

**Marc Philipp Goritschnig**

Schleifprozessuntersuchung zur Energie- und  
Ressourcenoptimierung beim Werkzeugschleifen

**Diplomarbeit**

Angestrebter akademischer Titel:

**Diplom- Ingenieur**

Studienrichtung:

**Wirtschaftsingenieurwesen- Maschinenbau**

**Technische Universität Graz**

**Fakultät für Maschinenbau und Wirtschaftswissenschaften**

**Edler Jörg Dipl.-Ing. Dr. techn.**

**Institut für Fertigungstechnik**

Graz, 2013

## Danksagung

Es ist vollbracht, nach langen Bemühungen und zielorientiertem Arbeiten habe ich es nun endlich vollbracht, mein Studium abzuschließen und meine langersehnte Abschlussarbeit zu verfassen. Es ist Zeit DANKE zu sagen. Besonderer Dank gilt natürlich Herrn Univ. Prof. Heinrich Hochleitner, Institutsvorstand des Fertigungstechnik Instituts. Ein großer Dank gilt auch meinem tollen Betreuer meiner Diplomarbeit, Herrn Dr. Jörg Edler. Er war stets bereit mir bei eventuellen Problemstellungen behilflich unter die Arme zu greifen. Dem Initiator und Schleifscheiben- „GURU“ Schrottner Gerhard alias „Schrotti“ möchte ich auf diesem Wege recht herzlich danken. Er lebt für die Schleifscheibentechnologie und genau solche Leute sind dafür verantwortlich, den stetigen Aufschwung in gewissen Technologiebereichen voranzutreiben. Ein kräftiges Dankeschön auch an meine vielen Studienkollegen, Christoph, Fabian, Jesse, Toni, Marc, Georg und Gunther. Sie waren in meinen vielen Jahren des Lernens, als auch Privat, stets treue Unterstützer. Meinen lieben Freunden unserer „Fössl“ Runde Alfred, Martin, Ginte, Tommi, Peter und Ratte, möchte ich hiermit danken, so viele schöne und unterstützende Momente im Studienleben durchlebt zu haben. Meinem Jagdkompanen und besten Freund Alfred möchte ich ebenfalls danken, meine Abschlussarbeit so toll korrekturgelesen zu haben. Seine Tipps zur richtigen Abfassung waren mir eine große Hilfe. Meiner tollen Freundin Ute möchte ich danken, sie war für mich jederzeit da und ein großer Rückhalt, um einen solchen Lebensabschnitt erfolgreich zu absolvieren. Auch meinem Buddy Tino möchte ich danke sagen, er hat gemeinsam mit mir parallel in Wien studiert, gemeinsam haben wir uns unterstützend durchs Studium gebissen. Ebenfalls meinen netten Kollegen bei der Firma Kettner möchte ich danken, meine Nebenjoberfahrungen während meines Studiums haben mich in meiner Lebenserfahrung bereichert. Aber auch die tolle und flexible Arbeitseinteilung war phänomenal und hiermit möchte ich insbesondere meiner Chefin Frau Meindl Monika danken, sie hat es mir ermöglicht Lernen und Arbeiten unter einen Hut zu bekommen. Abschließend möchte ich meiner Familie den größten Dank aussprechen, insbesondere meinem Papa und meiner Mama, für die jederzeitige Unterstützung, sei es mental als auch finanziell gewesen. Meiner Schwester Lisa, meiner Oma Irmi mit Lebensgefährten Sigi, meinem Onkel Heimo und Mina sage ich ebenfalls hiermit danke, stets für mich da gewesen zu sein. Diese Arbeit widme ich meinen tollen Eltern!

Senat TU Graz

Deutsche Fassung:

Beschluss der Curricula-Kommission für Bachelor-, Master- und Diplomstudien vom 10.11.2008

Genehmigung des Senates am 1.12.2008

## EIDESSTÄTTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am .....

.....

(Unterschrift)

Englische Fassung:

## STATUTORY DECLARATION

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

.....

date

.....

(signature)

## Kurzfassung

Diese Arbeit entstand aus der Idee heraus, aufzuzeigen, dass man zu einer hochwertigen Schleifmaschine auch die geeignete Schleifscheibe mitsamt richtigen Schleifölen benötigt, um bestmögliche Hartmetallwerkzeuge für die Zerspanungstechnik zu produzieren. Viele zerspanungstechnische Anwender, welche auf Schleiftechnologien angewiesen sind, sollen aufmerksam gemacht werden, dass man mit der richtigen Schleiftechnologie Zeit und Kosten einsparen, die Oberflächengüte steigern sowie die Abnutzung der Schleifscheibe optimieren kann. Auch die Belastungen auf die Maschine können verringert werden. Die Arbeit gibt zunächst einen schleiftechnischen Überblick, danach erfolgt die Auswertung aller gesammelten Kühlschmierstoff- und Schleifscheibendaten. Für den Schleifprozess sind der Verschleiß der Schleifscheibe, die Kraftaufnahme an der Schleifspindel, die Temperaturentwicklung in der Schleifscheibe als auch im Prüfling und das Verhalten der Kühlschmiermittel im Einsatz maßgebend. Schlüsselstellen für das Verhalten des Kühlschmierstoffs ist die Schaumbildung, Ausschleppung des Öls mittels Schleifscheibenbelag und die Vernebelung des Mediums. Weiters wird die Maschinenverschmutzung bei allen Kombinationsmöglichkeiten bewertet. Schlussendlich wird eine Aussage getroffen, welche Kombinationsmöglichkeiten zu wählen sind, um bestmögliche Schleifergebnisse energie- und ressourcenschonend zu erhalten. Die Daten zu den Auswertungen wurden über 2 Jahre hinweg an einem Prüfstand über einen Kooperationspartner ermittelt und im Rahmen dieser Arbeit ausgewertet. Die Bedeutung dieser Arbeit liegt in der Möglichkeit, aufgrund fundierter statistischer Untersuchungen eine Abschätzung zu treffen, welche Schleifscheibentechnologie und Öl- Kombination für welche Anwendung im Hartmetallsektor der Werkzeugproduktion, die Optimalste wäre.

Um eine kurze Zusammenfassung zu geben, hat laut meinen Ergebnissen die Schleifscheibe Dr. Müller die besten Resultate, wärmetechnisch als auch belastungstechnisch, geliefert. Im Mittelfeld lagen die Scheiben nach der Coolgrind Technologie mit dem Schleifbelägen von Oelheld und RWT. Es sei zu erwähnen das innengekühlte Schleifscheiben in ihrem Verhalten große Vorteile liefern, der Schleifbelag dieser Schleifscheiben hat jedoch einen enormen Einfluss.

Mäßige Ergebnisse lieferte auch die Schleifscheibe der Firma Tesch. Am schlechtesten abgeschnitten hat die Schleifscheibe nach Riegger. Zu den Kühlschmierstoffen bezüglich Schäumungsverhalten, Partikelabtransport, Kühlwirkung usw. hat das Kühlschmiermittel Sintogrind der Firma Oelheld die besten Ergebnisse geliefert. Um beste Qualitätsstandards in der Hartmetallbearbeitung zu erreichen, wäre die optimalste Kombinationsmöglichkeit nach meinen Erfahrungen, einen Schleifbelag der Firma Dr. Müller mit der Innenkühlung nach Coolgrind auszustatten und dazu das Kühlschmiermittel Sintogrind nach Oelheld zu verwenden.

## Abstract

This thesis arises from the fact that a common grinding machine can only produce a high quality hard metal item with the suitable grinding disc and grinding oil. Among others, the combination of these two components influences the favoured quality of the grinding product essentially. On the one hand side, it will strongly influence the grade of the surface, as well as the abrasion of the grinding disc and on the other hand side, it will save time and money, during the item fabrication. Furthermore the load of the grinding machine can be downsized to a minimum. This work starts with the fundamentals of the grinding technique, followed by an extended analysis of the possible combinations of grinding discs and the grinding oils. Finally the conclusion of the analysis will end up this thesis. The important parameter during a grinding process are the abrasion of the grinding disc, the load at the grinding spindle, the temperature gradient in the item as well as in the grinding disc and the grinding oil. Especially the frothing of the grinding oil and the drag-out mechanism of the disc coat modify the quality behaviour during the grinding process. In addition, the individual fouling of the grinding machine by varying the grinding disc and the grinding oil is investigated. The measurement data was collected at a test facility over a period of two years by a cooperation partner of the institute and was interpreted in this thesis to get the most satisfying result and additionally preserve resources. The main statement of this thesis comprises the possibility to find the appropriate combination of grinding disc and grinding oil, based on a statistical analysis. This will be essential for the fabrication of hard metal tools in industrial productions.

To summarize the results, the disc of the company Dr. Müller showed the best temperature performance and liability during the grinding process. The discs with the Coolgrind Technologie and the coating of Oelheld and RWT gave also useful results. The grinding discs from the companies Tesch and Riegger provided non-satisfying results. In general, discs with interior cooling showed preferable grinding and temperature behaviour. The grinding oil Sintogrind from the company Oelheld comprised the most favourable behaviour of frothing, cooling and drag-out effects. Finally, this investigation doubtlessly showed that there is the necessity, for using the disc of Dr. Müller combined with the interior cooling system of Coolgrind and the grinding oil Sintogrind from the company Oelheld. This combination gives the best quality of the hard metal item from the performed grinding process.

## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Darstellung der Aufgabenstellung.....	1
2	Die Schleifscheibe.....	2
2.1	Der Aufbau einer Schleifscheibe.....	3
2.1.1	Der Schleifbelag .....	3
2.1.2	Der Grundkörper .....	4
2.1.3	Der Verschleiß am Schleifkorn .....	5
2.2	Schleifscheiben mit Innenzuführung des Kühlschmiermittels .....	5
2.3	Scheiben mit Direktzuführung des Kühlschmiermittels .....	7
2.4	Aufschrift an einer Schleifscheibe.....	8
2.5	Einflussfaktoren auf das Schleifergebnis .....	9
2.5.1	Das spezifische Zeitspanvolumen $Q_w$ .....	10
2.5.2	Schärfen von kunstharzgebundenen Diamantschleifscheiben .....	11
2.6	Schleifscheibenmontage.....	13
2.7	Ein Überblick der untersuchten Schleifscheiben.....	14
2.7.1	Coolgrind Schleifscheibe nach Rappold- Winterthur (CW RWT)....	15
2.7.2	Coolgrind Schleifscheibe nach Oelheld (CW OH) .....	16
2.7.3	Tesch Diamantschleifscheibe.....	16
2.7.4	Riegger Diamantschleifscheibe .....	17
2.7.5	Dr.Müller Diamantschleifscheibe (MST) .....	18
3	Das Kühlschmiermittel.....	20

3.1	Unterschied zwischen Wasser- und Ölkühlung .....	21
3.2	Einteilung der Kühlschmierstoffe nach VDI- Richtlinie 3396 .....	21
3.3	Aufgabe und Zweck von Kühlschmiermitteln .....	22
3.3.1	Wahl des Kühlschmiermittels .....	22
3.4	Vorteile beim Schleifen mit Öl.....	24
3.5	Voraussetzungen für das Schleifen mit Öl.....	25
3.5.1	Die Maschinenkapselung .....	25
3.5.2	Die Absaugung.....	26
3.5.3	Die Ölbeständigkeit .....	26
3.5.4	Die Kühlmittelkontrolle.....	26
3.5.5	Die Kühlmittelzuführung .....	27
3.5.6	Kuschmierstoffmenge und Pumpendruck.....	28
3.6	Der Aufbau von Schleifölen .....	29
3.6.1	Basisflüssigkeiten.....	29
3.6.2	Additive .....	31
3.7	Die Schaumbildung.....	36
3.7.1	Die Bewertung des Schäumungsverhaltens.....	36
3.8	Cobaltaufnahme von Kühlschmiermitteln .....	41
4	Der Prüfstand .....	44
4.1	Die CNC - Schleifmaschine .....	45
4.1.1	Merkmale.....	46
4.1.2	Die CNC - Steuerung .....	48

4.2	Die Filteranlage.....	50
4.2.1	Filterierbarkeit von Kühlschmierstoffen .....	54
4.3	Das Vermessungsgerät .....	54
4.4	Die Thermokamera .....	56
4.5	Das Stroboskop .....	59
4.6	Der Prüfaufbau .....	60
4.7	Der Verschmutzungsgrad .....	64
5	Der Hartmetallprüfling .....	67
5.1	Die Hartmetallherstellung (HM- Herstellung) .....	69
5.2	Der Aufbau und die Eigenschaften von Hartmetall .....	71
5.3	Die Hartmetallschneide.....	72
6	Auswertung der Messdaten.....	75
6.1	Grundlagen der statistischen Methoden .....	75
6.1.1	Kennwerte .....	75
6.1.2	Beschreibende Statistik: Zerspanungsenergie, Standardabweichung, Temperatúrauswertung und Korrelation.....	77
6.2	Zusammenfassung und Resümee der Auswertungsergebnisse.....	93
	Literaturverzeichnis.....	94
	Abbildungsverzeichnis .....	96
	Tabellenverzeichnis .....	100
	Anhang .....	101

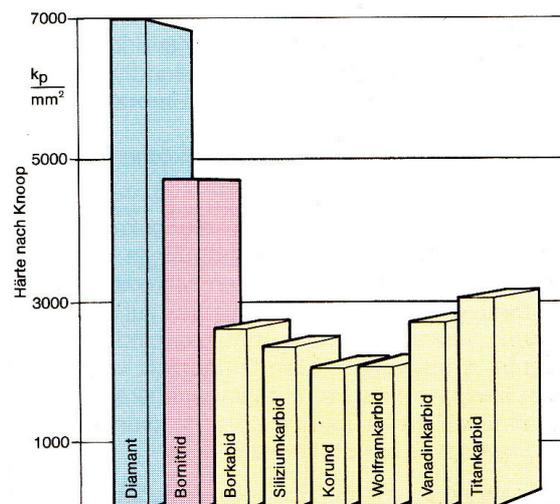
## 1 Einleitung und Darstellung der Aufgabenstellung

Die Schleiftechnik nimmt einen bedeutenden Faktor im Bereich des Maschinenbauwesens ein. Dort wo es notwendig ist beste Oberflächen zu schaffen, wird die Schleiftechnik eingesetzt, ob in der Verkehrstechnik oder der Produktionstechnik, ihr Anwendungsgebiet ist weit verbreitet. Betrachtet man zum Beispiel Riemenscheiben bei Riementrieben, so muss man darauf achten, die Oberfläche glatt zu gestalten, um den Verschleiß des Riemens aufgrund dessen Anpresskräfte und Schlupfeigenschaften niedrig zu halten. Dies erreicht man nur durch einen gezielten Einsatz von geeigneten Schleiftechnologien.

