punkten beurteilt. Es wurden die Ebenheit, die Rautiefe und die Gesamtlänge des Werkstücks, also der Abstand der Getriebeanschlussfläche zur gegenüberliegenden Fläche gemessen und die Fläche wurde mit freiem Auge auf Unebenheiten untersucht. Die einzelnen Bereiche dieses Abschnitts orientieren sich an diesen Beurteilungsprozessen.

### 6.1 Ebenheit der Fläche in der Fertigbearbeitung

Die Ebenheit der Fläche wurde mit Hilfe einer 3D-Messmaschine der Firma Zeiss gemessen, da die in der Produktion verwendete Messmaschine lediglich einen Teilbereich der bearbeiteten Fläche erfassen konnte. Als Toleranz für die Ebenheit wurden in der Fertigungszeichnung  $\pm 0,1\text{mm}$  angegeben. Um einen Zusammenhang zwischen dem Verschleiß des Werkzeuges und den Auswirkungen auf die Ebenheit der zu bearbeitenden Fläche herstellen zu können, wurde nach dem Einbau eines aufbereiteten Fräasers, das erste gefertigte Teil gemessen. Danach wurde jedes hundertste bearbeitete Teil vermessen, bis das Werkzeug schließlich auf Grund des Verschleißes nach 700 Teilen ausgebaut wurde. Es kamen die standardmäßig verwendeten, unbeschichteten Schneidplatten der Firma Ingersoll zum Einsatz. Bei diesem Versuch wurden aus bereits erwähnten Gründen ausschließlich Turbomotoren gefertigt. Die Abbildungen 6-1 bis 6-8 zeigen die Ergebnisse der einzelnen Messungen.