Um ein geeignetes Schleifbild zu erhalten, sind mehrere Einflussfaktoren zu beachten. Es gibt am Markt sehr viele Kühlschmiermittelhersteller und jedes Medium hat aufgrund unterschiedlicher Zusammensetzungen eine eigene Charakteristik. Wiederum gibt es sehr viele verschiedene Schleifscheibenhersteller und die Aufgabe dieser Arbeit ist es nun herauszufinden, welches Schleiföl und welche Scheibe man aus der Testreihe kombiniert, um bestmögliche Ergebnisse in der Hartmetallwerkzeugherstellung zu erzielen. Heutzutage ist auch eine energie- und ressourcenschonende Vorgehensweise des Schleifprozesses von größter Priorität. Der Prüfstand wurde so konzeptioniert, dass die Kraftaufnahme indirekt an der Schleifspindel gemessen wird. Des Weiteren wurde die Temperaturentwicklung an der Schleifscheibe sowie am Prüfling mittels einer Thermokamera erfasst. Im Schleiföl als auch im Werkstück wurde die Temperatur zusätzlich über Thermoelemente ermittelt. Alle Daten wurden eingelesen und dementsprechend elektronisch verarbeitet. Die Aufgabe besteht nun dazu über statistische Methoden per Matlab und Excel Auswertungen zu bewerkstelligen. Die entstandene Verschmutzung im Bearbeitungsraum der CNC- Schleifmaschine wird über mehrere visuelle Beurteilungen (1-5) bewertet. Vorab kann man sagen, dass die Verschmutzung bei allen Kombinationsmöglichkeiten geschwankt hat. Die Schaumbildung des Schleiföls während des Schleifvorganges in der Filteranlage und im Maschineninnenraum wird ebenfalls visuell bewertet (1-10). Schaum bedeutet Luftanreicherungen und dies wirkt sich negativ auf den Kühleffekt des Mediums und die gesamte Schleifbearbeitung aus.

## 2 Die Schleifscheibe

Die Schleifscheibe ist dafür verantwortlich, dass man eine spanende Bearbeitung erlangt. Sie besitzt eine Vielzahl geometrisch unbestimmter Schneiden, damit sind die Schneidkörner gemeint. vgl. [1] Hochleistungsschleifmittel wie Diamant und CBN Bornitrid werden dort eingesetzt wo es die hohen Kosten rechtfertigen, also dort wo sie bei größerem Zeitspanvolumen, d.h. schnellen Werkstoffabtrag, geringeren spezifischen Verschleiß im Gegensatz zu konventionellen Schleifmitteln aufweisen. [2] In dieser Arbeit werden Diamantschleifkörner näher betrachtet, da diese vorwiegend in der Hartmetallbearbeitung verwendet werden. Die Schnittgeschwindigkeiten sind im Gegensatz zu anderen spanenden Verfahren relativ hoch. Nachfolgendes Diagramm zeigt die unterschiedlichsten Schleifmittel und derer Härteunterschiede.



**Abb. 2.1** Härtevergleich von Schleifmitteln [2]

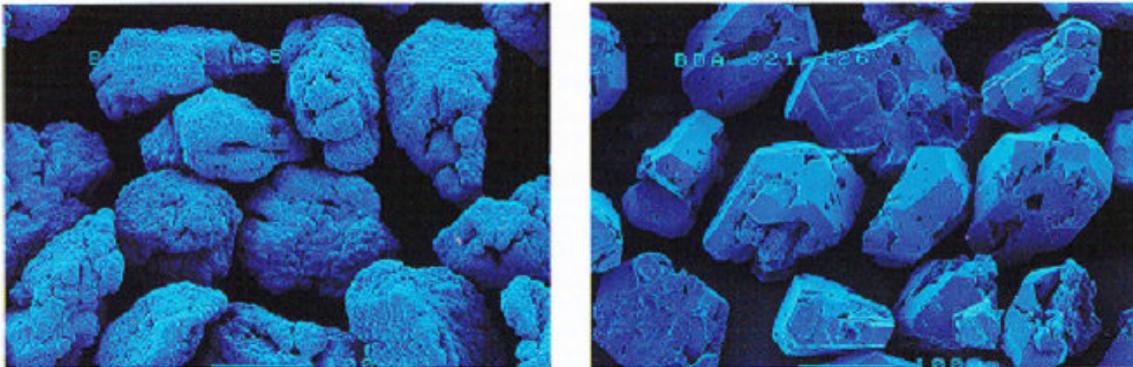
Diamant und Bornitrid sind die härtesten Werkstoffe, Dichte und Härte sind beim Diamant noch höher als bei Bornitrid. Diamant besteht aus reinem Kohlenstoff und besitzt eine kubische Kristallstruktur. vgl. [3] Der Druckwiderstand, die Wärmeleitfähigkeit und der relative Verschleißwiderstand sind bei Diamantschleifmitteln am höchsten.

## Die Schleifscheibe

### 2.1 Der Aufbau einer Schleifscheibe

Wie bereits erwähnt ist das Schneidkorn als Diamant ausgeführt, seine Belastbarkeit ist unerreicht und für Hartmetall die perfekte Lösung.

Schleifscheiben bestehen im Wesentlichen aus einem Schleifbelag und dem Grundkörper. Die Schleifkörnung ist, je nach deren Verwendung, mit einer speziellen Beschichtung aus Metall ummantelt. Diese Ummantelung kann bei Naßschliff auf Nickel-Basis sein, bei Trockenschliff auf Kupfer-Basis. Sie vermindern die thermische Beanspruchung und verbessern die mechanische Verankerung des Kornes in der Bindung. vgl. [2]



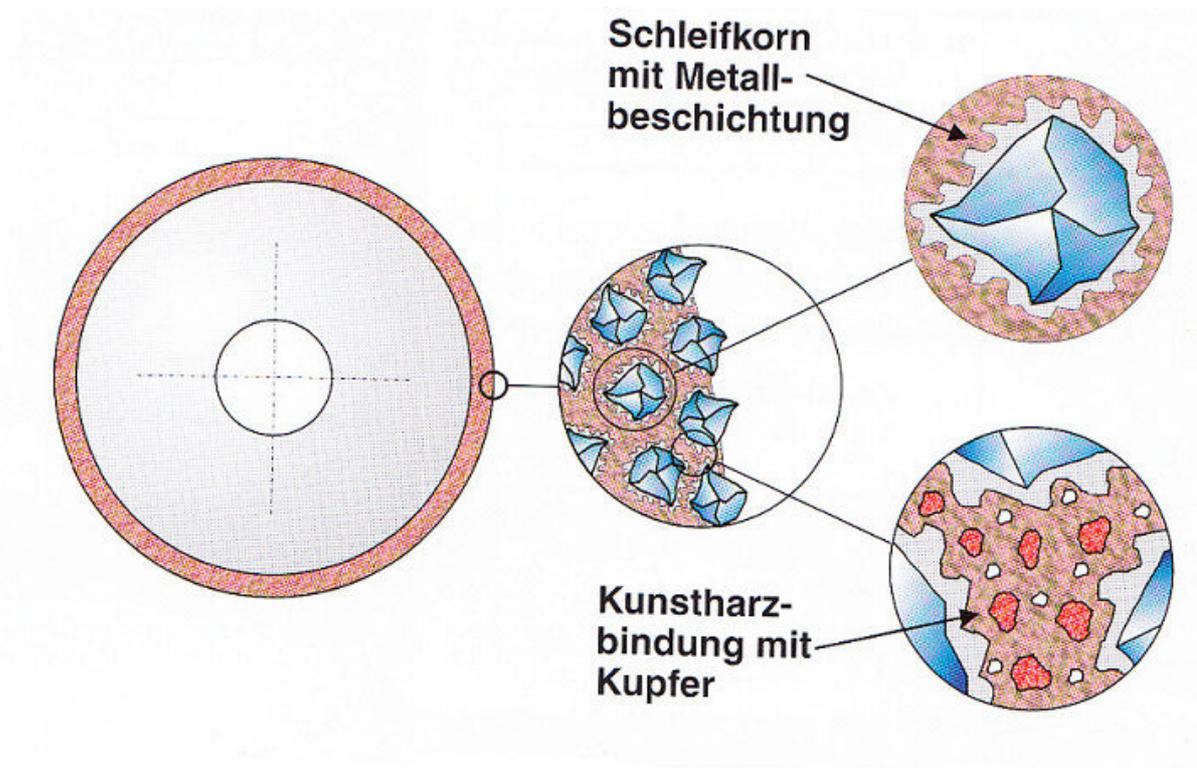
**Abb. 2.2** Vergleich: links mit Coating, rechts ohne Coating [4]

#### 2.1.1 Der Schleifbelag

Eine grobe Unterscheidung besteht bei den Bindungsmethoden der Körner zwischen kunstharzgebundenen und keramischen Schleifscheiben. Keramische Schleifscheiben werden aus einem Guss gefertigt. Die meistverwendete Bindungsart ist die Kunstharzbindung, die Zukunft liegt in der Metall und Hybridbindung. Auch galvanisch belegte Scheiben finden immer öfter Verwendung. Das Ausgangsmaterial für die Bindung neben etwaigen Zusätzen ist pulverförmig. Es wird mit der Schleifmittelkörnung vermischt und unter Druck und Temperatur verpresst. Zugleich wird es mit dem Grundkörper verbunden. Die sogenannten Kunstharze sind Duroplaste und ermöglichen bei einmaliger Erwärmung danach keine weitere Verformung.

## Die Schleifscheibe

Die Haltekräfte der Bindung beeinflussen das Schleifverhalten der Schleifscheiben, d.h. die Körner müssen von der Bindung so lange gehalten werden, bis zu deren Verlust der Schleiffähigkeit. vgl. [2] Der detaillierte Aufbau der Bindung, ist meist firmentechnisch geheim.



**Abb. 2.3** Aufbau des Schleifbelags mit Kunstharzbindung samt Grundkörper [4]

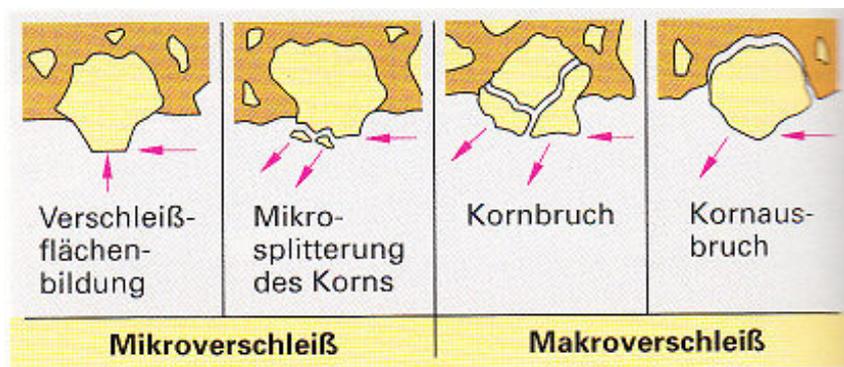
### 2.1.2 Der Grundkörper

Der Grundkörper bestimmt die statische und dynamische Festigkeit der Schleifscheibe. Er besteht je nach Art des Schleifbelags und des gewünschten Schleifverhaltens aus Aluminium, Kunstharz mit Füllstoffen, Stahl oder Keramik. Der Grundkörperwerkstoff nimmt wesentlichen Einfluss auf das Schwingungs- und Wärmeableitungsverhalten einer Schleifscheibe. [2]

## Die Schleifscheibe

### 2.1.3 Der Verschleiß am Schleifkorn

Generell unterscheidet man Mikro- und Makroverschleiß. Bei hoher Schnittkraft überwiegt das Brechen des Kornes bzw. das Ausbrechen der Körner aus der Bindung. Bei kleiner Schnittkraft wird erst mit zunehmendem Reibungsverschleiß an der Schneidkante die Kornbelastung so hoch, dass vom Korn kleine Partikel absplintern. Durch das Splintern und Ausbrechen der Körner bilden sich neue Schneiden. Der Schleifkörper schärft sich dadurch selbst! [5] Folgende Abbildung 2.4 illustriert den Mikro- und Makroverschleiß.

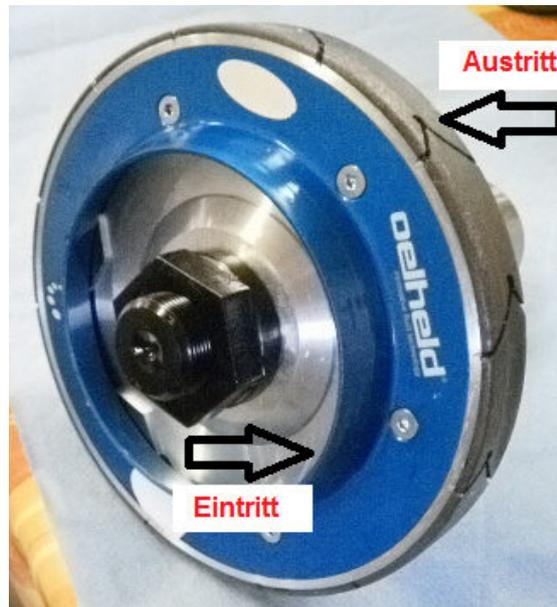


**Abb. 2.4** Verschleißformen [5]

## 2.2 Schleifscheiben mit Innenzuführung des Kühlschmiermittels

Das folgende Bild zeigt eine innengekühlte Schleifscheibe der Modellreihe „Coolgrind“ von Oelheld, mit von innen heraus führenden Kanälen, die zur optimierten Schleifölzuführung in den Bearbeitungsbereich dienen. Die Resultate sind bessere Oberflächen, geringerer Verschleiß, geringere Temperaturbelastung sowie geringere Kraftaufnahmen der Maschine. Diese Scheibe wurde ebenfalls mit verschiedensten Ölen getestet, die Auswertungen dazu sind nachfolgend ersichtlich. Natürlich bedarf es der richtigen Anstellung der Kühlmittelschläuche. (siehe Abb.2.6)

## Die Schleifscheibe



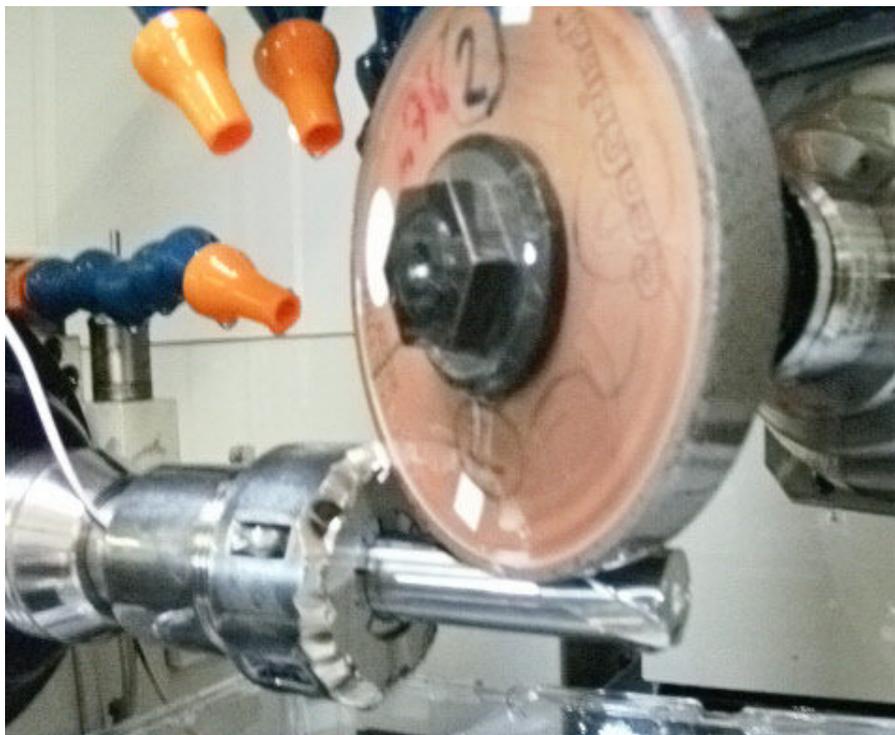
**Abb. 2.5** Coolgrind Schleifscheibe mit Innenzuführung



**Abb. 2.6** Richtige Zustellung der Kühl-/Schmiermittelschläuche

### **2.3 Scheiben mit Direktzuführung des Kühlschmiermittels**

Vergleicht man die Stellung der Kühlschmierstoffschläuche zu innengekühlten Schleifscheiben, so ist die Direktzuführung um einiges fehleranfälliger. Das richtige Einbringen des Kühlschmierstoffs ist von wesentlicher Bedeutung gegenüber der Qualität des Schleifbildes und des Verhaltens im Betrieb. Als Beispiel ist bei Bild 2.7 ersichtlich, wie die Schleifscheibe aufgrund einer zu hohen Belastungen und der Abschaltfunktion der CNC- Maschine stehen geblieben ist. Dies kann auftreten wenn die Kombination Schmiermittel und Scheibe nicht passend gewählt wurde, oder die Schleifscheibe bereits zu sehr mit abgetragenem Material zugesetzt ist. Ein weiterer Faktor ist natürlich auch wie bereits erwähnt die Zufuhr des Schleiföls, welches hier nicht von innen nach außen direkt in den Bearbeitungsbereich geleitet wird, sondern über zugestellten Kühlschmiermittelschläuche von Außen. Deshalb resultierten höhere Kraftaufnahmen der Maschine über die Spindel und geringere Schmier- und Kühleffekte.