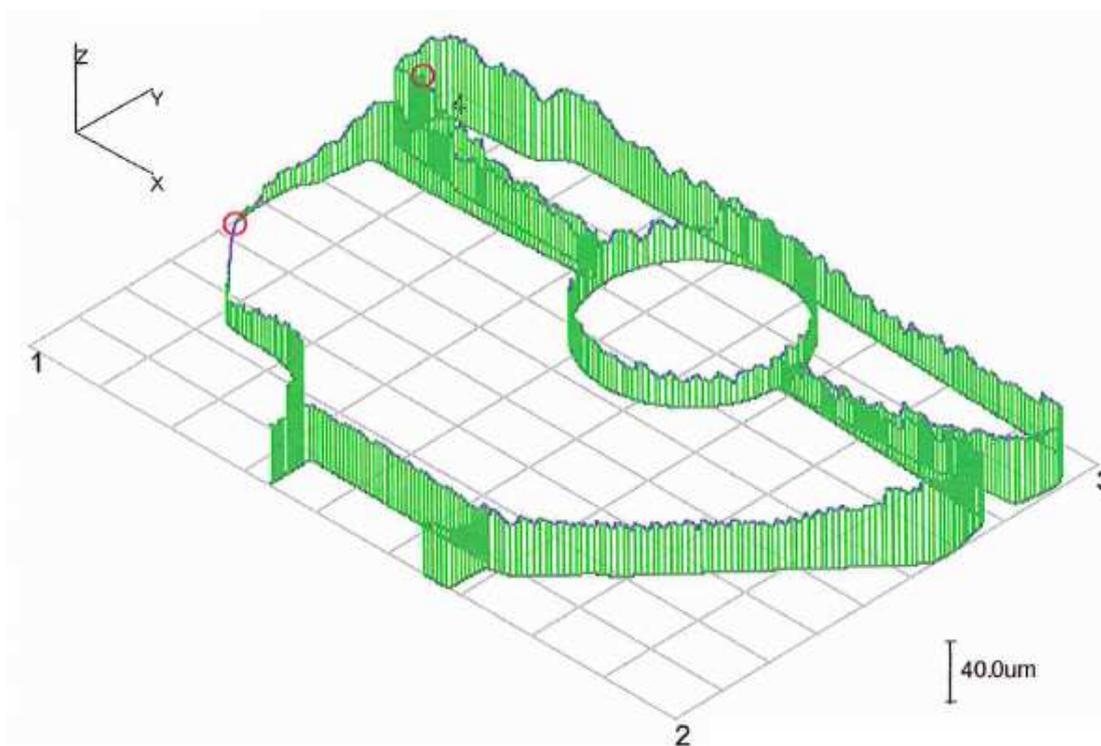


Abbildung 6-1: Teil 1

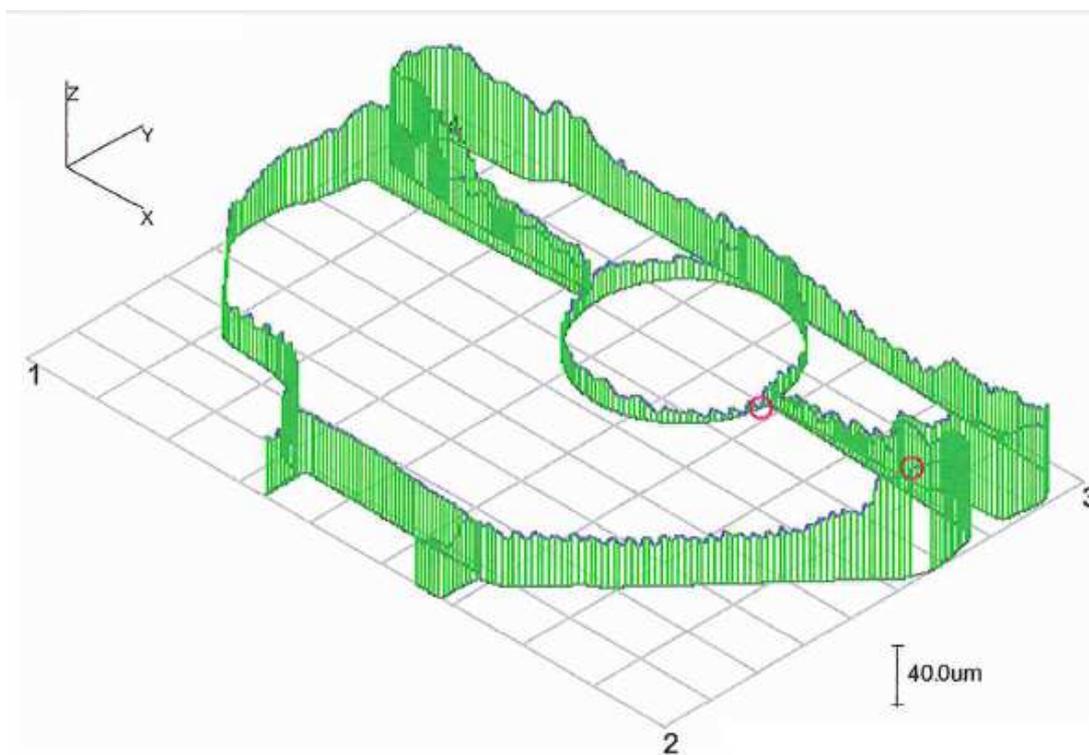


Abbildung 6-2: Teil 100

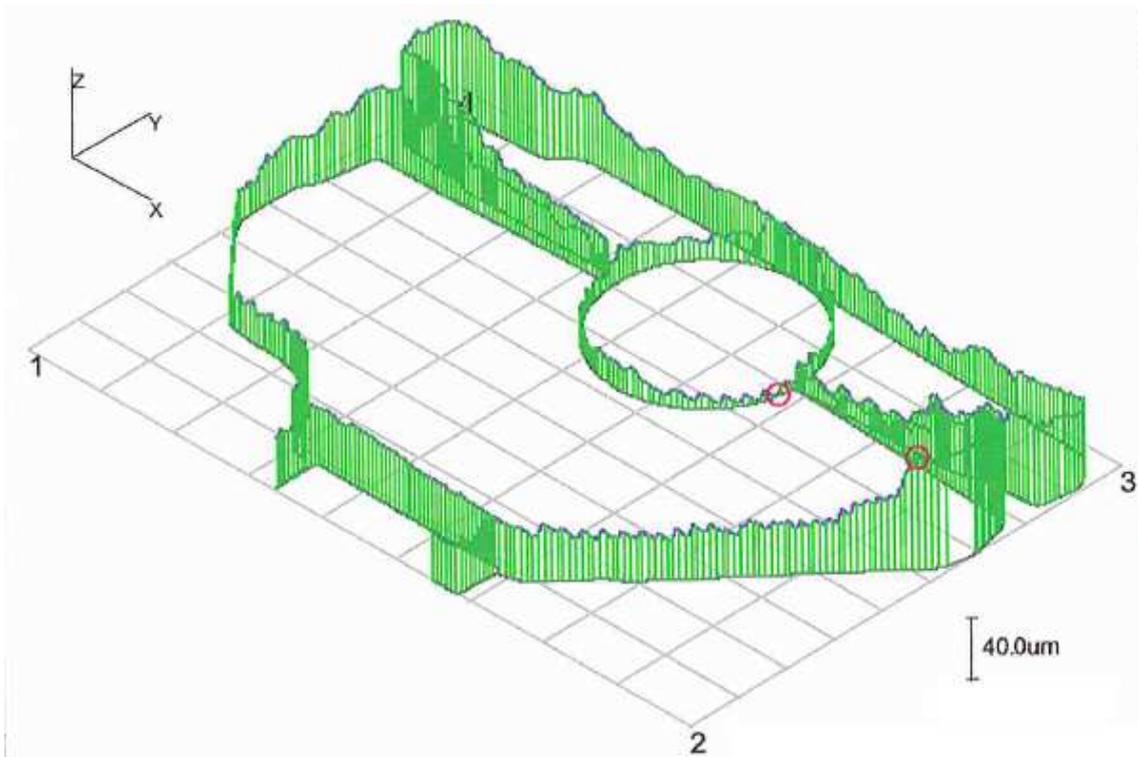


Abbildung 6-3: Teil 200

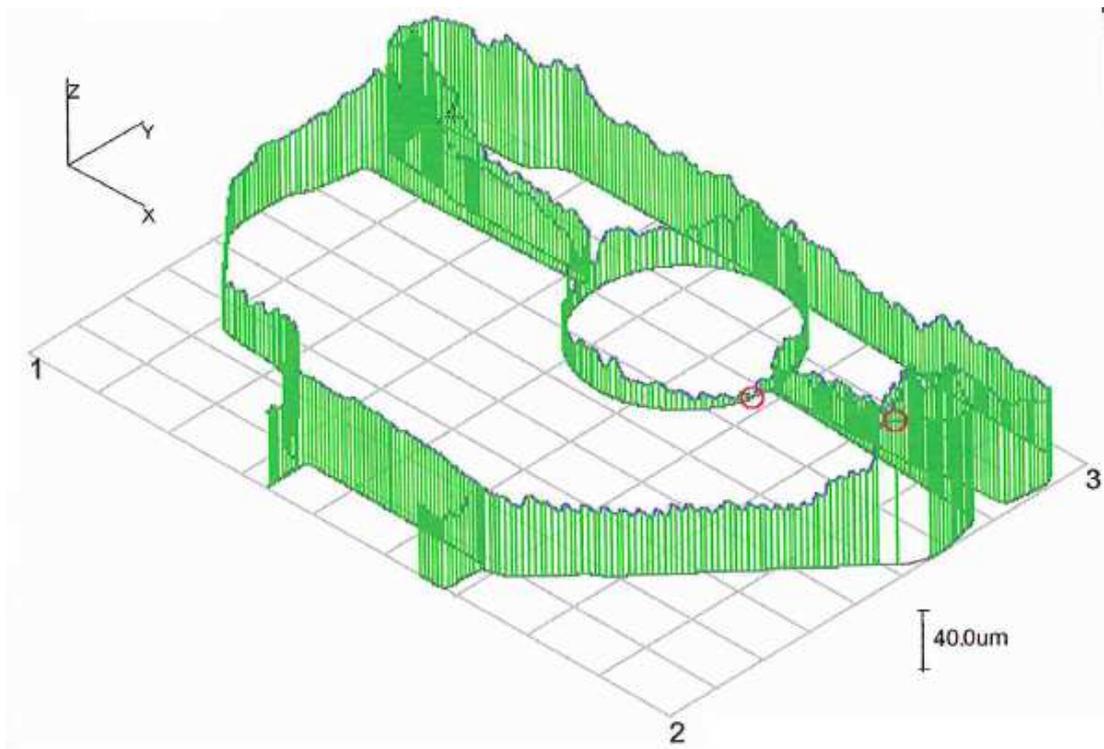


Abbildung 6-4: Teil 300

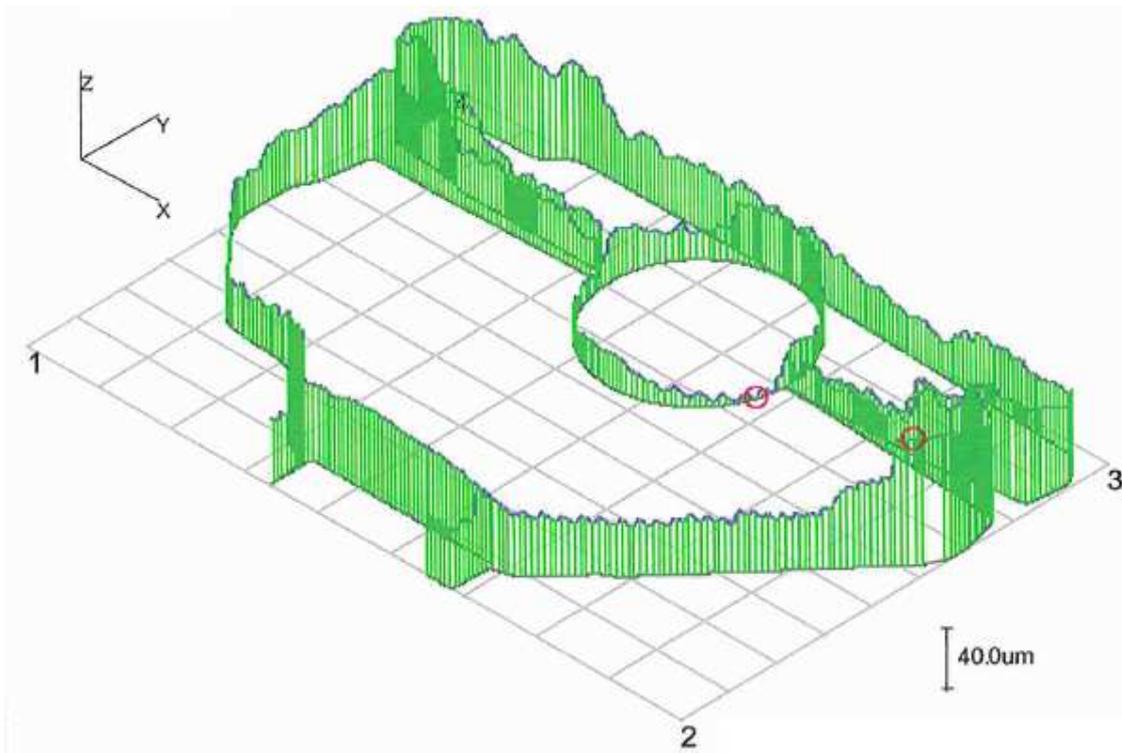


Abbildung 6-5: Teil 400

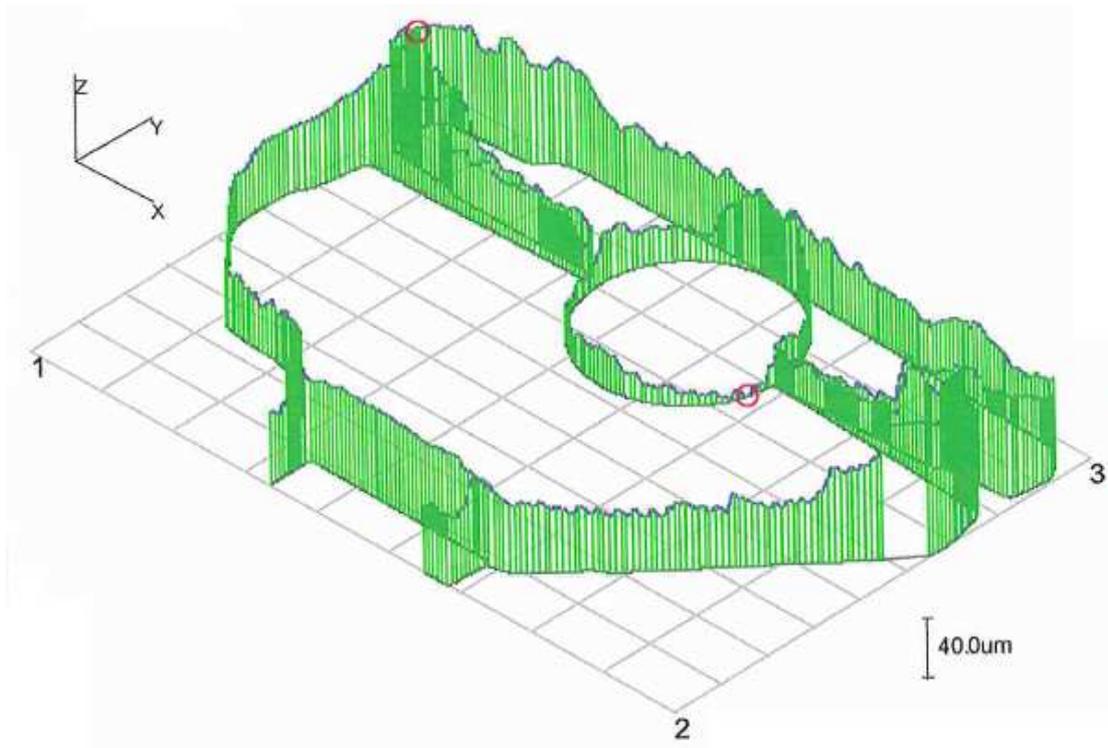


Abbildung 6-6: Teil 500

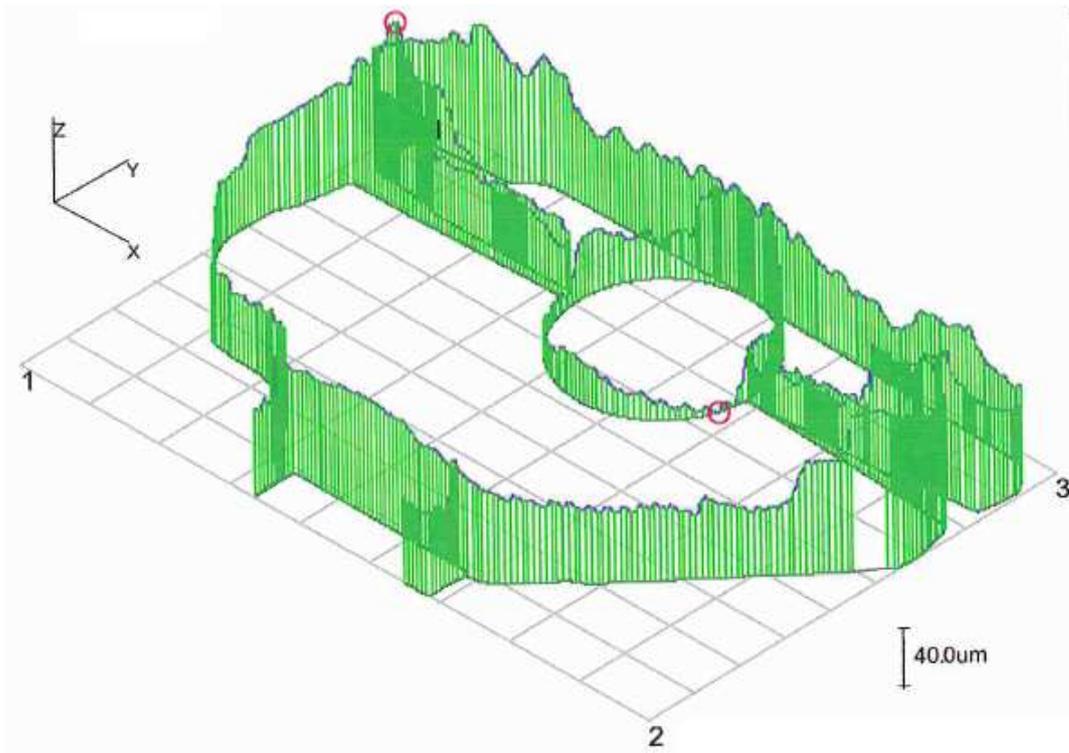


Abbildung 6-7: Teil 600

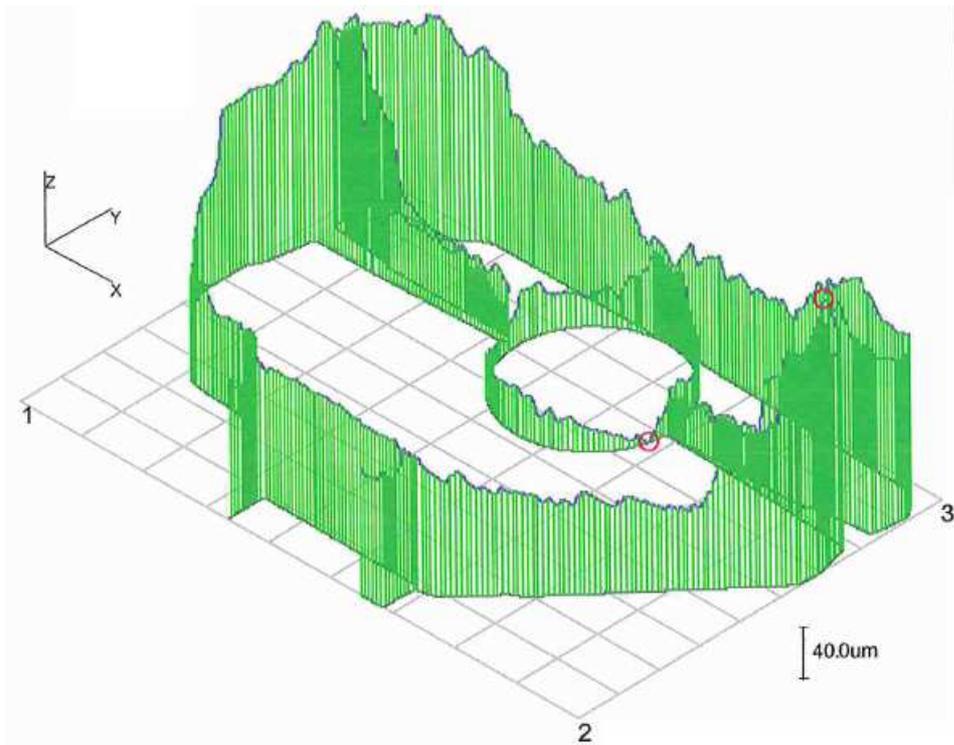


Abbildung 6-8: Teil 700

Eine sukzessive Verschlechterung der Ebenheit mit zunehmender Standmenge ist evident. Auffällig war, dass es zu einer starken Ballung kam. Beim ersten bearbeiteten Teil war bereits eine geringe Ballung erkennbar. Diese war zum Teil auf den Sturz des Fräsers zurückzuführen. Bei zunehmendem Verschleiß des Werkzeuges wurden jedoch die Höhenunterschiede zwischen der Mitte des Werkstückes und den Randzonen größer. Als Gründe für diesen Effekt wurden die Schnittbedingungen in den Randzonen identifiziert, die zu einer erhöhten Krafteinwirkung auf das Werkstück bei zunehmendem Verschleiß führten. Da in den Bereichen der Randzonen keine Abstützung durch die Werkstückaufspannung gegeben war, kam es zu einer Verformung des Werkstückes und dadurch zu der erwähnten geometrischen Abweichung der Fläche.

Im normalen Produktionsbetrieb wurde die Ebenheit der Fläche mit Hilfe einer 3D-Messmaschine der Firma Sirio gemessen. Der Messvorgang wurde alle vier Stunden durchgeführt. Im Gegensatz zu den vorher erwähnten Ebenheitsmessungen wurde hierbei jedoch nicht die gesamte Fläche vermessen, sondern lediglich der Abstand von acht definierten Messpunkten zur Achse einer festgelegten Indexbohrung. Abbildung 6-9 zeigt die Position der acht Messpunkte auf der Fläche.

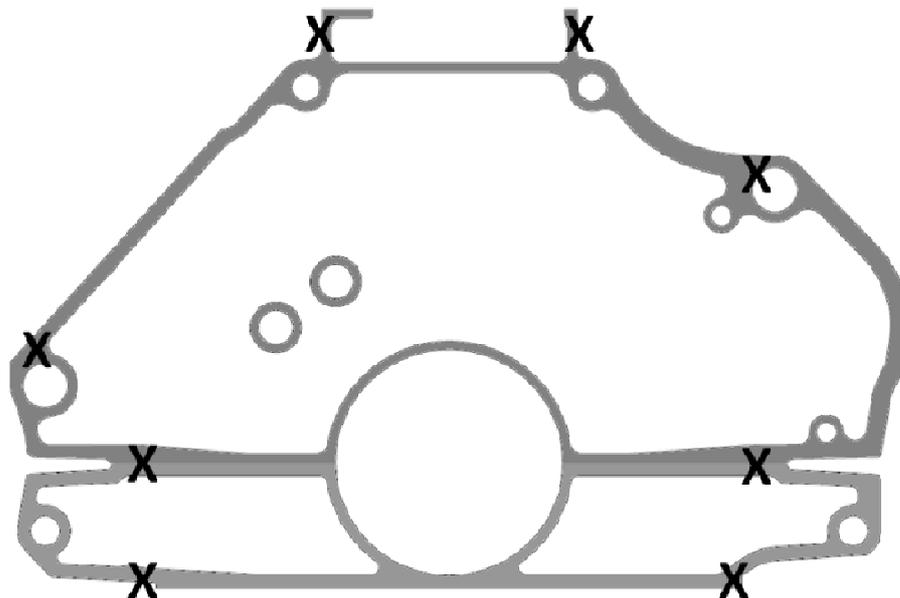


Abbildung 6-9: Messpunkte der Produktionsmessmaschine

Die ausgewählten Messpunkte lagen alle in Bereichen der Fläche, die bei zunehmendem Verschleiß eine Erhöhung aufweisen. In der Mitte der Fläche, insbesondere in der Nähe der Kurbelwellenbohrung, wo sehr geringe Abstandswerte

zur Indexbohrung erreicht wurden, lagen keine Messpunkte. Die Ebenheitsmessung während der Produktion gab also nur bedingt Auskunft über die tatsächliche Ebenheit der Fläche.

Bei den in Abschnitt 5 erwähnten Versuchen kam es kein einziges Mal zu einem vorzeitigen Ausbau des Versuchswerkzeuges auf Grund einer Überschreitung der Ebenheitstoleranz. Ein Zusammenhang zwischen dem Verschleiß des Werkzeuges und der Ebenheit der Fläche war insofern zwar eindeutig, jedoch nicht ausschlaggebend für das nicht Erreichen der Standmenge.