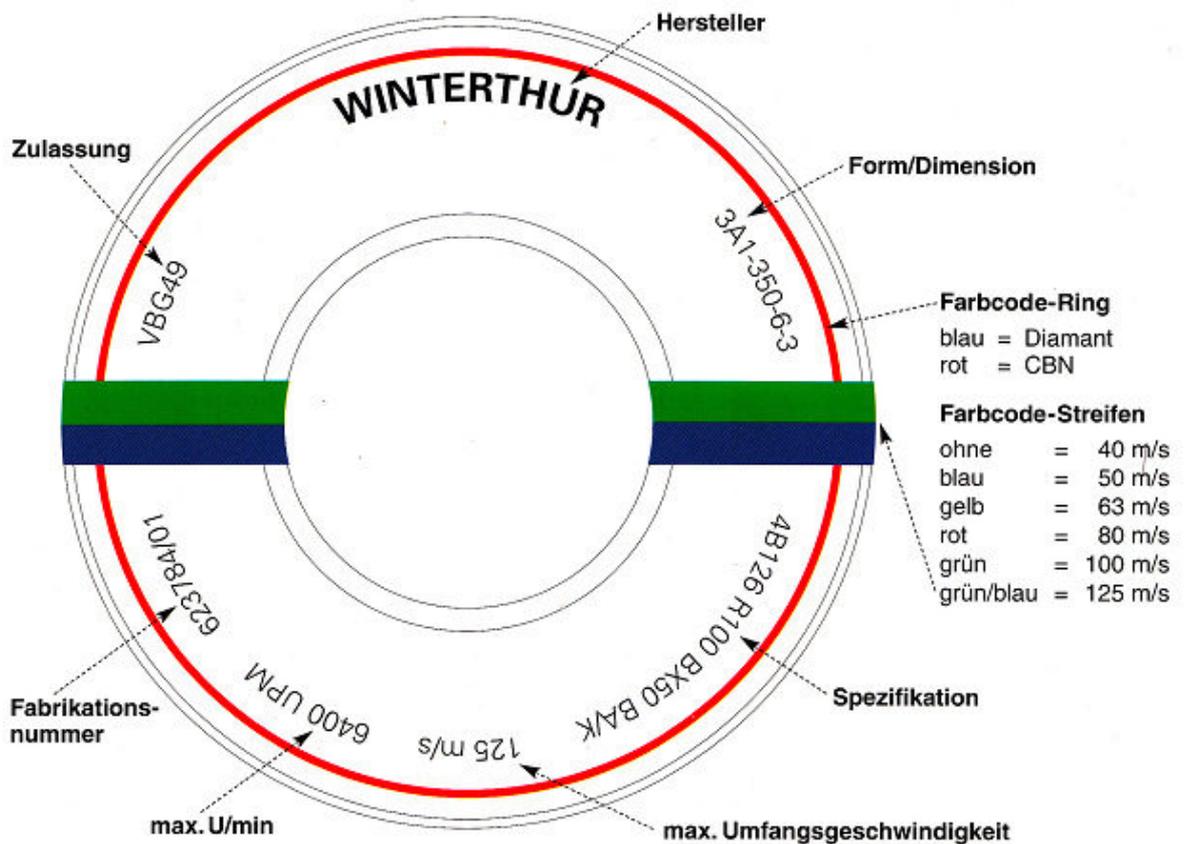


**Abb. 2.7** Diamantschleifscheibe im Eingriff an einem Hartmetallprüfling

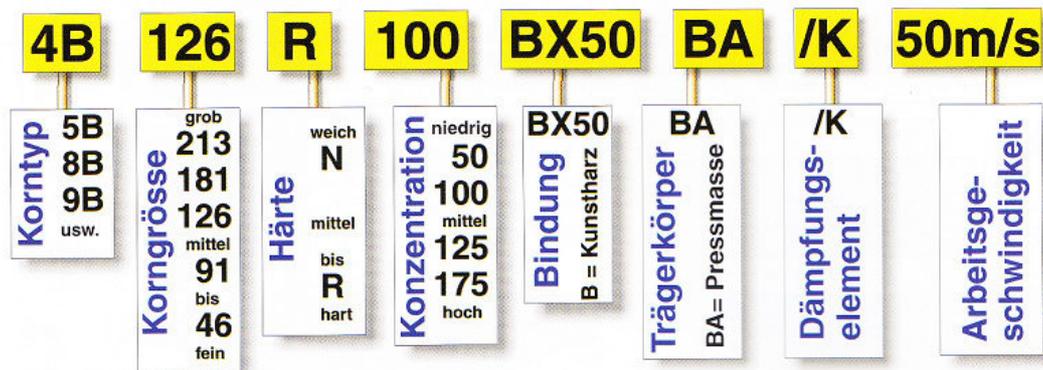
## 2.4 Aufschrift an einer Schleifscheibe

In diesem Teil der Arbeit wird anhand eines Beispiels nach Rappold-Winterthur eine kunstharzgebundene Diamantschleifscheibe erläutert, wie deren Bezeichnung aufgebaut ist und was die Abkürzungen generell bedeuten. Am Grundkörper der Scheibenvorderseite ist der Hersteller, die Form/Dimension, eventuelle Farbcodes über Diamant/CBN bzw. Arbeitsgeschwindigkeiten, die Spezifikation, die max. Umfangsgeschwindigkeit, die max. U/min, die Fabrikationsnummer und die Zulassung verschlüsselt angegeben. (siehe Abb. 2.8). Die Schleifscheiben werden nach firmeninternen Schlüsseln beschriftet. vgl. [4]

### KENNZEICHNUNG



**Abb. 2.8** Kennzeichnung einer Diamant Schleifscheibe nach Rappold-Winterthur [4]



**Abb. 2.9** Erklärung der Scheibenspezifikationen einer Diamantschleifscheibe nach Rappold-Winterthur [4]

## 2.5 Einflussfaktoren auf das Schleifergebnis

Die vom Werkstück, der Maschine mit ihren Einstellbedingungen und der Schleifscheibe ausgehenden Einflüsse auf das technische Schleifergebnis sind hauptsächlich

- die Zerspanbarkeit des Werkstoffes
- die Zerspanungsgrößen wie Schnittgeschwindigkeit, Vorschub und Zustelltiefe
- das Zeitspanvolumen
- der geeignete Kühlschmierstoff mit dessen Zuführung
- die Schleifkontaktfläche
- die Körnunggröße
- die Bindungsart und -härte
- der Schärfezustand der Schleifscheibe

vgl. [2]

## Die Schleifscheibe

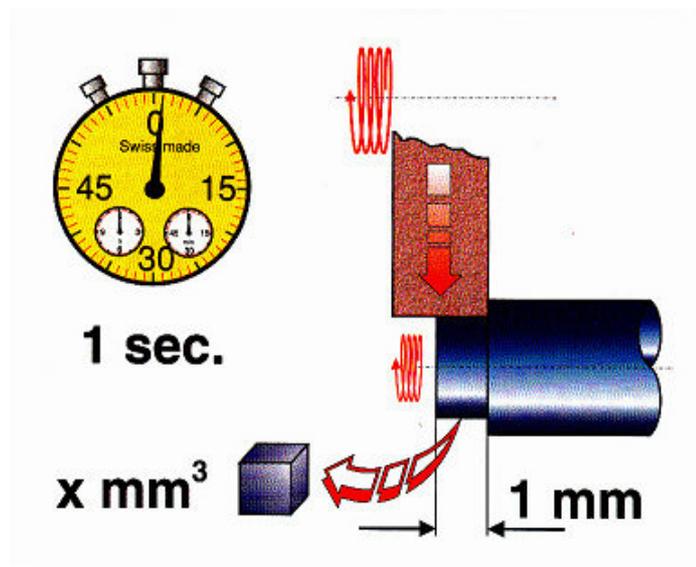
Zum besseren Verständnis sollen, das spezifische Zeitspanvolumen und das „Schärfen“ einer Schleifscheibe näher betrachtet werden. Alle anderen Einflussfaktoren fließen in meinen weiteren Ausführungen ein.

### 2.5.1 Das spezifische Zeitspanvolumen $Q_w$

Das spezifische Zeitspanvolumen  $Q_w$  gibt an, wieviel Material in  $\text{mm}^3$  eine Schleifscheibe pro mm Scheibenbreite pro Sekunde abträgt. Dies erlaubt einen direkten Vergleich mit verschiedenen Schleifprozessen, um die Abtragsleistung zu beurteilen. [4] Abbildung 2.10 stellt das Zeitspanvolumen als Funktion der Scheibenbreite, der Abtragszeit und dem Abtragsvolumen dar. Den mathematischen Zusammenhang um das Zeitspanvolumen zu berechnen stellt Formel 2.1 dar.

#### Richtwerte von $Q_w$

0,3 bis 0,8 $\text{mm}^3/\text{mm}/\text{s}$	Feinschlichten
0,8 bis 1,5 $\text{mm}^3/\text{mm}/\text{s}$	Schlichten
2,0 bis 3,0 $\text{mm}^3/\text{mm}/\text{s}$	Zielwert
>5,0 $\text{mm}^3/\text{mm}/\text{s}$	Leistungsschleifen mit Öl



**Abb. 2.10** Schematische Darstellung des Zeitspanvolumens [4]

**Formel zur Berechnung von  $Q_w$**

$$Q_w = \frac{v_f \times d_w \times \pi}{60} \quad (2.1)$$

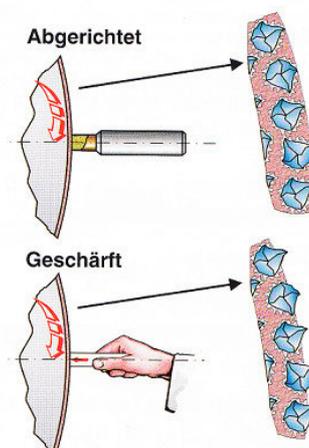
$v_f$  Zustellgeschwindigkeit in mm/min

$d_w$  Durchmesser des Werkstücks in mm vgl. [4]

**2.5.2 Schärpen von kunstharzgebundenen Diamantschleifscheiben**

Es besteht ein Unterschied zwischen **Abrichten** und **Schärpen** von Schleifscheiben. Mit Abrichten ist die Formgebung zu verstehen, hiermit wird der genaue Rundlauf und die geometrische Randform erzielt. Unter Schärpen versteht man das „Öffnen“ von Schleifscheiben, wobei die Bindung zurückgesetzt wird, damit Kornüberstand entsteht. (siehe Abb. 2.11)

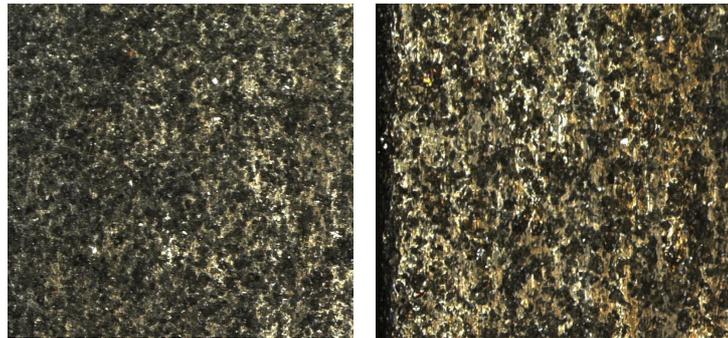
Normale keramische Schleifscheiben werden beim Abrichten gleichzeitig auch geschärft!! Dies ist bei kunstharzgebundenen Scheiben nicht der Fall. Nach der Formgebung muss mit einem weichen Korundstein die Bindung zurückgesetzt werden. Handgeführtes Schärpen sollte für Scheibendurchmesser <150mm vorbehalten bleiben. Bei größeren Scheiben sollte auf alle Fälle darauf geachtet werden das der Schärfstein fest in einer Vorrichtung gespannt ist. vgl. [4]



**Abb. 2.11** Unterschied von Abrichten und Schärpen [4]

## Die Schleifscheibe

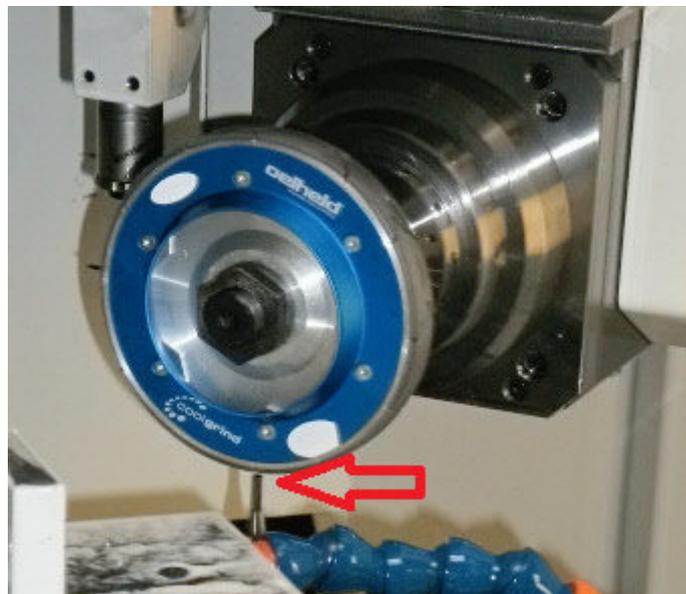
Im folgenden Bildervergleich (Abb. 2.12) sieht man sehr schön den Grund, warum eine Schleifscheibe öfter abgerichtet und vermessen gehört. Schleiföl und Schleifscheibe haben hier nicht harmoniert. „Die Scheibe ist mit Hartmetall zugesetzt“.



**Abb. 2.12** REM-Bildvergleich einer Scheibe links mit KSS Sintogrind (positiv; wenig zugesetzt), rechts wurde ein anderes Öl verwendet (negativ; stark zugesetzt) [Bildaufnahmen Schrottner/Oelheld]

## 2.6 Schleifscheibenmontage

Wurde die Schleifscheibe einmal abgerichtet, so ist es notwendig, der Steuerung der CNC- Schleifmaschine bekannt zu geben, wo sich die Schleifscheibe, räumlich gesehen, befindet. Die Scheibe wird danach mittels Messtaster vermessen (siehe Abb. 2.13). Ursache für Abweichungen ist meist der Verschleiß des Schleifscheibenbelages. Neben dem eigentlichen Einrichten ist es auch ab und zu notwendig die Schleifscheibe in Ihrem Rundlauf und deren Unwucht zu überprüfen.