## 6.2 Ebenheit der Fläche in der Fertigbearbeitung

Im Zuge der Analyse der Ebenheit und Form der Getriebeanschlussseite wurden auch die Form der zu bearbeiteten Fläche vor der Fertigbearbeitung untersucht. Also der Zustand der Fläche nach der Vorbearbeitung. Wie schon in Abschnitt 6.1 wurde auch bei dieser Untersuchung der erste bearbeitete Teil nach dem Werkzeugwechsel sowie der letzte Teil vor dem neuerlichen Werkzeugwechsel vermessen. Es wurden ebenfalls die Ebenheit der Fläche mit Hilfe einer 3D-Messmaschine der Firma Zeiss gemessen. Abbildung 6-10 und 6-11 zeigen die Ergebnisse der Messungen. Auffällig war vor allem die starke Neigung der bearbeiteten Fläche in Richtung Zylinderkopf. Es ist deutlich zu erkennen, dass das Bedplate hinter dem Zylinderblock zurück steht und bei der Bearbeitung nicht mit dem Fräser in Berührung kommt. Wie sich herausstellte, war dieser Überstand des Zylinderblocks absichtlich so groß gewählt worden, um sicherzustellen, dass die beschichteten Wendeschneidplatten des Fräasers nicht mit dem Bedplate in Berührung kommen. Bei der Bearbeitung von Saugmotoren hätte es ansonsten bei der Bearbeitung des Aluminium Bedplates zu einem Abtrag der Beschichtung und damit zu einem vorzeitigen Verschleiß kommen können. Da die Neigung bereits bei dem ersten bearbeiteten Teil zu erkennen war, war eine Fehlstellung der Achse als Erklärung naheliegend. Mit zunehmendem Verschleiß nahm die Neigung der Schräge auf Grund der größer werdenden Schnittkräfte zu. Die Abweichungen von der Zylinderkopfseite zur Bedplateseite betrugen je nach Verschleiß des Fräasers zwischen 0,2 mm und 0,6 mm.

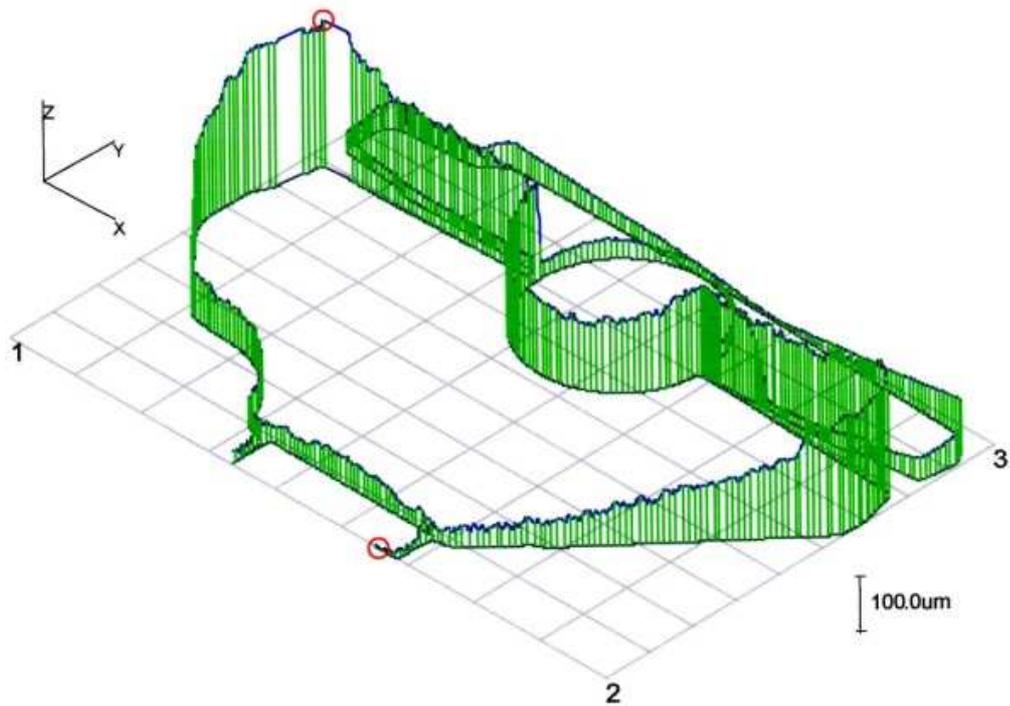


Abbildung 6-10: Vorbearbeitung Teil 1

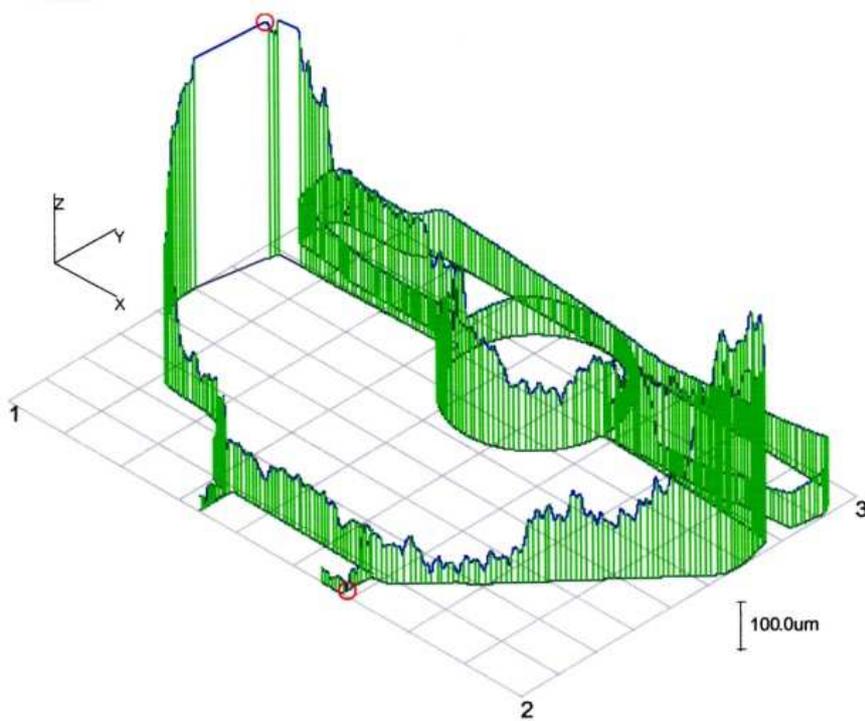


Abbildung 6-11: Vorbearbeitung Teil 800

Um den Einfluss der Vorbearbeitung auf die Fertigbearbeitung zu untersuchen, wurden die vermessenen Teile direkt hintereinander auf der gleichen Maschine fertigbearbeitet. Es wurde ein aufbereiteter Fräser verwendet, um das Ergebnis nicht

durch einen eventuellen Verschleiß am Werkzeug zu beeinflussen. Die Abbildungen 6-12 und 6-13 zeigen die Ergebnisse der Ebenheitsmessung.

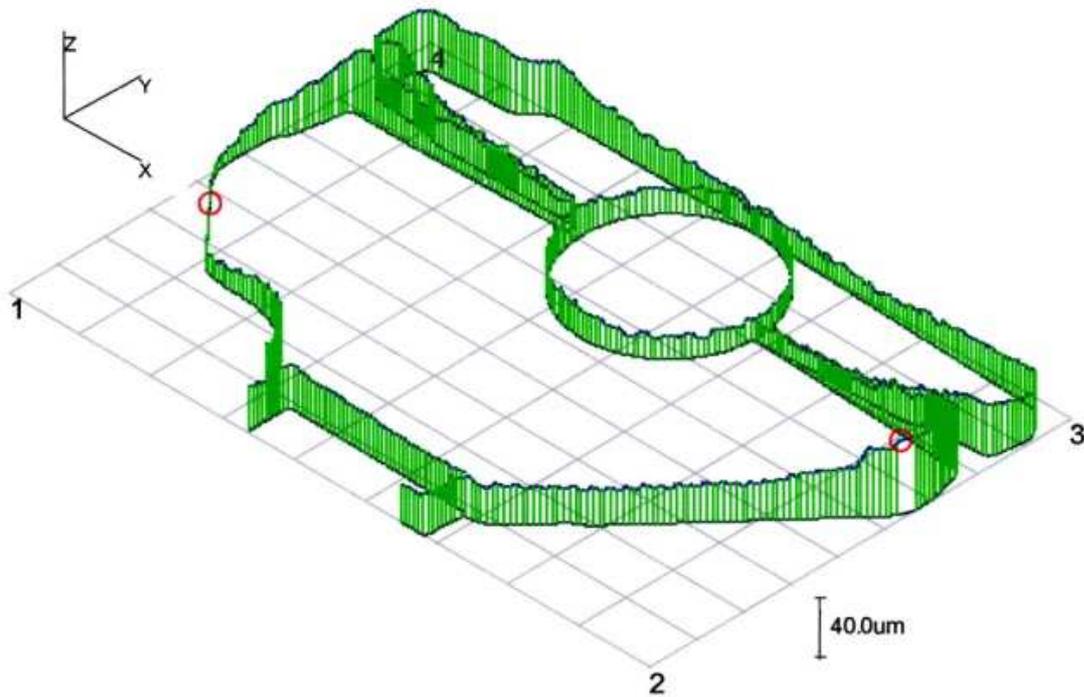


Abbildung 6-12: Fertigbearbeitung Teil 1

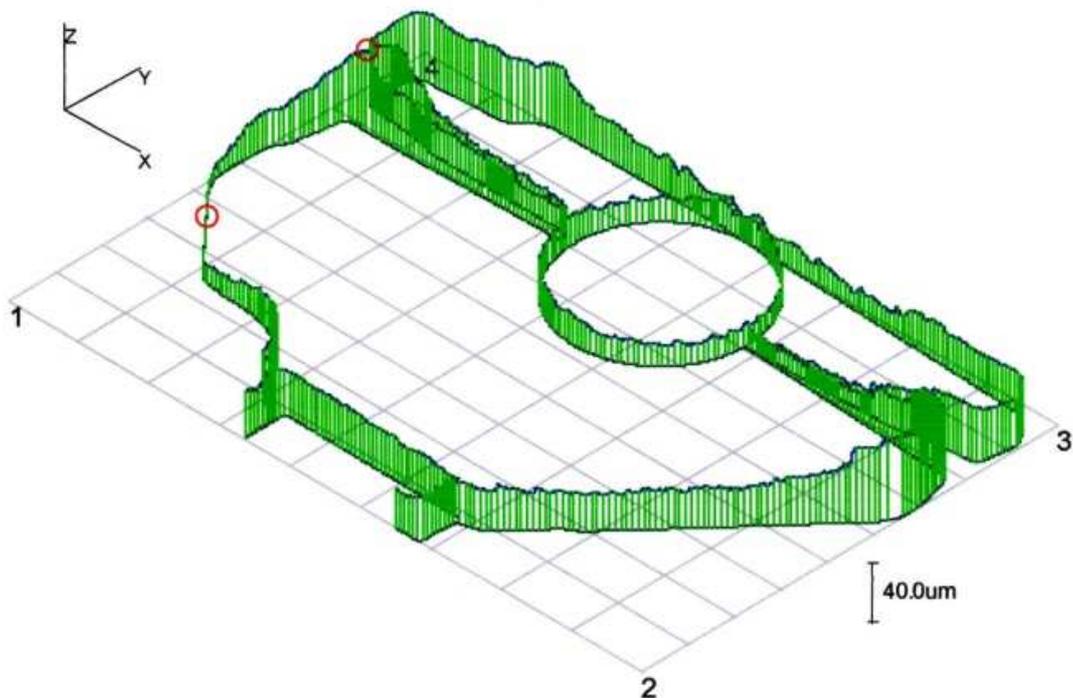


Abbildung 6-13: Fertigbearbeitung Teil 800

Die Balligkeit der Fläche war bei jenem Werkstück, welches mit dem verschlissenen Fräser vorbearbeitet wurde, zwar nur geringfügig größer, bei zunehmenden Verschleiß des Werkzeuges konnte jedoch mit einer Verstärkung des Effektes gerechnet werden.

### 6.3 Rautiefe

Die Rautiefe der Fläche wurde mit Hilfe eines Handmessgerätes direkt an einem Messplatz nach der Fertigbearbeitung gemessen. Hierbei wurde, wie in Abbildung 6-14 dargestellt, nur an zwei bestimmten Stellen gemessen, weil das Handmessgerät zwei ebene Auflageflächen zur Abstützung benötigte und diese bei der komplexen Form der Fläche nur an der markanten Stelle gegeben war. Die Toleranzgrenze für die Rauigkeit der Fläche lag bei einem Wert von  $25\mu\text{m}$  für  $R_{\text{max}}$ . Demzufolge durfte im Bereich der Messstrecke die Distanz vom höchsten zum niedrigsten Punkt maximal  $25\mu\text{m}$  betragen. Während des gesamten Beobachtungszeitraumes wurde kein einziger Teil auf Grund zu großer Rauigkeitswerte beanstandet.

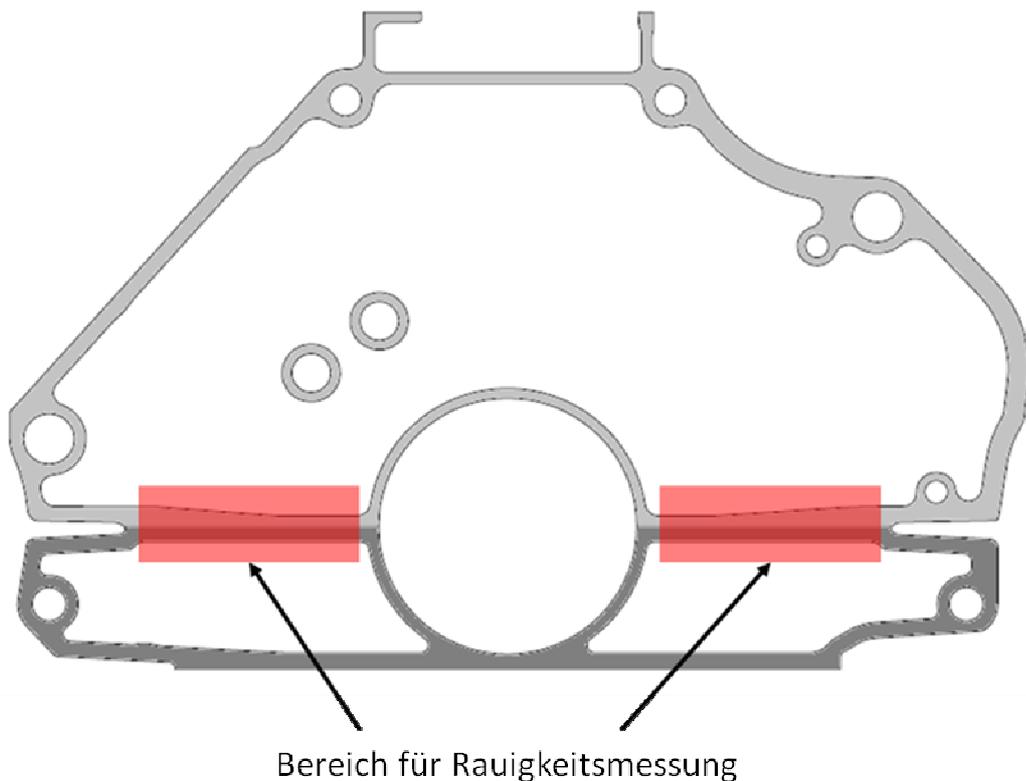


Abbildung 6-14: Rauigkeitsmessung mit Handmessgerät

## 6.4 Gesamtlänge des Werkstückes

Ein weiteres Merkmal, welches an der bearbeiteten Fläche gemessen wurde, war die Gesamtlänge des Werkstücks. Es wurde der Abstand von der Fläche der Steuerseite des Zylinderblocks zur Getriebeanschlussseite gemessen. Die zulässige Toleranz betrug  $\pm 0,1\text{mm}$ . Gemessen wurde mit Hilfe einer Messvorrichtung, welche auf der Zylinderkopfseite des Zylinderblocks angelegt wurde. Wie auf den Abbildungen der Messergebnisse in Abschnitt 6.1 ersichtlich, ist dieser Bereich der Getriebeanschlussfläche jener mit den geringsten Abweichungen auf Grund zunehmenden Verschleißes. Die standardisierte Messung in diesem Bereich gibt also nur bedingt Aufschluss über den tatsächlichen Gesamtabstand der Getriebeanschlussseite zur Steuerseite. Auch dieses Merkmal führte während des gesamten Beobachtungszeitraums kein einziges Mal zu einer Beanstandung des Werkstückes und damit zu einem Tausch des Werkzeuges der Fertigbearbeitung.

## 6.5 Optische Kontrolle

Bei der optischen Kontrolle des Werkstückes wurde die bearbeitete Fläche durch einen Mitarbeiter mit freiem Auge bewertet. Etwaige Unebenheiten wurden durch ein Betasten mit dem Finger beurteilt. Die Ergebnisse der optischen Kontrolle waren während des Beobachtungszeitraums der Grund für alle beanstandeten Werkzeuge beziehungsweise für deren Ausbau.

Unabhängig von den zuständigen Mitarbeitern wurden stets die gleichen Merkmale an der Fläche bemängelt. Es handelt sich hierbei um die bereits in Abschnitt 1 erwähnten Unebenheiten in Höhe der Starterbohrung. Wie in Abbildung 6-15 dargestellt, handelt es sich bei den Unebenheiten um Teilbereiche der Fläche, die durch eine besonders glatte Fläche optisch und sensorisch erkennbar sind. Deutlich zu erkennen war die Orientierung der einzelnen Riefen, welche durch die Schnittbewegung jeder einzelnen Schneide des Fräswerkzeuges verursacht wurden. Es war eine kreisförmige Orientierung der Schneidriefen auszumachen. Diese Oberflächenstruktur ist charakteristisch für das Stirnfräsen, wie auch schon in Abschnitt 4.3 erwähnt und in Abbildung 4-6 dargestellt. Auffällig war jedoch die Orientierung der Schneidriefen in der beanstandeten glatten Fläche. Es handelte sich hierbei zwar ebenfalls um eine kreisförmige Ausrichtung der Schneidriefen, der Mittelpunkt des Kreisbogens schien jedoch näher am Bedplate zu liegen. Abbildung

6-16 und 6-17 zeigen eine Vergrößerung der beanstandeten Flächen. An diesen sind deutlich die unterschiedliche Ausrichtung der Schneidriefen zu erkennen.