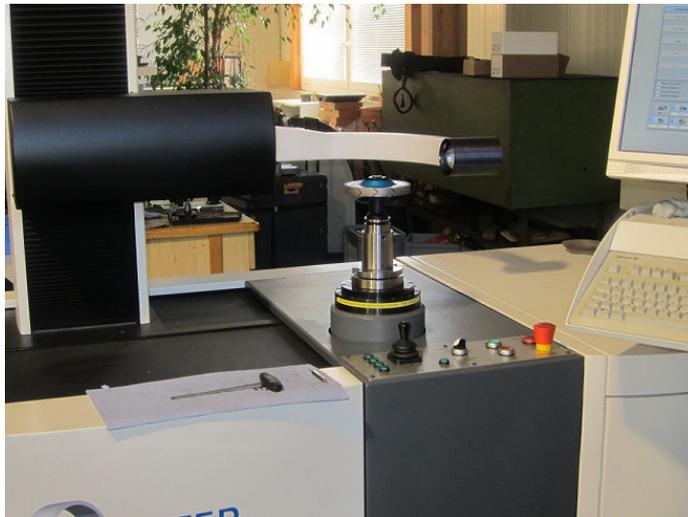


**Abb. 2.13** Vermessen der Coolgrind Schleifscheibe

Man unterscheidet zwischen internen und externen Abricht- und Vermessungsprozessen. Montiert man die Schleifscheibe ab, ist der Abrichtprozess extern möglich, jedoch gehört die Scheibe wenn sie wieder eingespannt wird neu vermessen. Bei modernen CNC- Schleifmaschinen können beide Prozesse sowohl intern als auch extern erfolgen.

## Die Schleifscheibe

Die Schleifscheibenvermessungen wurden extern von Messmaschinen der Firmen Walter (Abb. 2.14) und Zoller, mittels speziellen Werkzeugvermessungsprogrammen vorgenommen. Beide arbeiten über eine Protokollausgabe der gesammelten Vermessungsdaten. Die Vermessungswerte werden optisch eingelesen. Es wurde mit beiden Messmaschinen das Werkzeug vermessen, um einen exakten Wertebereich der Schleifscheibe zu erhalten. Diese Daten wurden der Schnittstelle der CNC-Maschine übermittelt oder direkt ausgegeben und zur Bearbeitung vom System automatisch angepasst bzw. berücksichtigt.



**Abb. 2.14** Messmaschine der Firma Walter

### 2.7 Ein Überblick der untersuchten Schleifscheiben

Alle getesteten Schleifscheiben sind Diamantschleifscheiben mit Kunstharzbindung bzw. Metallbindung. Sie unterscheiden sich in ihrem Aufbau bezüglich des Belags, der Korngröße, der Bindungsstruktur und ihrer möglichen Kühl- und Schmiereigenschaften. Das heißt wie bereits erwähnt, der Zufuhr des Kühlschmierstoffs auf direktem Wege oder von Innen heraus (Coolgrind). Insgesamt werden in der Arbeit 5 Diamantschleifscheiben von unterschiedlichen Herstellern getestet.

### 2.7.1 Coolgrind Schleifscheibe nach Rappold- Winterthur (CW RWT)

Diese Schleifscheibe nach dem Coolgrind Prinzip wurde von der Schleiftechnik-Firma Rappold- Winterthur GmbH. in Villach produziert. Der Schleifbelag ist segmentiert und wird über ein innenliegendes Kühlsystem, allein über Fliehkräfte, versorgt. Natürlich bedarf es einer richtigen Anstellung der Kühlmittelschläuche (siehe Abb. 2.6). Die Segmentation erreicht man über Wasserstrahlschnitte im Belag. Die Form gleicht einer „Badewanne“ um einen ständigen Zufluss des Kühlschmiermittels in den Bearbeitungsbereich zu gewährleisten. Die Form hat auch geräuschtechnisch einen Vorteil, es kommt zu keinen abrupten Stößen beim Übergang zu einem anderen Segment des Schleifbelags. Mit dem dazu geeigneten Medium erreicht man sehr lange Standzeiten, beste Oberflächen und geringere benötigte Energie der CNC- Maschine.



**Abb. 2.15** Coolgrind Schleifscheibe nach Rappold- Winterthur

## Die Schleifscheibe

### 2.7.2 Coolgrind Schleifscheibe nach Oelheld (CW OH)

Der bekannte Kühlschmierstoff- Hersteller Oelheld GmbH. aus Stuttgart, vertreibt diese Schleifscheibe ebenfalls mit der Coolgrind Technologie. Sie unterscheidet sich nur gering zu der Scheibe von RWT. Die sogenannten Badewannenaustritte sind lediglich etwas spitzer gewählt.



**Abb. 2.16** Coolgrind Schleifscheibe nach Oelheld

### 2.7.3 Tesch Diamantschleifscheibe

Die folgende Schleifscheibe stammt von der Schleiftechnik- Firma Tesch GmbH. mit Sitz in Ludwigsburg. Es handelt sich hierbei um eine derzeit als standardisiert am Markt eingesetzte Schleifscheibenvariante. Die Zuführung des Kühlschmierstoffs erfolgt von den zugestellten Schlauchdüsen, wie bei allen Scheiben ohne Innenzuführung, direkt in den Spanungsraum. (siehe Abb. 2.7)

## Die Schleifscheibe



**Abb. 2.17** Tesch Diamantschleifscheibe

### 2.7.4 Riegger Diamantschleifscheibe

Die in der Untersuchung eingebundene Scheibe der Firma Riegger GmbH. aus Dornstetten weist eine Besonderheit auf. Wie auf Abb. 2.18 ersichtlich, verfügt sie im Schleifbelag, genauer gesagt in ihrer Bindung, über offenborige Stellen. Diese Offenborigkeit dient bzw. begünstigt den Spantransport. Dadurch wird dem Zusetzen der Scheibe entgegengewirkt. Der Verschleiß an solchen Scheiben ist aus derzeitigen Erkenntnissen relativ hoch, dementsprechend ist anzunehmen, dass das geeignete Kühlschmiermittel für diese Scheibe noch nicht gefunden wurde.



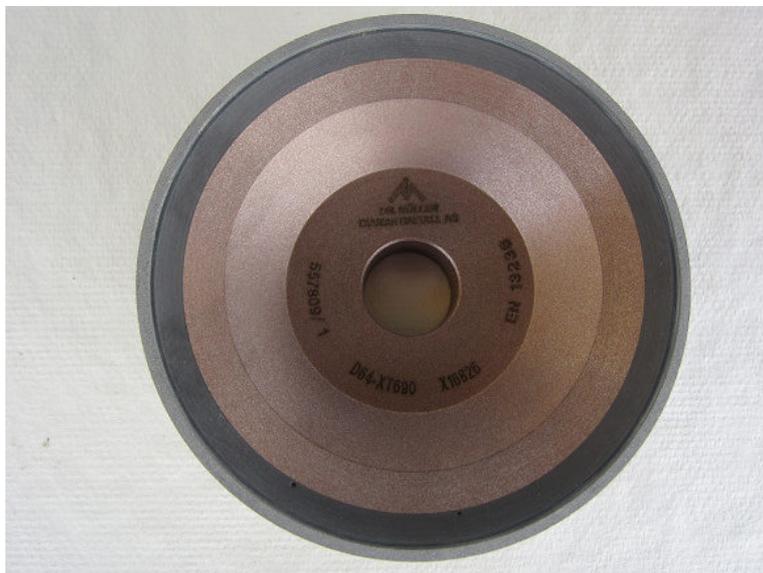
**Abb. 2.18** Offenborige Riegger Diamantschleifscheibe

## *Die Schleifscheibe*

Offenborige Schleifscheiben erreichen mitunter auch einen guten Schmier und Kühleffekt, rufen aber einen erhöhten Vernebelungsanteil hervor. Die Vernebelung resultiert aufgrund der hohen Mitnahme und dem Auswurf des Mediums beim Eingriff. Dies wäre bei der Verwendung einer schlechten Absaugung (Dunstnebelabscheider) zum Nachteil des Mitarbeiters und der Belegschaft. Ein wirtschaftlicher Nachteil durch die Vernebelung des vorhandenen Öles würde für den Anwender zusätzlich entstehen.

### **2.7.5 Dr.Müller Diamantschleifscheibe (MST)**

Hier handelt es sich, wie in Abb. 2.19 ersichtlich, um eine Schleifscheibe der Firma Dr.Müller GmbH. aus Weilheim. Sie entspricht ebenfalls den standardisierten Kriterien einer Diamantschleifscheibe. Die Zuführung des Kühlschmiermittels erfolgt wie bei der Tesch und Riegger- Schleifscheibe direkt im Bearbeitungsbereich über zugestellte Schlauchdüsen.



**Abb. 2.19** Dr.Müller Diamantschleifscheibe

- 
- [1] G. Lang und E. Saljé, "**Moderne Schleiftechnologie und Schleifmaschinen**". Essen: Vulkan-Verlag, 1989. **Seite 3**
- [2] R. Holz und J. Sauren, "**Schleiftechnisches Handbuch**": Schleifen mit Diamant und CBN. Essen: Vulkan-Verl., 1988. **Seite 7-9, 29**
- [3] Rappold-Winterthur, "**Diamant u. CBN Grundlagen**". 2001. **Seite 9**
- [4] R.-W. Graf Walter, "**CBN und Diamant in Kunstharzbindung**". 2000. **Seite 7, 10, 27, 54**
- [5] H.-D. Dobler, W. Doll, und U. Fischer, "**Fachkunde Metall [Hauptw.]**". Haan-Gruiten: Verl. Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer, 2010. **Seite 162, 165**

### 3 Das Kühlschmiermittel

Der Überbegriff Kühlschmiermittel, auch Schleiföl oder Medium bezeichnet, setzt sich zusammen wie die Wörter schon ausdrücken, aus einer Kühleigenschaft und einer Schmiereigenschaft. Bei der Bearbeitung von Stahl bezeichnet man das Medium als Emulsion. Die Kriterien der Kühlung als auch der Schmierung sind ein Garant dafür um bestmögliche Schleifbilder zu erhalten. Wie schon erwähnt liegt auch der Schwerpunkt dieser Arbeit darauf, festzustellen, welche Kombinationen der betrachteten Schleifscheiben mit welchem Medium die besten sind.

Kuschmiermittel haben neben ihrer Kühl- und Schmiereigenschaften auch die Aufgabe eine ressourcenschonende Zerspanungsleistung, geringen Schleifscheibenverschleiß, Verbesserung der Werkstückqualität, Schonung der Schleifmaschine, gesundheitliche Aspekte sowie konstante Qualitäten zu liefern. Einen wesentlichen Einfluss haben natürlich Additive, welche zur Basisflüssigkeit hinzugegeben werden können, um den Schleifprozess zu optimieren. Meist sind die genauen Zusammensetzungen von Kühlschmiermitteln Firmengeheimnisse, um eventuelle Wettbewerbsfähigkeiten nicht zu verlieren. Deshalb kann der Aufbau nur grob in meinen Ausführungen beschrieben werden.

Auch den Abtransport bzw. die Auswaschung der Späne aus dem Bearbeitungsraum bewerkstelligt das Kühlschmiermittel, daher benötigt man bei der Wiedereinspeisung in den Kühlmittelkreis einer CNC- Maschine eine Filteranlage. Diese entfernt Verschmutzungen und Späne aus dem Medium und bereitet es zur Wiederaufführung auf. Aber nicht nur nach der Bearbeitung gehört das Medium gefiltert, auch schon vor dem ersten Einsatz sollte ein Kühlschmierstoff bereits gefiltert werden, um Ablagerungen aus den gelieferten Fässern und dadurch vom Öl aufgenommen, herauszubekommen.

Frischöle dürfen laut DIN 51524 einen Gehalt an unlöslichen Fremdstoffen von 0,05 Gewichts% aufweisen. vgl. [6]

All diese Punkte sind entscheidend um den Schleifprozess stets zu optimieren. In Abb. 3.1 ist die am Prüfstand verwendete Filteranlage Vomat FA 120 ersichtlich. Die gelieferten Kühlschmierstofffässer stehen im Vordergrund.



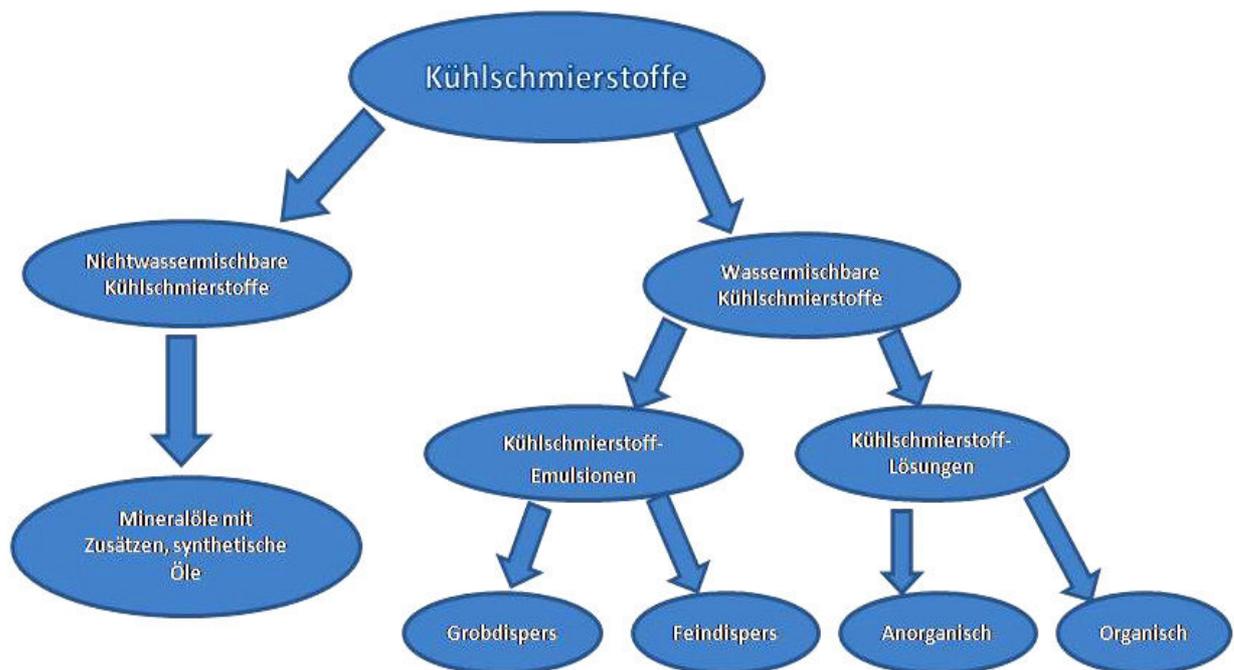
**Abb. 3.1** Gelieferte Kühlschmierstofffässer, im Hintergrund die Filteranlage

### 3.1 Unterschied zwischen Wasser- und Ölkühlung

Wasser besitzt gegenüber Öl eine doppelt so hohe Wärmekapazität und eine 5-fach bessere Wärmeleitfähigkeit. Da Wasser bei 100 Grad Celsius bereits verdampft, kann es für Hochgeschwindigkeitsschleifprozesse nicht verwendet werden. Weiters besitzt Wasser keinen Schmiereffekt. Sehr dünnflüssige Öle haben dagegen einen Siedebeginn von über 240 Grad Celsius. [7]

### 3.2 Einteilung der Kühlschmierstoffe nach VDI- Richtlinie 3396

Die VDI- Richtlinie unterteilt in nichtwassermischbare und wassermischbare Kühlschmierstoffe (siehe Abb. 3.2). Die wassermischbaren Kühlschmierstoffe werden noch einmal in Kühlschmierstoff- Emulsionen und Kühlschmierstoff- Lösungen unterschieden. Speziell für die Anwendung von Diamantschleifscheiben eignen sich synthetische Kühlschmierstoffe am besten.



**Abb. 3.2** Einteilung der Kühlschmierstoffe nach VDI- 3396 vgl. [7]

### 3.3 Aufgabe und Zweck von Kühlschmiermitteln

Zu den Aufgaben des Kühlschmierstoffes gehören: Schmieren, Kühlen, Spülen, Reinigen und Schutz vor Korrosion. Das Ziel ist die Optimierung der Bearbeitungsgeschwindigkeit und die Verbesserung der Oberflächengüte bei gleichzeitiger Schonung der Werkzeuge zu erreichen. Ein wesentlicher Grund für den Einsatz von geeigneten Kühlschmierstoffen, mit der am besten geeigneten Schleifscheibe, sind die Betriebskosten zu senken und zu optimieren.

#### 3.3.1 Wahl des Kühlschmiermittels

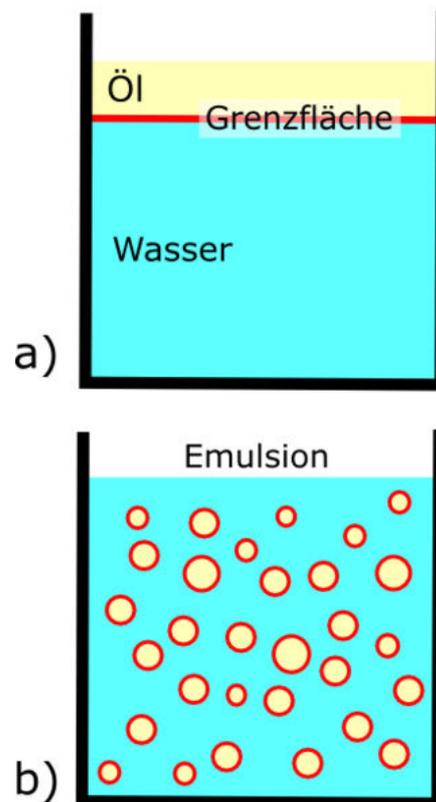
Die nachfolgende Abb. 3.3 illustriert wie man grob bei der Auswahl von Schleifölen vorgehen sollte bzw. in welchem Bereich der zu bearbeiteten Werkstoffe, diese einzusetzen sind.

	Emulsion	Mikro-Emulsion*	Synthetisch	Schleiföl
Stahl				
Kobaltlegierung				
Hartmetall				
Glas				
Keramik				

\* Mikroemulsion = Öltropfengrösse < 2 µm (Konzentration 2–5%)

**Abb. 3.3** Welches Kühlschmiermittel für welches Material (färbig) [4]

Spricht man von einer Emulsion versteht man ein fein verteiltes Gemisch zweier normalerweise nicht mischbarer Flüssigkeiten ohne sichtbare Entmischung. [8]



**Abb. 3.4** Was ist eine Emulsion [9]

In einer Emulsion liegt ein fein verteiltes Gemisch zweier Flüssigkeiten, wie Öl und Wasser vor. Emulsionen sind in der Regel trübe, milchige Flüssigkeiten. [8]

## *Das Kühlschmiermittel*

Hochgeschmierte Emulsionen mit 40-50% Mineralölanteil im Konzentrat eignen sich hervorragend für die Bearbeitung von Stahl und der Verwendung von CBN. Mikroemulsionen eignen sich zur reinen Stahl- und Keramikbearbeitung. vgl. [4]

Wie bereits erwähnt werden synthetische Öle bei der Verwendung von Diamantschleifscheiben eingesetzt. Für kunstharzgebundene CBN- Scheiben sind synthetische Öle ebenfalls geeignet, sie steigern auch hier die Standzeit des Schleifbelages aufgrund einer verbesserten Laufruhe und reduzierten Temperaturbelastungen.

### **3.4 Vorteile beim Schleifen mit Öl**

Während beim konventionellen Schleifen vielfach Kühlschmierstoff- Lösungen und Kühlschmierstoff- Emulsionen, vor allem zur Kühlung des Prozesses, verwendet werden, kommen mit steigenden Schleifgeschwindigkeiten und Zerspanungsleistungen überwiegend Kühlschmierstoffe mit ausgeprägten reibungsmindernden Eigenschaften, also nichtwassermischbaren Kühlschmierstoffen zum Einsatz. [7]

Dadurch ergeben sich erhebliche Vorteile:

- a) höhere Leistung
- b) geringer Schleifscheibenverschleiß
- c) Verbesserung der Werkstückqualität
- d) gesundheitliche Gesichtspunkte

ad a)

Wenn man wassermischbare mit nichtwassermischbaren Ölen vergleicht erreicht man bei nichtwassermischbaren Ölen ein erheblich größeres Zeitspanvolumen. Weiters verkürzen sich die Arbeitsprozesse. Der Leistungsbedarf der Maschine sinkt um bis zu 60% bei der Bearbeitung von HSS bzw. Stahl.

## Das Kühlschmiermittel

ad b)

Mit Öl leben die teuren Schleifscheiben bis zu fünfmal länger. Die Abrichtzyklen verlängern sich beachtlich. Dadurch erreicht man eine höhere Produktionssicherheit, eine bessere Wiederholgenauigkeit und durch die längeren Abrichtzyklen wird teures Scheibenmaterial gespart.

ad c)

Die Oberflächenqualität der Werkstücke wird vom richtig gewählten Öl beeinflusst. Der arithmetische Mittenrauhwert  $R_a$  beträgt gegenüber wassermischbaren Ölen nur ein Drittel. Die Maximaltemperatur im Schleifspalt kann sich um bis zu 25% reduzieren. Die geringe Abschreckwirkung bei der Verwendung von Kühlschmierstoffen führt zu weniger Gefügebeeinflussungen, es können keine Haarrisse entstehen. Die Beschichtung von Hartmetallen hält länger und platzt nicht ab.

ad d)

Öle enthalten keine Biozide. Sie werden von Bakterien, Pilzen und Hefen nicht angegriffen. Die gute Aufnahmefähigkeit der abgetragenen Späne und des Hartmetallstaubs bedingt eine wesentlich ungefährlichere Arbeitsatmosphäre.

vgl. [7]

### 3.5 Voraussetzungen für das Schleifen mit Öl

Folgende Faktoren spielen beim CNC- Schleifen mit Hartmetall eine wichtige Rolle.

#### 3.5.1 Die Maschinenkapselung

Um eine Kapselung einer Schleifmaschine zu erlangen ist der Aufbau einer CNC-Maschine so konstruiert, dass kein Kühlschmierstoff aus der Maschine unkontrolliert gelangen kann. Die folgende Abb. 3.5 verdeutlicht, dass eine geeignete Abkapselung der Kühlstoffeinführung von wesentlicher Bedeutung ist, um eine Beeinträchtigung der übrigen Maschinenteile zu vermeiden.



**Abb. 3.5** Kühlschmierstoffeinbringung bei der Bearbeitung

### **3.5.2 Die Absaugung**

Zusätzlich sollte die Maschine mit einer Absaugeinrichtung versehen werden, um Öldämpfe, Ölnebel und den Ölrauch abzuleiten, damit der gesundheitliche Zustand des Bedieners nicht beeinträchtigt wird. Auch die eventuelle Explosionsgefahr durch die leichte Brandneigung von Ölen, wird durch die Absaugung gehemmt. In der Praxis haben sich Luftfiltersysteme mit Prallblechen und Filtermatten sowie elektrostatische Filtersysteme mit zusätzlicher Aktivkohlefilterung bestens bewährt. [7]

### **3.5.3 Die Ölbeständigkeit**

Alle Schlauchleitungen, Kabel und Dichtungen sowie Endschalter aus Kunststoffen, Elastomeren oder Gummi müssen ölbeständig sein. [7]

### **3.5.4 Die Kühlmittelkontrolle**

Ein Strömungswächter muss bei Kühlmittelausfall die Maschine sofort abschalten. Ein zusätzlicher Niveaufwächter kann verhindern, dass ein Öl- Luftgemisch in die Schleifkontaktzone gepumpt wird. [7]

### 3.5.5 Die Kühlmittelzuführung

Die Zuführung des Kühlschmiermittels ist ein wesentliches Thema zur Erzielung bester Schleifergebnisse. Wie bereits erwähnt, unterscheidet man zwischen einer Innenzuführung („Coolgrind“ siehe Abb. 2.6) und einer Direktzuführung von Außen (siehe Abb. 2.7).

Eine angemessene Zufuhr von Kühlschmierstoff ist nicht nur eine Frage von genügender Menge und angemessenen Druck, auch der Kühlschmierstoff- Strahl muss annähernd die gleiche Geschwindigkeit wie die Schleifscheibe an ihrem Umfang aufweisen. Damit wird gewährleistet, dass die Schleifscheibe den Kühlschmierstoff auch in die Schleifzone transportieren kann. vgl. [4]

Hat man eine Schleifscheibe welche von Außen das Kühlschmiermittel zugeführt bekommt, so sollte man beachten das „Gleichlaufschmierung“ besteht, dies gilt wenn der Öl- Strahl ca. 30- 45 Grad an der Scheibe „klebt“. (Prinzip nach H.W.Ott) [4]

Im Gegensatz dazu ist es beim „Coolgrind“- Prinzip möglich das Öl direkt in die Schleifzone zu bekommen. Fehler der Zustellung können gemindert werden, da die Zuführung die Fliehkraft, aufgrund der Drehbewegung, zum wesentlichen Teil erledigt. Somit ist dieses Prinzip auch sehr bedienerfreundlich.

Wie auf Abb. 3.6 gezeigt, ist der korrekte Anstellwinkel zur perfekten Zuführung von ca. 20 Grad einzuhalten. Auch die Düsenauslegung ist bei der Zuführung von großer Bedeutung, sie sollte eine gerade Zone von mind. 50 mm Länge aufweisen. Die Austrittsmündung ist scharf und frei von Scharten zu wählen. [4]

Diese Richtwerte der Düsenauslegung sind strömungstechnisch nach den jeweiligen Werkzeugmaschinenanforderungen abgestimmt, entsprechen aber keiner Norm.

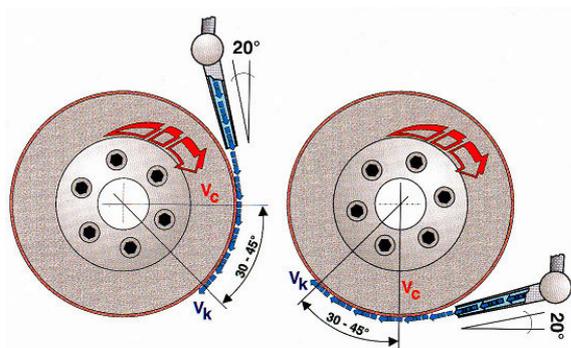
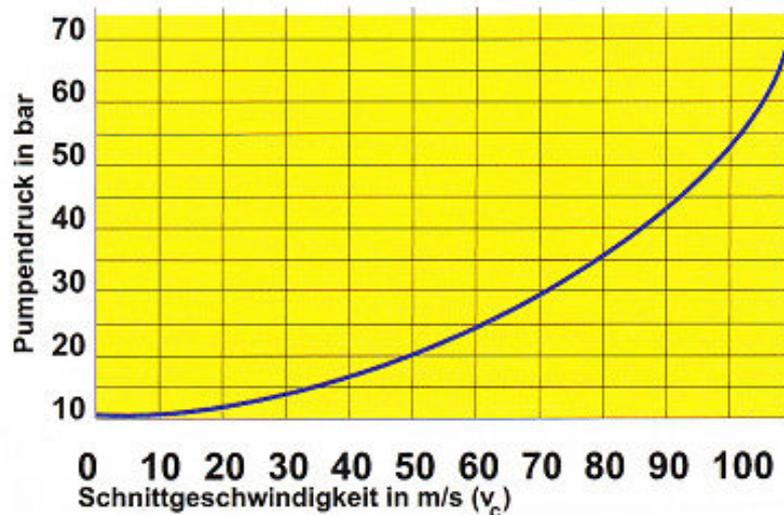


Abb. 3.6 Gleichlaufschmierung [4]

### 3.5.6 Kühlschmierstoffmenge und Pumpendruck

Die für den Schleifprozess notwendige Kühlschmierstoffmenge kann nicht exakt berechnet werden, da außer dem Mengenanteil, der direkt im Schleifspalt untergebracht werden kann, auch noch ein großer Teil an Kühlschmiermittel benötigt wird, um die Schleifscheibe und das Werkstück so zu umspülen, dass möglichst viel Wärme abgeführt wird. [2]

Der notwendige Pumpendruck im Verhältnis zur Schnittgeschwindigkeit, mit dem Prinzip der Gleichlaufschmierung beruht darauf, dass die Austrittsgeschwindigkeit des Kühlschmierstrahls der Scheibenumfangsgeschwindigkeit entspricht, wobei Druck und Düsenquerschnitt abgestimmt sein müssen. Der Druck ist immer abhängig von der Düsenform. Verengt man die Düse am Austritt, so ist die Strömungsgeschwindigkeit als auch der dynamische Druck an der engsten Stelle immer maximal. Nachfolgendes Diagramm laut Abb. 3.7 dient als Richtlinie zur groben Abschätzung des notwendigen Pumpendrucks in bar. vgl. [4]



**Abb. 3.7** Einordnung des Pumpendrucks [4]

### 3.6 Der Aufbau von Schleifölen

Schleiföle bestehen im Grunde aus einer Basisflüssigkeit, welcher je nach Anwendung und Anforderung unterschiedliche Zusatzwirkstoffe (Additive) zugegeben werden. Die Basisflüssigkeiten werden entweder durch Destillation und Raffination von Erdöl hergestellt. Synthetische Produkte gewährleisten den besten Reinheitsgrad, da ihre Molekülkettenkonfiguration, je nach Verwendungszweck, im Herstellungsprozess präzise definiert werden kann. Sie werden aus Gasen im Syntheseofen, unter Anwendung eines Katalysators und Einwirkung von Druck und Hitze hergestellt.