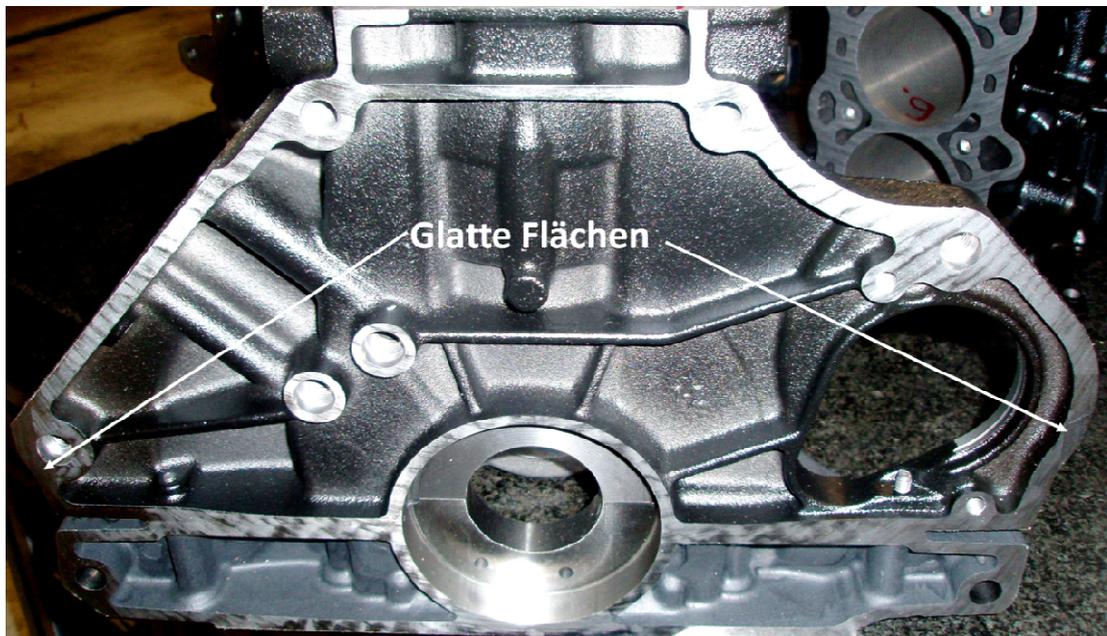


Abbildung 6-15: Beanstandete Flächen



Abbildung 6-16: Linke Seite

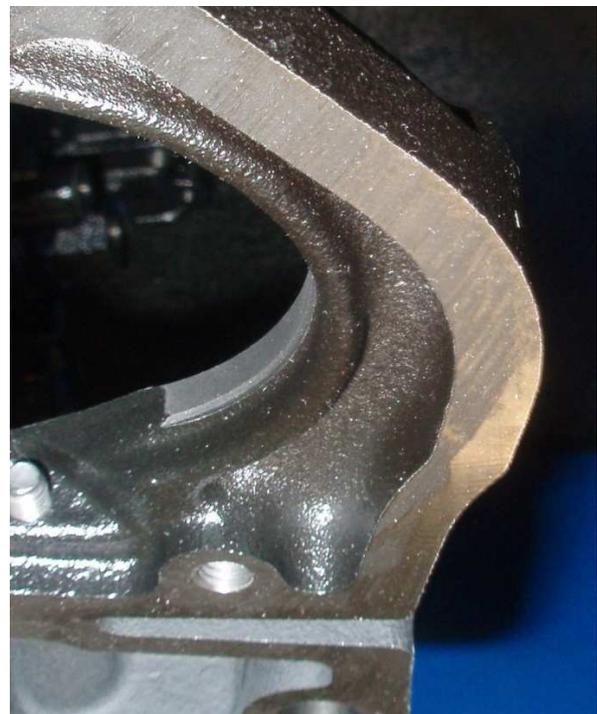


Abbildung 6-17: Rechte Seite

Die Orientierung der Schneidriefen wies auf ein Nachschneiden des Fräsers in den Randzonen der Fläche hin. Zur Verdeutlichung ist in Abbildung 6-18 eine

Schematische Darstellung des Nachschneidevorgangs am Werkstück dargestellt. Nach der eigentlichen Bearbeitung der Fläche an der Vorderseite des Fräsers, kam es anscheinend zu einem erneuten Kontakt des Werkzeuges mit dem Werkstück an der Rückseite des Fräsers. Dies wird normalerweise durch den Sturz des Werkzeuges verhindert.

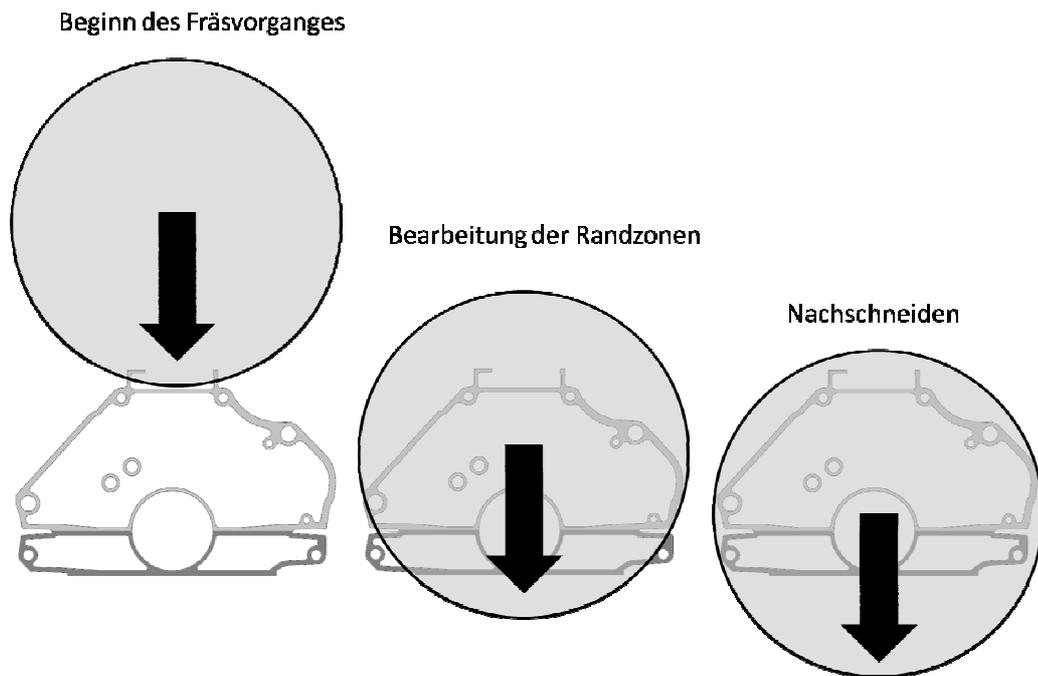


Abbildung 6-18: Schematische Darstellung des Fräsvorgangs

Da beim Nachschneiden des Fräsers kein Material von den Schneiden abgetragen wurde, kam es lediglich zu einem Gleiten der Schneidplatten auf dem Werkstück. Hierbei werden Unebenheiten am Werkstück eingeebnet. Es kam also zu einem Glätten der Fläche, wodurch die besonders ebene Oberfläche in den Randzonen verursacht wurde. Das Nachschneiden wurde durch eine Kombination des geringen Sturzes des Werkzeuges und der ungünstigen Abstützung und der damit verbundenen Einfederung des Werkstückes verursacht. Bei neuen Werkzeugen traten geringere Schnittkräfte und somit auch eine geringere Deformation des Werkstücks während der Bearbeitung auf. Deshalb kam es erst nach einem Verschleiß des Werkzeuges zur Ausbildung der glänzenden Flächen.

Um den Zusammenhang der Stufenhöhe zwischen der nachgeschnittenen und der ursprünglichen Fläche mit dem Werkzeugverschleiß zu untersuchen, wurden alle in Abschnitt 6.1 erwähnten Teile auf die maximale Rautiefe  $R_{\max}$  zwischen den Flächen untersucht. Das Ergebnis dieser Untersuchungen ist in Abbildung 6-19 dargestellt.

Es wurden sowohl Teile von beiden Spindeln als auch Teile, die während der Werkzeugversuche zum Ausbau der Versuchswerkzeuge geführt hatten, vermessen. Es ist offensichtlich, dass kein Zusammenhang zwischen dem Verschleiß des Werkzeuges und der Höhe von  $R_{\max}$  bestand. Es konnte somit festgehalten werden, dass der Verschleiß des Werkzeuges zwar zu einem Nachschneiden des Fräsers und zur Entstehung einer Stufe von maximal  $20\mu\text{m}$  führt. Es war jedoch kein Zusammenhang zwischen der Höhe dieser Stufe und dem Verschleiß des Werkzeuges erkennbar. Eine Bewertung des Werkzeugverschleißes anhand dieses Merkmales war also rein subjektiv und spiegelte nicht den tatsächlichen Verschleiß des Werkzeuges wider.

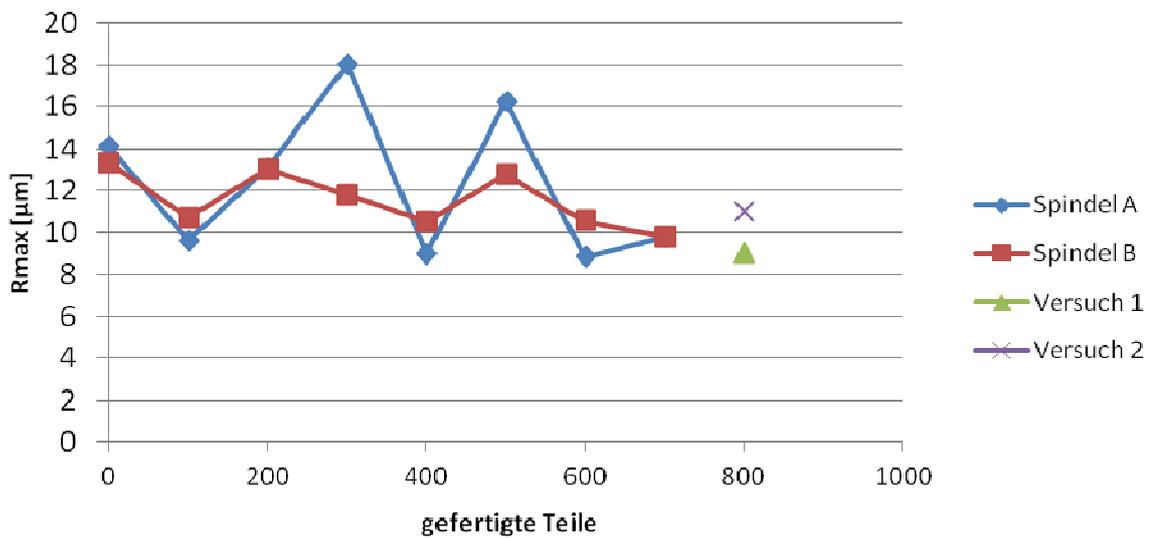


Abbildung 6-19: Ergebnisse der Rautiefenmessung

## 7 Zusammenfassung

Die Untersuchungen des Institutes für Fertigungstechnik, der TU Wien zeigten, dass die Standzeitschwankungen an der Planfräsbearbeitung des Zylinderblocks auf der Getriebeanschlussseite durch das Zusammenspiel mehrerer Faktoren verursacht worden ist.

Die variable Zusammensetzung der zu bearbeiteten Werkstoffe führte zu einer schwankenden Standmenge der Werkzeuge abhängig vom Produktionsprogramm.

Die Schnittbedingungen der einzelnen Werkzeuge waren prozessbedingt in allen Teilbereichen unterschiedlich. Als Bereiche mit besonders schlechten Schnittbedingungen auf Grund eines sehr geringen Spanungsquerschnittes wurden die Randzonen der Fläche, im Bereich des Bedplates und der Starterbohrung ausgemacht. Neben den Schnittbedingungen handelte es sich bei den erwähnten Bereichen auch um jene Zonen, in denen bedingt durch die Vorbearbeitung das größte Aufmaß vorherrschte.

Die Abstützung des Werkstückes in der Fertigbearbeitung wurde lediglich anhand der Konstruktionszeichnungen analysiert. Auffällig war hierbei vor allem die fehlende Abstützung der Randzonen der zu bearbeiteten Fläche.

Die genannten Faktoren führten in Kombination mit einem sehr geringen Spindelsturz bereits bei geringem Verschleiß des Werkzeuges zu einem Nachschneiden des Fräasers in den Randzonen der zu bearbeiteten Fläche. An der Fläche war dies durch glänzende Zonen mit sehr glatter Oberfläche zu erkennen.

Eine Beschichtung der Wendeschneidplatten führte zu einer deutlichen Reduktion des Verschleißes am Werkzeug. Eine Erhöhung der Standmenge konnte jedoch nicht erreicht werden, da der Verschleiß des Werkzeuges nur indirekt durch eine Bewertung der gefertigten Werkstücke erfolgte.

Die Bewertung der gefertigten Werkstücke erfolgte mit Hilfe mehrerer Messgeräte und durch eine optische Bewertung der bearbeiteten Fläche durch den Mitarbeiter an der Maschine. Untersuchungen der Fläche zeigten keinerlei Zusammenhänge zwischen dem optischen Erscheinungsbild der Fläche und dem tatsächlichen Verschleiß des Fräasers. Die Bewertung des Werkzeugverschleißes erfolgte also subjektiv und wurde somit als Hauptursache für die erhöhten Standzeitschwankungen identifiziert.

Zur Verdeutlichung der Zusammenhänge der einzelnen Faktoren wurde ein Ursache-Wirkungs-Diagramm erstellt, welches in Abbildung 7-1 dargestellt ist.

Die Erstellung eines solchen Diagramms gilt als gängige Methode in der Problemanalyse und beruht auf der Trennung von Ursachen und Auswirkungen eines Problems. Durch die grafische Darstellung werden die einzelnen Zusammenhänge verdeutlicht. Bei der Erstellung des Diagramms werden meistens die sogenannten „6 M“ berücksichtigt. Hierbei handelt es sich um die sechs wichtigsten Ursachenbereiche in der Problemanalyse. Hierzu zählen die Bereiche Mensch, Material, Maschine, Mitwelt, Messung und die Methode [12].

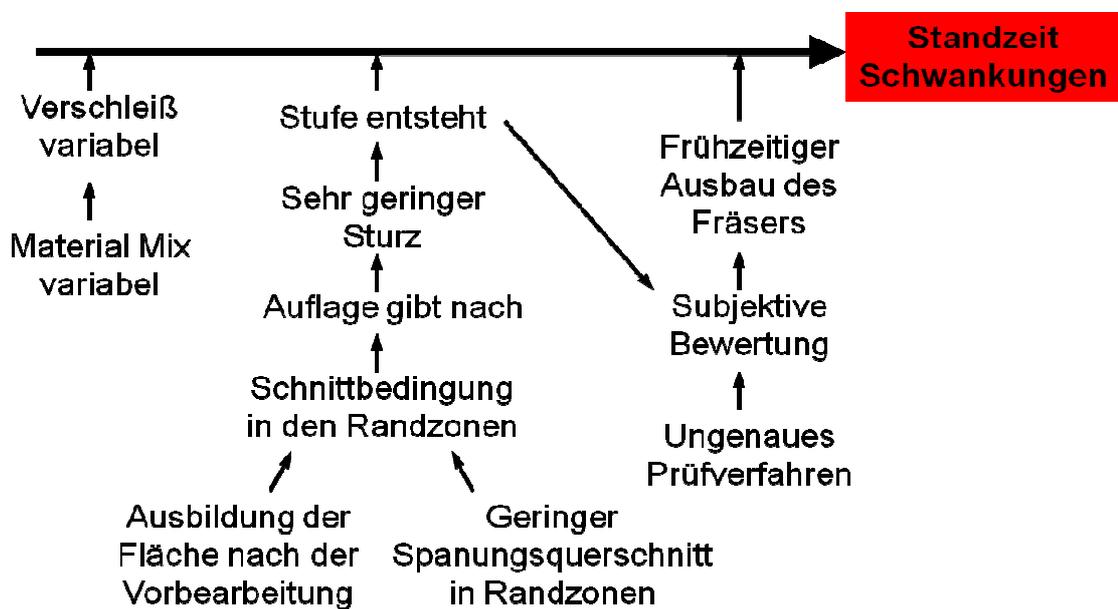


Abbildung 7-1: Ursache-Wirkungs-Diagramm

Anhand der Untersuchungsergebnisse wurden Empfehlungen erarbeitet, welche in einem Abschlussbericht an die Firma Opel weitergegeben wurden.

Es wurde der Einsatz eines Rautiefenmessgerätes angeraten, welches nicht nur an einer bestimmten Position auf der Getriebeanschlussfläche eingesetzt werden kann. Mit einem derartigen Messgerät könnte die Rautiefe an den Flächen, welche durch ein Nachschneiden des Fräasers entstehen, bestimmt werden. Somit wäre eine subjektive Bewertung der Oberfläche ausgeschlossen. Dies sollte zu einer Stabilisierung der Standmenge bei den Werkzeugen der Fertigbearbeitung führen. Des weiteren wurde empfohlen, auch die bestehenden Messergebnisse anhand der erwähnten Untersuchungsergebnisse zu optimieren. Vor allem die Position der

Messpunkte, die mit der Koordinatenmessmaschine in der Produktion gemessen wurden, sollten angepasst werden.

Um das Nachschneiden des Fräsers und damit das Auftreten der Flächen mit unterschiedlicher Oberflächenbeschaffenheit zu beseitigen, wurde empfohlen die Schnittbedingungen am Werkzeug zu optimieren und gleichzeitig eine Verformung des Werkstücks in der Auflage zu verhindern.

Um eine Verbesserung der Schnittbedingungen zu bewirken, sollten vor allem die Flächenform nach der Vorbearbeitung verbessert werden. Der Einsatz eines Werkzeugkörpers mit größerem Durchmesser würde sich positiv auf die starken Unterschiede des Spanungsquerschnittes zwischen den Randzonen und der Vorschubrichtung des Fräsers auswirken.

Eine weitere Möglichkeit zur Vermeidung des Nachschneidens des Fräsers wäre ein erhöhter Sturz des Werkzeuges, jedoch wäre hierbei auf die Rauigkeit der Oberfläche Rücksicht zu nehmen. Die Versuche mit schräg geschliffenen Platten zeigten jedoch ein vielversprechendes Ergebnis.

Um die Verformung des Werkstücks während der Bearbeitung zu verringern, sollte die Auflage des Werkstückes in den Randzonen der Fläche eine zusätzliche Abstützung erhalten. Vor einer Neuauslegung der Auflage müsste jedoch eine genaue Analyse der auftretenden Kräfte in den Aufnahmen und den tatsächlichen Verformungen des Teils während der Bearbeitung durchgeführt werden.