#### 3.6.1 Basisflüssigkeiten



**Abb. 3.8** Basisflüssigkeiten

#### ***Mineralölraffinate:***

Die direkt aus dem Erdöl gewonnenen Mineralölraffinate bilden zurzeit noch den Hauptanteil der verwendeten Kohlenstoff- Basisflüssigkeiten. Diese bestehen aus einem bunten Gemisch von ketten- und ringförmigen Kohlenwasserstoffen. Sie enthalten Doppelbindungen, die bei thermischer Belastung aufbrechen und den Kühlschmierstoff rasch altern lassen. [7]

**Hydrocracköle:**

Mineralölraffinate können mit Wasserstoff zu den sogenannten Hydrocrackölen veredelt werden. Die so hergestellten Produkte zeichnen sich im Vergleich zu Mineralölraffinaten durch einen höheren Viskositätsindex und eine bessere Schmierfähigkeit aus. Ein weiterer Vorteil der Hydrocracköle liegt in ihrer geringeren Verdampfungs- und Vernebelungsneigung aufgrund der homogeneren Molekülgrößenverteilung. Beim Einsatz dieser Produkte kann die Kohlenstoffemission am Arbeitsplatz reduziert werden. [7]

**Esteröle:**

Neben den Kohlenwasserstoffen werden auch Carbonsäureester als Basisflüssigkeiten für Kühlschmierstoffe verwendet. Diese können in synthetische Produkte und solche natürlichen Ursprungs (Pflanzenöle, tierische Fette) unterteilt werden. Esteröle zeichnen sich durch geringe Verdampfungsneigung und durch biologische Abbaufähigkeit aus, allerdings weisen sie eine begrenzte Altersbeständigkeit auf. Sie können zur Formulierung von Kühlschmierstoffen für die Umlaufkühlung verwendet werden. Ein generelles Problem von Schmierstoffen auf Esterbasis ist ihre geringere Verträglichkeit mit Elastomeren und Lacken. Besonders Dichtungen und Isoliermittel werden von diesen Basisflüssigkeiten angegriffen. vgl. [7]

**Polyalphaolefine (PAO):**

Sind synthetisch hergestellte Schmierstoffe mit exzellenten Eigenschaften. Als Basisöle werden sie bei höchsten Belastungen unter anderem im Rennsport eingesetzt. Als Kühlschmierstoff zeichnen sie sich durch eine minimale Verdunstung, einen hohen Flammpunkt bei niedriger Viskosität und einem großen Viskositätsindex aus. Sie besitzen eine ausgezeichnete Scher- und Alterungsstabilität. Die Verdunstungsneigung ist wesentlich geringer als bei Hydrocrackölen. Besonders geeignet sind diese Basisflüssigkeiten bei Hochleistungsschleifprozessen. vgl. [7]

### 3.6.2 Additive



**Abb. 3.9** einsetzbare Additive zur Basisflüssigkeit

Als Zusatzstoffe zu den Schmiermitteln werden heutzutage synthetische Verbindungen sowie deren Gemische eingesetzt. Diese werden mit dem Fachbegriff "Additive" bezeichnet. Man kann Additive unterscheiden, die physikalische Eigenschaften der Grundöle beeinflussen und solche, die chemische Wirkungen ausüben. Moderne Additive verbinden mehrere Funktionen (multi-purpose-additives), wodurch die Störeeigenschaften einzelner Zusätze gegenseitig eingegrenzt werden kann. vgl. [6]

Eine weitere Einteilung umfasst einerseits Additive, welche die herstellungstechnisch erzielbaren Eigenschaften der Grundöle verbessern und solche, die den Ölfractionen Eigenschaften verleihen, die sie von Natur aus nicht oder nur andeutungsweise besitzen. [6]

## Das Kühlschmiermittel

### **Allgemeiner Aufbau eines Additivs:**

In der Regel befindet sich auf einem Stiel (oleophiler Teil) ein Kopf (polarer Teil) (siehe Abb. 3.10) mit unterschiedlichen Wirkstoffen, je nach Additiv. Die Wirkstoffe sind meist Oberflächen- oder Grenzflächenaktiv. Verschiedene Additive stehen untereinander im Wettstreit (z.B. Korrosionsschutz und Verschleißschutz). Wohingegen der Kohlenwasserstoffrest mit dem Öl eine Verbindung eingeht.



**Abb. 3.10** Aufbau eines Additivs [17]

Auch Additive mit mehreren Kohlenwasserstoffresten sind möglich. Ebenso Additive ohne polaren Teil. [6]

### **Folgend ein Überblick der möglichen Additive:**

#### ***Oxidationsinhibitoren:***

Obwohl Schmiermittel eine natürliche Alterungsbeständigkeit aufweisen, können aufgrund von erhöhter Temperatur durch Sauerstoff Oxidationsreaktionen eintreten. Dies bewirkt die Alterung des Öls. Oxidationsinhibitoren erhöhen die Lebensdauer des Mediums in Form von Schwefel- u. Stickstoffverbindungen. vgl. [6]

#### ***Viskositäts-Index-Verbesserer:***

VI- Verbesserer, sind Additive, die das Viskositäts- Temperatur- Verhalten von Ölen verbessern. Die resultierenden Öle vereinigen bei tiefen Temperaturen das günstige Start- und Reibungsverhalten eines dünnflüssigen Öls und bei hohen Temperaturen gute Schmierwirkung eines hochviskosen Öls. [6]

#### ***Pourpoint:***

Dieses Additiv verhindert ein mögliches Stocken des Öls. Beim Abkühlen und Erreichen der Löslichkeitsgrenze bildet das paraffinbasierte Öl Nadeln und Platten

### *Das Kühlschmiermittel*

aus. Durch Zugabe von Pourpoint bildet das Öl kugelförmige Patafinkristalle aus und es kommt zu keinem verfilzten Netzwerk mehr. vgl. [6]

### ***Detergentien und Dispersants (HD Additive):***

Bezüglich der Menge sind HD- Additive die am bedeutendsten Additive am Markt. Sie haben die Aufgabe ö unlösliche Rückstände sowie harz- und asphaltartige Oxidationsprodukte, die ein Zusammenbacken zu Festpartikel begünstigen, in Suspension zu halten und dadurch Ablagerungen an Metalloberflächen, Ölverdickungen und Schlammausscheidungen sowie korrosiven Verschleiß zu verhindern. Dispersants sind aschefreie organische Verbindungen, die eine Ausflockung oder Koagulation (d.h. Zusammenbacken, Klumpen) kolloidaler Teilchen verhindern. Eine weitere Aufgabe der Detergentien ist, die während der Ölalterung entstehenden Säuren zu neutralisieren. vgl. [6]

### ***Hochdruckzusätze (EP Additive):***

Zur Übertragung größerer Kräfte muss Schmiermitteln ein hohes Lastaufnahmevermögen verliehen werden. Zu diesem Zweck setzt man Metallbearbeitungsölen so genannte Hochdruck- oder EP (Extreme Pressure) Additive zu.

Um ein Optimum an Hochdruckeigenschaften zu erzielen und Nachteile (wie Korrosion) zu beschränken, werden für die Herstellung von EP Additiven vorwiegend Kombinationen von verschiedenen Gruppen angewendet.

Man nennt diese Kombinationsmöglichkeiten auch „kombinierte Additive“. vgl. [6]

### ***Reibwertminderer:***

Reibwertminderer sind Additive zur Herabsetzung von Reibschwingungen oder Geräuschen, sowie zur Verminderung von Reibungskräften. Mögliche Stick- Slip Effekte (Ruckgleiten) können damit gemindert werden. Sie können damit auch zur Energieeinsparung verwendet werden. vgl. [6]

## *Das Kühlschmiermittel*

### ***Schaumverhütungsmittel:***

Um Schaumbildung zu vermeiden werden Schaumverhütungsmittel eingesetzt. Die Bildung von Schaum bedingt eine Luftanreicherung und diese unterbindet die Schmiereigenschaften von Ölen. Auch der ressourcenschonende Effekt wird unterbunden da es zu einer Verschwendung des Kühlschmierstoffs kommt. Die Oberflächenspannung reiner Mineralöle hängt vom Raffinationsgrad ab, wird jedoch bei formulierten Schmierölen („Zusammenbau Basisflüssigkeit mit Additiven“) entscheidend durch grenzflächenaktiven Wirkstoffen wie Detergentien, Hochdruckzusätze und Korrosionsinhibitoren beeinflusst. Durch solche Zusätze wird die Schaumneigung wesentlich erhöht und man unterscheidet zwischen oberflächlicher Schaumbildung und der Luftemulsion, bei welcher Luftbläschen nicht oder nur langsam aus dem Öl abscheiden.

Die Aufgabe von Schaumverhütungsmitteln ist das Austreten der Luftblasen aus der Ölphase zu erleichtern. Die wirksamsten Zusätze sind Silicone in Konzentrationen von 0.0001 bis max. 0.001 Prozent. Zur ausreichenden Wirksamkeit müssen Silicone im Mineralöl unlöslich, aber darin feinst dispergiert sein, um die nötige Lagerstabilität zu besitzen, sowie eine niedrigere Oberflächenspannung als das Öl zu haben. vgl. [6]

### ***Demulgatoren:***

Wenn es zum Vermischen von Wasser mit Schmierölen kommt, kann das Wasser störende Effekte in der Öl-Emulsion hervorrufen. Diese sind nur durch Änderung der Grenzflächenspannung zu brechen. Als Demulgatoren eignen sich grenzflächenwirksame Verbindungstypen in sehr geringer Konzentration, besonders oft werden anionenaktive Verbindungen vom Sulfonsäuretyp verwendet. vgl. [6]

### ***Korrosionsinhibitoren:***

Korrosion wird im Wesentlichen durch elektrolytische Vorgänge verursacht. Will man diesen Vorgang verhindern setzt man Korrosionsinhibitoren ein, welche einen nichtmetallischen Schutzfilm um den Metallwerkstoff bilden. Dadurch wird Wasser und Sauerstoff die Möglichkeit unterbunden diesen Werkstoff anzugreifen. Reine Mineralöle bieten meist keinen ausreichenden Korrosionsschutz. vgl. [6]

## *Das Kühlschmiermittel*

### **Emulgatoren:**

Bei schwer entflammaren Druckflüssigkeiten sind Emulgatoren von Bedeutung. Diese besitzen grenzflächenaktive Eigenschaften und erleichtern durch Herabsetzung der Grenzflächenspannung des Wassers die Bildung und Haltbarkeit einer Emulsion (meist Öl in Wasser Emulsion). vgl. [6]

### **Sonstige Additive:**

Unter sonstige Additive fallen Farbstoffe, Entscheider, Fluoreszenz-Zusätze, Konservierungsmittel, Haftmittel, Geruchsstoffe sowie für die Schleiftechnik wichtige Antinebeladditive. vgl. [6]

Bei „Antinebeladditive“ handelt es sich um öllösliche kettenförmige Polymerverbindungen, welche einer zu feinen Verteilung des Ölnebels entgegenwirken. Die Arbeitsbedingungen an der Maschine werden dadurch um einiges erleichtert. vgl. [7]

### 3.7 Die Schaumbildung

Starke Schaumbildung beeinträchtigt die Schmiereigenschaften von Ölen, fördert deren Oxidation durch die intensive Durchmischung mit Luft, kann zu Ölverlusten führen und in Ölkreisläufen den Öltransport und damit eine ausreichende Schmierung unterbinden. Bei reinen Mineralölen ist die Beständigkeit des Schaums eine Funktion der Viskosität und der Oberflächenspannung. Nach dem Stok'schen Gesetz ist die Geschwindigkeit, mit der sich die Luftblasen abscheiden, proportional dem Quadrat ihres Durchmessers und umgekehrt proportional der Ölviskosität. Temperaturerhöhungen wirken sich demgemäß vermindern auf die Schaumbeständigkeit aus. Bei dünnen Ölen entsteht grobblasiger Schaum, der rasch verschwindet, während sich in hochviskosen Ölen kleine Luftblasen in feiner Verteilung bilden, die eine hohe Stabilität des Schaums verursacht. [6]

Oberflächenschaum besteht aus zahlreichen aneinander gelagerten Luftblasen mit verhältnismäßig großem Durchmesser. Er ist im Ölbehälter, der Filteranlage und an mehreren Stellen im Bearbeitungsraum der Schleifmaschine sichtbar. Das Schaumverhalten ist von der Zusammensetzung der Druckflüssigkeiten abhängig und kann durch das Beifügen von Entschäumungsmitteln (Additiven), die ein sehr rasches Zerfallen der Blasen begünstigen, verbessert werden. Die Schaumbildung wird auch durch die im Öl gebildeten Alterungsprozesse sowie durch eingedrungenes Wasser oder Schmutzpartikel erhöht. Bezüglich der Schaumbildung sind Kühlschmierstoffhersteller keiner Norm gebunden, die Ausbildung ist jedoch wie bereits erwähnt über Additive steuerbar. vgl. [6]

#### 3.7.1 Die Bewertung des Schäumungsverhaltens

Es wurden 12 verschiedene Kühlschmierstoffe untersucht, die bis auf das Medium „Sintogrin“ von Oelheld (M03) mit Codes (z.B. M01 = Medium 01) aufsteigend bezeichnet wurden. Man wird sich wundern weshalb eine Codierung angewendet wurde, der einfache Grund liegt darin, eine objektive unbeeinflussbare Aussage, ohne zu wissen zu welchem Hersteller das Öl zuordenbar ist, durchzuführen.

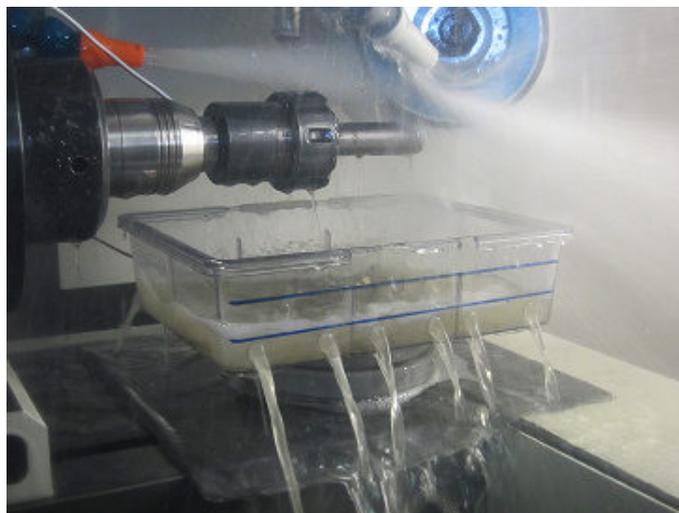
## Das Kühlschmiermittel

Um das Schema der Bewertung der einzelnen Kühlschmierstoffe bezüglich ihrer Schaumeigenschaften zu erklären, wäre gesagt:

Alle Bewertungen wurden rein visuell durchgeführt. Zur Bewertung stand ein Auffangbehälter unter der Bearbeitungsstelle, der das Medium auffing und wieder freigeben konnte (siehe Abb.3.11 u. 3.12). Weiters wurden, in der Filteranlage, am Faltenbalg im Bearbeitungsraum (siehe Abb.3.13) und an der Plexischeibe der Maschinentüre, die anhaftende Schaummenge bewertet und dokumentiert.

Nachdem die Menge an Additiven in einzelnen Basisflüssigkeiten quantitativ nicht erfassbar war, konnte auch nicht festgestellt werden, welches weitere Additiv sich eventuell positiv auf das Schaumverhalten der einzelnen Öle auswirken würde. Die Bewertung dient dem einfachen Vergleich der Eignung. Auch wurde eine Schwankung in der Kombination Schleifscheibe zu Öl bezüglich der Schaumbildung festgestellt, diese ist jedoch in einem vernachlässig geringen Bereich.

Nachfolgend die Illustration der einzelnen Beobachtungsbereiche und die Darstellung des unterschiedlichsten Schaumverhaltens einzelner getesteter Medien. Besonders der Extremvergleich von Medium M03 und M06 soll erläutert werden.



**Abb. 3.11** geringe Schaummengen im Auffangbehälter von Medium M03

Auch am Austritt des Behälters ist ersichtlich, dass wenige Schaumeinschlüsse vorhanden sind.

## Das Kühlschmiermittel

Im Vergleich dazu eine überaus große Schaumbildung:



**Abb. 3.12** starke Schaumbildungen im Auffangbehälter von Medium M06

Hier ist wiederum ersichtlich, dass eine beachtliche Menge an Schaum auch beim Behälteraustritt vorhanden ist.

Auch am Faltenbalg ist die große Schaumbildung ersichtlich:



**Abb. 3.13** starke Schaumbildung am Faltenbalg von Medium M06

## Das Kühlschmiermittel

Der folgende Bildervergleich (siehe Abb.3.14) zeigt Aufnahmen des Mediums M03 im Vergleich zu Medium M06 innerhalb der Filteranlage. Auch hier ist die unterschiedliche Schaumneigung beider Kühlschmierstoffe ersichtlich. Anhand des Siebgriffes in der Mitte sieht man wie hoch der Schaum bereits angestiegen ist.



**Abb. 3.14** Vergleich der Schaumbildung (M03 zu M06) innerhalb der Filteranlage

### **Bewertungsablauf:**

Die Bewertung wird anhand der Schaummenge, der Blasengröße und der Abbaugeschwindigkeit von 1 bis 10 durchgeführt. 1 steht für ein sehr gutes Ergebnis, 10 wiederum für ein ungenügendes Ergebnis. Die Beurteilung der Schaummenge ist eine Zusammenfassung aus der visuellen Betrachtung des Auffangbehälters und der Filteranlage. Die Blasengröße konnte nach dem vollendeten Bearbeitungsprozess innerhalb des Auffangbehälters und im Maschinenbalg beurteilt werden. Die Abbaugeschwindigkeit wurde nach dem Schleifprozess im Auffangbehälter ermittelt. Das Ergebnis stellt das arithmetische Mittel dieser 3 Faktoren dar.

**Auswertung der Ergebnisse:**

Öl- Code	Schaummenge	Blasengröße	Abbaugeschw.	Ergebnis
M01	4	9	5	6
M02	6	2	6	4,66
M03	2	5	2	3
M04	8	5	7	6,66
M05	7	6	7	6,66
M06	9	4	9	7,33
M07	5	5	6	5,33
M08	6	7	6	6,33
M09	5	5	6	5,33
M10	8	6	7	7
M11	5	5	7	5,66
M12	5	5	7	5,66

**Tab. 3.1** Auswertung des Schaumverhaltens (1=sehr gut ; 10=ungenügend)

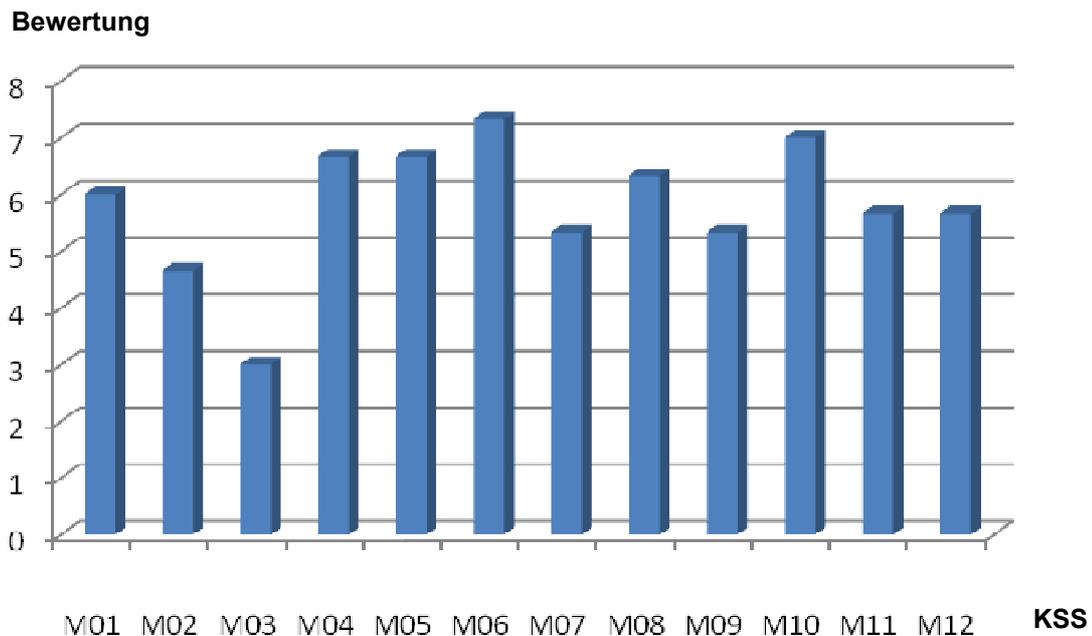
**Fazit:**

Nachdem keine genauen Namensbezeichnungen, der verwendeten Öle, in der Arbeit genannt werden, kommen wir zu dem Ergebnis, dass das Kühlschmiermittel M03 beste Ergebnisse erzielen konnte.

## Das Kühlschmiermittel

Besonders hohe Schaumbildung konnte bei Medium M06 und M10 festgestellt werden.

Das nachfolgende Diagramm Abb.3.15 soll grafisch die Auswertungsergebnisse der Schaumbildung darstellen.



**Abb. 3.15** Zusammenfassung der Schaumauswertung

Die Schaumauswertung kann auch genormt nach ISO 6247, welche die DIN 51566 abgelöst hat, durchgeführt werden. Bei diesem Prüfverfahren wird in einem Ölbehälter über eine Diffuserkugel Luft durch das zu prüfende Öl gepumpt. Unmittelbar nach dem Abschalten des Luftstroms, wird das Volumen des Oberflächenschaums in *ml* ermittelt. Nach 5 Minuten Ruhezeit wird nochmals das Volumen des Oberflächenschaums in *ml* ermittelt. Die Prüfung wird sowohl bei 25°C als auch bei 95°C durchgeführt. vgl. [18] Aufgrund technisch eingeschränkter Möglichkeiten, wurde die Schaumbewertung in dieser Arbeit visuell durchgeführt.

### 3.8 Cobaltaufnahme von Kühlschmiermitteln

Hartmetalle sind Verbundwerkstoffe aus Keramik und Metall. Sie bestehen aus einer weichen metallischen Bindephase (Cobalt oder Nickel) in die Karbide der Übergangsmetalle (z. B. W, Ti, Ta, Nb) eingebettet sind. Die Herstellung erfolgt auf pulvermetallurgischem Weg durch Sintern. [10]

## Das Kühlschmiermittel

Wassermischbare Kühlschmierstoffe werden beispielsweise für das Flachsleifen von Hartmetallen verwendet. Beim Kontakt mit dem Hartmetall wird das metallische Cobalt in Ionenform herausgelöst und reichert sich im Kühlschmierstoff an. Neben der Schädigung der Metalloberfläche insbesondere bei Hartmetallen kann dieser Effekt auch eine hohe Belastung des Maschinenpersonals durch die Cobaltsalze bewirken, die durch Hautkontakt oder durch das Einatmen des Kühlschmierstoffaerosols in den Körper aufgenommen werden. Zur Verringerung bzw. Vermeidung dieser Gefahren sind wasser-mischbare Kühlschmierstoffe speziell für das Schleifen von Hartmetallen und cobalthaltigen Stählen erhältlich, die aufgrund ihrer Zusammensetzung das Herauslösen von Cobalt aus dem Werkstückmaterial und seine Anreicherung im Kühlschmierstoff weitgehend verhindern. Im Einzelnen bedeutet dies, dass diese Kühlschmierkonzentrate möglichst keinerlei Amine enthalten und gegen das in Lösung gehen von Cobalt inhibiert sein sollten. Da die Inhaltsstoffe emulgierbarer Kühlschmierstoffe sehr stark zu Cobaltleaching neigen und auch kaum ausreichend inhibiert werden können, setzt man für die Bearbeitung cobalthaltiger Werkstoffe überwiegend wasserlösliche Produkte ein. [10]

Die Quantität der Cobaltaufnahme in nicht wassermischbaren Kühlschmierstoffen ist abhängig von der Qualität der Filtration des Mediums, d.h. von der Verweildauer der cobalthaltigen Späne im Kühlschmierstoffkreislauf. Auch die Temperatur des Kühlschmierstoffes sowie andere Faktoren (UV-Licht, Verunreinigungen im Kühlschmierstoff,...) beeinflussen das Cobaltleaching. [10]

Ein wichtiger Faktor zur Vermeidung hoher Cobaltkonzentrationen in nicht wassermischbaren Kühlschmierstoffen zur Bearbeitung cobalthaltiger Werkstoffe ist aber bereits die gezielte Auswahl von Basisflüssigkeiten und Additiven unter dem Gesichtspunkt ihres Cobaltlösevermögens. [10]

Die Oxidationsanfälligkeit hochwertiger Basisöle, welche sowohl aus technologischer Sicht als auch für den Schutz der Gesundheit am Arbeitsplatz deutliche Vorteile bieten, kann durch die Zugabe von Antioxidantien verringert werden. Diese Maßnahme reduziert in Folge auch ihre Cobaltaufnahme. vgl. [10]

Durch die Verwendung geeigneter Inhibitoren kann die Lösung von Cobalt im Kühlschmierstoff noch weiter verringert werden. [10]

- 
- [2] R. Holz und J. Sauren, "**Schleiftechnisches Handbuch**" : Schleifen mit Diamant und CBN. Essen: Vulkan-Verl., 1988. **Seite 54**
- [4] R.-W. Graf Walter, "**CBN und Diamant in Kunstharzbindung**". 2000. **Seite 51, 52, 53**
- [6] Prof. Heinrich Hochleitner, "**Skriptum Fluidtechnik 1**". 2010. **Seite 29-37, 39**
- [7] Dr. Manfred Storr und H. Ott, "**Das 1x1 des Öl- Schleifens**". Räse u. Haigis Offsetdruck, 2002. **Seite 8-11, 14, 16-17, 19-21, 23**
- [8] "**Emulsion**" Wikipedia, [Online] Available: <http://de.wikipedia.org/wiki/Emulsion>. [Accessed: 03-Juli-2012].
- [9] "**Emulsion**" Wikipedia, [Online] Available: „Datei:GrenzflächeUndEmulsion.png–“. <http://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Grenzfl%C3%A4cheUndEmulsion.png>. [Accessed: 03-Juli-2012].
- [10] W. Rehbein und S. Oelheld GmbH, "**Studie: Cobaltaufnahme in nichtwassermischbaren Kühlschmierstoffen**", 2010. **Seite 1-3, 16-17**
- [17] **Aral Fluide** 06 Vorlesungsfolien laut "Skriptum Fluidtechnik 1" Prof. Heinrich Hochleitner. 2010, **Seite 29**
- [18] Klüber Lubrication München AG, Tipps für die Praxis, „**Schaumverhalten von Getriebeölen**“, 2004

## 4 Der Prüfstand

Für den Prüfstand bei der Schleiftechnikfirma Salmhofer aus Vasoldsberg stand uns eine voll abgekapselte CNC - Schleifmaschine der Firma Saacke (Modell UW I F) zur Verfügung. Neben der Schleifmaschine wurde auch die dazugehörige Filteranlage von Vomat, das Vermessungsgerät der Firmen Walter bzw. Zoller, die verwendete Thermokamera Varioscan 3021 ST (Jenoptik), eine Stroboskoplampe sowie der gesamte Aufbau von zusätzlichen Messmitteln wie Thermoelemente samt Schnittstelle näher beleuchtet. Zur Dokumentation wurden über eine Videokamera stets alle Tests aufgezeichnet. Diese Daten wurden gesammelt und über die bereits besprochenen Schleifscheiben und deren Kühlschmierstoffe in unterschiedlichsten Kombinationsanordnungen archiviert. Es wurde ein Umfang von Daten in der Größe von ca. 300 Gb gesammelt, eine große Herausforderung diese Daten einer aussagekräftigen Auswertung zu unterziehen.

Ein weiterer wichtiger Betrachtungsgrund ist der Verschmutzungsgrad nach der absolvierten Bearbeitung. Hier wird eine Auswertung Aufschluss über die Kombinationsmöglichkeiten von Schleifscheibe mit dem jeweiligen Medium und deren Verschmutzungsgrads geben. Das Medium ist unter Anderem dafür verantwortlich jeweilige Bearbeitungsrückstände aus der Bearbeitungszone zu waschen bzw. heraus zu transportieren, um einen bestmöglichen Schleifprozess zu garantieren.



**Abb. 4.1** Saacke CNC - Schleifmaschine mit Stroboskoplampe, Videokamera und Thermokamera

#### 4.1 Die CNC - Schleifmaschine

CNC ist die Abkürzung für „Computerized Numerical Control“ und übersetzt bedeutet es „computergestützte numerische Steuerung“. Es verbindet das Steuern und Regeln auf elektronische Art und Weise von Werkzeugmaschinen.

Unsere verwendete Schleifmaschine stammt von der Firma Saacke und besitzt folgende Spezifikationen:

##### **Werkzeugdaten**

Max. Durchmesser	200 mm
Länge bei Komplettbearbeitung ab Werkstückträger-Vorderkante	270 mm (optional 360 mm)

##### **Schleifweg X-Achse**

Längsweg	530 mm
Vorschubgeschwindigkeit	0 - 15 m/min
Nutzbare Tischfläche für Lünette	245 x 140 mm

##### **Querschlitten Z-Achse**

Querweg	320 mm
Vorschubgeschwindigkeit	0 - 15 m/min

##### **Höhenweg Y-Achse**

Höhenweg	400 mm
Vorschubgeschwindigkeit	0 - 15 m/min

##### **Schleifkopf B-Achse**

Schwenkbar in horizontaler Ebene	240 Grad
Schleifscheibenaufnahme mit Schnellspannung	HSK - E50
Drehzahl stufenlos	2.000 - 12.000 U/min (optional 20.000 U/min)

Max. Schleifscheibendurchmesser	150 mm
---------------------------------	--------

##### **Schleifscheibenwechsler**

Anzahl Magazinplätze	2 (optional 4)
----------------------	----------------

##### **Werkstückträger A-Achse mit Direktantrieb**

Aufnahme	ISO 50
Teilgenauigkeit	+/- 15''
Max. Drehzahl	600 U/min (optional 1.000 U/min)

<b>Auflösung</b>	
X-, Y- und Z-Achse	0,0001 mm
B- und A-Achse	0,0001 Grad
<b>Antriebsnennleistungen</b>	
Schleifspindel Spitzenleistung	5 kW (optional 16 kW)
Tischantrieb X-Achse	2 kW
Werkstückträger A-Achse	2 kW
Querschlitten Z-Achse	2 kW
Schleifkopf Y-Achse	2 kW
Schleifkopfdrehung B-Achse	2 kW
<b>Anschlusswert</b>	20 kW / 22,6 kVA
<b>Gewicht</b>	3.500 kg

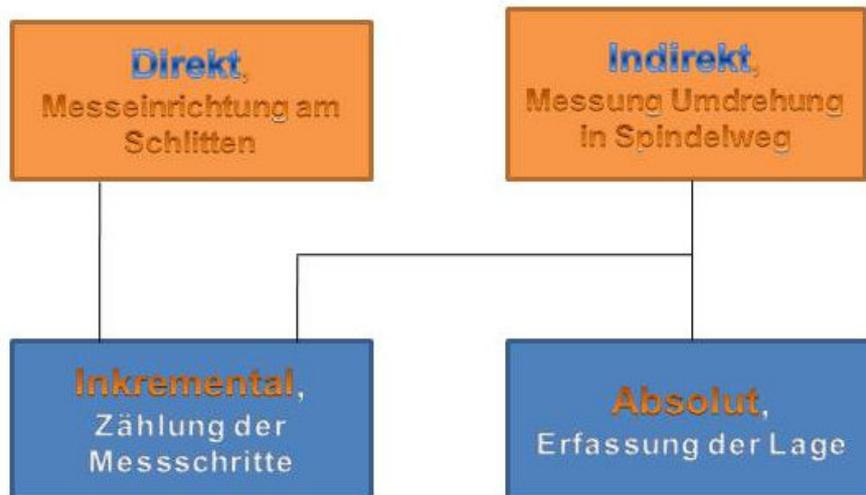
**Tab. 4.1** Datenblatt Saacke CNC- Schleifzentrum Modell UW I F

#### 4.1.1 Merkmale

CNC - Maschinen sind in der Lage Zahlen und Buchstaben in Programmen so zu verarbeiten, um einen Bearbeitungsschritt übersetzen und auszuführen zu können. Die Eingabe erfolgt meist direkt an der Steuerung, entweder über die einfache Eingabe des Programms oder per Datenträger, wo das Programm bereits zuvor fertig geschrieben wurde.