Ein Einsatz von beschichteten Platten zur Erhöhung der Standmenge wäre erst nach dem Umsetzen der oben genannten Maßnahmen sinnvoll, da nur so sichergestellt wäre, dass das Potential der Beschichtung zur Verschleißminderung tatsächlich ausgenutzt würde. Die Abgabe einer Empfehlung für die Auswahl einer bestimmten Beschichtung ist in Anbetracht der variablen Materialzusammensetzung nur bedingt möglich. Spezielle Beschichtungen zur Bearbeitung von Guss- und Aluminiumwerkstoffen werden zwar von vielen Herstellern angeboten, die Wirtschaftlichkeit dieser Beschichtungen müsste jedoch erst im Werkzeugversuch bestätigt werden.

## 8 Literaturverzeichnis

- [1] GM Worldwide Engineering Standards, GMW4, Release 2011-01; 2011
- [2] GM Worldwide Engineering Standards, GMW5, Release 2000-10; 2000
- [3] Werkzeugplan OP1080, Opel-Zeichnungsnummer: 000w975007, Seite 4, Revision 0; 2008
- [4] Werkzeugplan OP1080, Opel-Zeichnungsnummer: 000w975007, Seite 8, Revision: 0; 2008
- [5] Konstruktionszeichnung Spannvorrichtung OP 1080, Opel-Zeichnungsnummer: 000w514028, Seite 2, Revision A; 1995
- [6] Herstellerzeichnung Fräskörper, Opel-Zeichnungsnummer: U23491300, Seite 1, Revision: 0; 1998
- [7] Herstellerzeichnung Wendeschneidplatte, Opel-Zeichnungsnummer: F13488434, Seite 1, Revision: 0; 1998
- [8] Tönshoff, H. K., Denkens, B.:  
Spanen – Grundlagen  
3. Auflage, Springer Verlag Heidelberg; 2011
- [9] Pauusch, E., Holsten, S., Linß, M., Tikal, F.:  
Zerspantechnik – Prozesse, Werkzeuge, Technologien  
12. Auflage, Vieweg und Teubner Verlag Wiesbaden; 2008
- [10] Klocke, F., König, W.:  
Fertigungsverfahren 1 – Drehen, Fräsen, Bohren  
8. Auflage, Springer Verlag Heidelberg; 2008

- 
- [11] Braun, S., Maier, W., Zirkelbach, S., Kruszynski, J., Köpf, A., Pitonak, R.:  
Intelligent Produzieren – Hochproduktive Werkzeugbeschichtungen,  
Springer Verlag Heidelberg; 2010
- [12] Westerbuch, R.:  
Qualitätsmanagementsysteme, Vieweg und Sohn Verlagsgesellschaft  
mbH Wiesbaden; 1998

## 9 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Schematische Darstellung der Unebenheit.....	7
Abbildung 1-2: Unebenheit links.....	7
Abbildung 1-3: Unebenheit rechts.....	7
Abbildung 2-1: Flächenanteile von Zylinderblock und Bedplate.....	10
Abbildung 3-1: Werkzeugplan OP 1080.....	12
Abbildung 3-2: Werkzeugplan OP 1090.....	13
Abbildung 3-1: Detail aus Konstruktionszeichnung Werkstückauflage.....	15
Abbildung 3-2: Dreidimensionale Darstellung der Werkstückauflage.....	16
Abbildung 3-3: Dreidimensionale Darstellung der Werkstückauflage.....	16
Abbildung 3-4: Spannungspunkte am Werkstück.....	17
Abbildung 3-6: Herstellerzeichnung Fräskörper.....	19
Abbildung 3-7: Detailaufnahme Fräskörper.....	20
Abbildung 3-8: Herstellerzeichnung Wendeschneidplatte.....	20
Abbildung 3-9: Aufnahme der Schneidkante unter dem Lichtmikroskop.....	21
Abbildung 4-1: Messvorrichtung und Messuhr.....	23
Abbildung 4-2: Auswertung Standzeiten über Fräsernummer.....	24
Abbildung 4-3: Auswertung Standzeiten anhand Mitarbeiter.....	25
Abbildung 4-4: Messvorgang außerhalb der Maschine.....	26
Abbildung 4-5: Messvorgang in der Maschine.....	27
Abbildung 4-6: Eingriffsgrößen Stirnfräsen.....	28
Abbildung 4-7: Einfluss Sturz auf Schnitttiefe.....	29
Abbildung 4-8: Spannungsquerschnitt Schlichtplatten.....	30
Abbildung 4-9: Schneide 1B.....	31
Abbildung 4-10: Schneide 2B.....	31
Abbildung 4-11: Schneide 3B.....	31

---

Abbildung 4-12: Schneide 10B.....	31
Abbildung 4-13: Schneide 13B.....	31
Abbildung 4-14: Schneide 16B.....	31
Abbildung 4-15: Schneide 19B.....	31
Abbildung 4-16: Schneide 27B.....	31
Abbildung 4-17: Spanungsquerschnitt Schruppplatten.....	32
Abbildung 4-18: Schneide 6A.....	33
Abbildung 4-19: Schneide 13A.....	33
Abbildung 4-20: Schneide 15A.....	33
Abbildung 4-21: Schneide 28A.....	33
Abbildung 4-22: Schneide 1A.....	33
Abbildung 4-23: Schneide 3A.....	33
Abbildung 4-24: Schneide 5A.....	33
Abbildung 4-25: Schneide 30A.....	33
Abbildung 5-1: Schematische Darstellung der Verschleißarten.....	35
Abbildung 5-2: Spanungsquerschnitt Schlichtplatten.....	36
Abbildung 5-3: Schneide 1B.....	37
Abbildung 5-4: Schneide 3B.....	37
Abbildung 5-5: Schneide 27B.....	37
Abbildung 5-6: Schneide 29B.....	37
Abbildung 5-7: Schneide 8B.....	37
Abbildung 5-8: Schneide 13B.....	37
Abbildung 5-9: Schneide 16B.....	37
Abbildung 5-10: Schneide 19B.....	37
Abbildung 5-11: Spanungsquerschnitt Schruppplatten.....	38
Abbildung 5-12: Schneide 2A.....	38
Abbildung 5-13: Schneide 10A.....	38

---

Abbildung 5-14: Schneide 13A.....	38
Abbildung 5-15: Schneide 28A.....	38
Abbildung 5-16: Schneide 1A.....	39
Abbildung 5-17: Schneide 9A.....	39
Abbildung 5-18: Schneide 24A.....	39
Abbildung 5-19: Schneide 27A.....	39
Abbildung 5-20: Spanungsquerschnitt Schlichtplatten.....	40
Abbildung 5-21: Schneide 1B.....	41
Abbildung 5-22: Schneide 11B.....	41
Abbildung 5-23: Schneide 12B.....	41
Abbildung 5-24: Schneide 14B.....	41
Abbildung 5-25: Schneide 5B.....	41
Abbildung 5-26: Schneide 6B.....	41
Abbildung 5-27: Schneide 8B.....	41
Abbildung 5-28: Schneide 24B.....	41
Abbildung 5-29: Spanungsquerschnitt Schruppplatten.....	42
Abbildung 5-30: Schneide 2A.....	42
Abbildung 5-31: Schneide 10A.....	42
Abbildung 5-32: Schneide 13A.....	42
Abbildung 5-33: Schneide 21A.....	42
Abbildung 5-34: Schneide 1A.....	43
Abbildung 5-35: Schneide 4A.....	43
Abbildung 5-36: Schneide 9A.....	43
Abbildung 5-37: Schneide 14A.....	43
Abbildung 5-38: Darstellung der geschliffenen Platte.....	44
Abbildung 5-39: Spanungsquerschnitt Schlichtplatten.....	44
Abbildung 5-40: Schneide 1B.....	45

---

Abbildung 5-41: Schneide 5B.....	45
Abbildung 5-42: Schneide 11B.....	45
Abbildung 5-43: Schneide 15B.....	45
Abbildung 5-44: Schneide 17B.....	45
Abbildung 5-45: Schneide 19B.....	45
Abbildung 5-46: Schneide 22B.....	45
Abbildung 5-47: Schneide 23B.....	45
Abbildung 6-1: Teil 1.....	47
Abbildung 6-2: Teil 100.....	47
Abbildung 6-3: Teil 200.....	48
Abbildung 6-4: Teil 300.....	48
Abbildung 6-5: Teil 400.....	49
Abbildung 6-6: Teil 500.....	49
Abbildung 6-7: Teil 600.....	50
Abbildung 6-8: Teil 700.....	50
Abbildung 6-9: Messpunkte der Produktionsmessmaschine.....	52
Abbildung 6-10: Vorbearbeitung Teil1.....	54
Abbildung 6-11: Vorbearbeitung Teil800.....	54
Abbildung 6-12: Fertigbearbeitung Teil1.....	55
Abbildung 6-13: Fertigbearbeitung Teil800.....	55
Abbildung 6-14: Rauigkeitsmessung mit Handmessgerät.....	56
Abbildung 6-15: Beanstandete Flächen.....	58
Abbildung 6-16: Linke Seite.....	58
Abbildung 6-17: Rechte Seite.....	58
Abbildung 6-18: Schematische Darstellung des Fräsvorgangs.....	59
Abbildung 6-19: Ergebnisse der Rautiefenmessung.....	60
Abbildung 7-1: Ursache-Wirkungs-Diagramm.....	62

## 10 Formelverzeichnis

(Glg. 1) Spanungsquerschnitt..... **Fehler! Textmarke nicht definiert.**

## **11 Tabellenverzeichnis**

Tabelle 2-1: Eigenschaften der verwendeten Werkstoffe.....11

Tabelle 3-1: Parameter der Fräswerkzeuge.....20