Die Vorteile einer CNC - Fertigung liegen bei der gleich bleibenden hohen Fertigungsgenauigkeit, der kurzen Fertigungszeit, der Herstellung komplizierter Werkstücke, der einfachen Optimierung des Zerspanungsprozesses, der hohen Flexibilität, der guten Automatisierungsmöglichkeit und der Mehrmaschinenbedienung. vgl. [5]

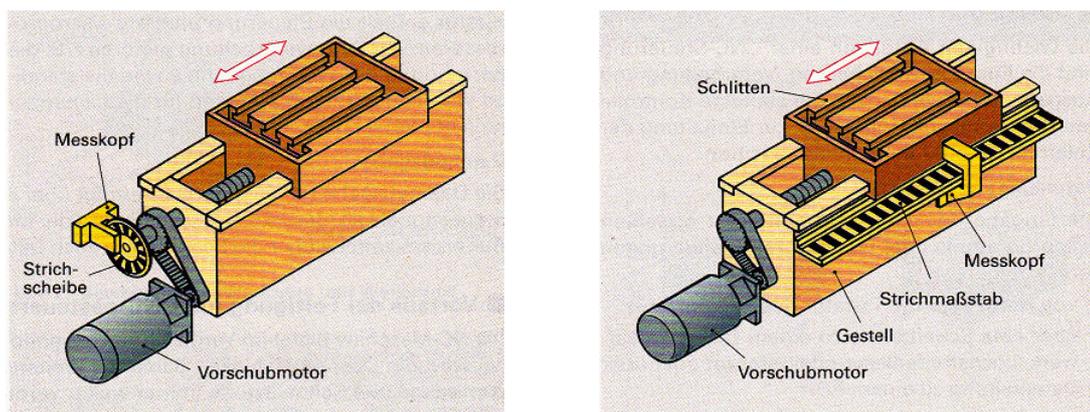
Bei CNC - Vorschubantrieben kommt zur Drehzahlregelung noch eine Lageregelung hinzu. Dafür erhält jede Achse ein **Wegmesssystem**.



**Abb. 4.2** Wegmesssysteme vgl. [5]

Aufgrund von Kosten und Anwendungsbereichen werden am häufigsten inkrementale Wegmesssysteme eingesetzt. [5]

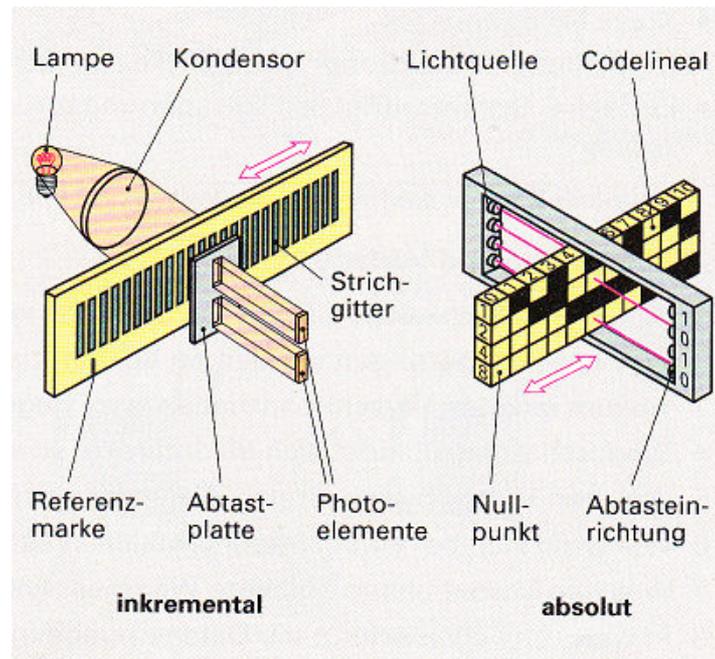
Grundsätzlich unterscheidet man Wegmesssysteme welche direkt am Schlitten angebracht sind und indirekte Systeme welche die Spindelumdrehung als Referenz heranziehen (siehe Abb. 4.3). Man kann sich diese Messeinrichtung als Hell-/ Dunkelstrichmaßstab vorstellen, welcher über einen Lichtgeber Impulse an den Empfänger übermittelt. Dieser Empfänger wertet die Anzahl der Impulse aus und kann feststellen an welcher Stelle sich die Maschine zurzeit befindet.



**Abb. 4.3** Unterscheidung indirektes(links) u. direktes(rechts) Wegmesssystem [5]

## Der Prüfstand

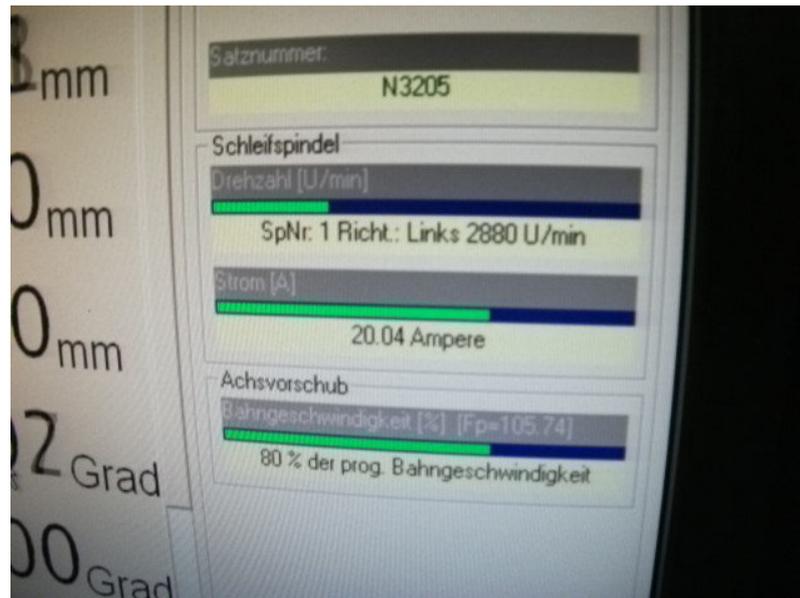
Der eigentliche Unterschied zwischen inkrementalen und absoluten Wegmesssystemen liegt darin, dass man beim erst genannten eine Referenzmarke anzufahren hat, ab welcher Position der Verfahrenweg nun zu berechnen ist. Nachdem das absolute System eine Codierung jeder Verfahrsposition besitzt, ist dies hier nicht notwendig (siehe Abb.4.4).



**Abb. 4.4** Unterscheidung absolutes u. inkrementales Wegmesssystem [5]

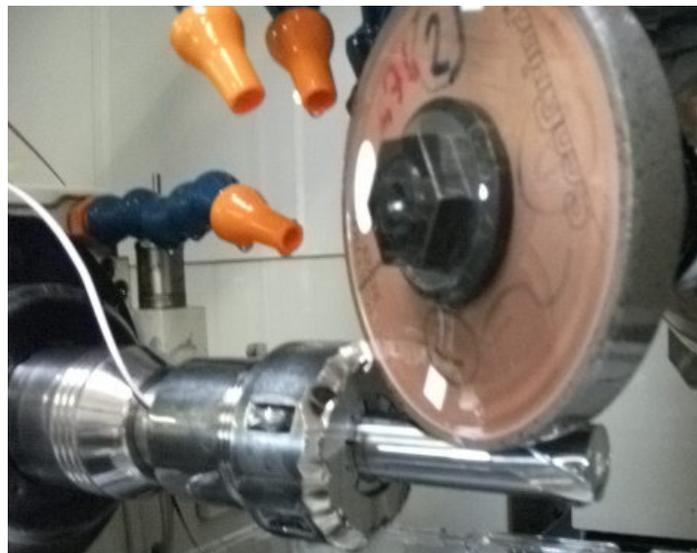
### 4.1.2 Die CNC - Steuerung

Wesentliche Aufgabe der Steuerung ist die Eingabe, Speicherung, Verarbeitung und Ausgabe von Daten. Auch die ständige Kontrolle, Interpretation der Geometrie und Regelung der Achsen wird von der Steuerung übernommen. Bild 4.5 aus unserer Prüfstandssteuerung zeigt die Ausgabe der Steuerdaten beim Betrieb. vgl. [5]



**Abb. 4.5** Ausgabe der Steuerdaten der Saacke CNC - Maschine

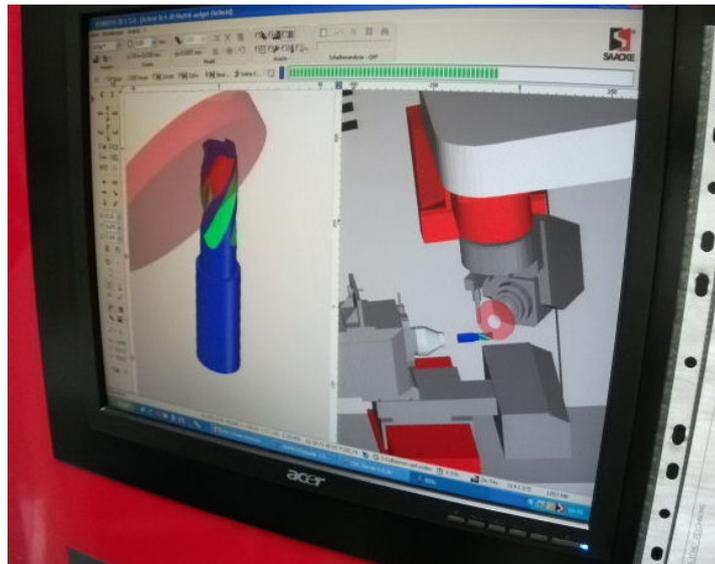
Als Beispiel kam es in Abb. 4.6 zu einer Notabschaltung aufgrund eines Überschreitens der zulässigen Stromaufnahme. Der Grund dafür war eine zugesetzte Schleifscheibe, welche zu viel Maschinenleistung beansprucht hat. Die möglichen Ursachen (Verschleiß,...) wurden im Kapitel 2 *Schleifscheiben* näher beschrieben.



**Abb. 4.6** Notabschaltung nach Überschreitung der zul. Stromaufnahme

## Der Prüfstand

Ist das Bearbeitungsprogramm in die Steuerung eingegeben, kann über eine Digitalisierung virtuell das gesamte Programm abgespielt werden und eventuelle Fehler noch vor der Bearbeitung korrigiert werden. Die meisten CAD - Programme verfügen jedoch auch über ein zusätzliches Feature, um bereits bei der Konstruktion, des zu herstellenden Produkts, den Herstellungsprozess zu simulieren und zu optimieren.



**Abb. 4.7** Überwachung durch Probelauf des Programms an der Saacke CNC-Maschine

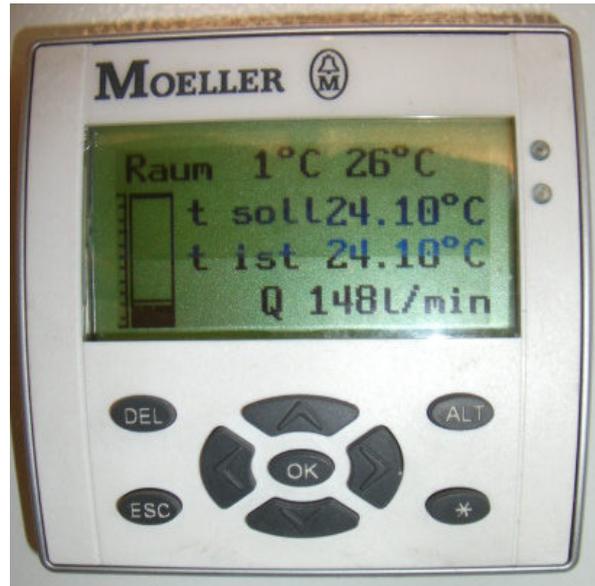
## 4.2 Die Filteranlage

Die Filtration des Kühlschmiermittels erfolgt mit einer Filteranlage Modell FA 120 von Vomat. Ihre Aufgabe besteht darin das Medium in die CNC - Maschine zu fördern bzw. das abgesaugte Kühlschmiermittel aus der Maschine auch wieder zurück zu pumpen, zu reinigen und aufzubereiten um den geschlossenen Regelkreis des Kühlschmierstoffs zu gewährleisten. Verunreinigungen können der abgetragene Hartmetallwerkstoff, oder sonstige Partikelbelastungen aufgrund der Bearbeitung sein. Je nach Einsatz ist die Filteranlage mit der CNC - Maschine über die Steuerung gekoppelt und passt den Druck zur Beförderung des Mediums dementsprechend an. Bezüglich der Eigenschaften und Neigung der Schaumbildung des Mediums, ist in der Filteranlage wie bereits erklärt die Ausprägung der Schäumung zu beobachten. Neben den bereits erwähnten Aufgaben sind die Temperierung (siehe die Ventilatoren in Abb.3.1) und die Beruhigung, aufgrund von Lufteinschlüssen des Kühlschmierstoffs, zu gewährleisten.

Der **Aufbau** der Filteranlage besteht im Wesentlichen aus dem Filtergehäuse mit separatem Sauber und Schmutzölbereich (Filterfeinheit von 3 - 5 µm laut Tab.4.2), einer Filtersystempumpe (stufenlos geregelt), Feinstfilterelementen (angepasst an die max. Durchflussmenge), einem Kühler, einer Maschinenversorgungspumpe, einer SPS Steuerung, dem Display zur Filtersteuerung (siehe Abb.4.8) und der Sackentsorgung mit Ölabsaugung.

Typische Einsatzbereiche	Elementbezeichnung	Aufbau Filtermatte	lieferbare Filterfeinheiten (µm)	Kollaps-Berstdruck (bar)	typische Merkmale
Arbeitsfilter in stationären Hydraulikanlagen (bei Betriebsdruck von über 25 bar wird Einsatz eines Bypassventils im Filter empfohlen) Nebenstromfilter im Kühlkreislauf mit hohem Volumenstrom (z. B. Pressenhydraulik, Papiermaschinen, Schwermaschinenbau)	Betamicron BN/HC	mehrlagig abgestütztes sterngefaltetes Meshpack mit Glasfaservliesen	1, 3, 5, 10, 20	25	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ hohe Schmutzaufnahme</li> <li>➤ hohe Partikelabscheidung über einen weiten Differenzdruckbereich</li> <li>➤ hohe Beständigkeit gegen Druck- und Volumenstromschwankungen</li> </ul>
Schutzfilter in stationären Hydraulikanlagen (bei Betriebsdruck von über 25 bar und sicherer Filtration in allen Betriebssituationen empfohlen) Filtergehäuse ohne Bypassventil	Betamicron BH/HC	mehrlagig abgestütztes sterngefaltetes Meshpack mit Glasfaservliesen	1, 3, 5, 10, 20	210	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ hohe Schmutzaufnahme</li> <li>➤ hohe Partikelabscheidung über einen weiten Differenzdruckbereich</li> <li>➤ hohe Beständigkeit gegen Druck- und Volumenstromschwankungen</li> </ul>
Filteranlagen mit hohen Temperaturschwankungen (großer Viskositätsbereich) z. B. Mobilhydraulik oder Anlagen, die mit dickflüssigem Hydraulik- oder Schmieröl betrieben werden (Getriebebau, Umlauf- oder Verlustschmierung)	Mobilmikron MM	mehrlagig abgestütztes sterngefaltetes Meshpack mit Kunststoff-Faservliesen	10, 15, 20	20	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ hohe Partikelabscheidung</li> <li>➤ geringer Druckverlust</li> <li>➤ ausreichende Schmutzaufnahme</li> <li>➤ hochwertige Filtration im Saugbereich</li> </ul>
Einfache Hydraulikanlage mit schmutzempfindlichen handbetätigten Wegeventilen Filter wird nur als Alibi-Funktion eingesetzt	Papierelement P/HC	einfach abgestütztes sterngefaltetes organisches Papiervlies (meist phenolharzimpregniert)	10, 20	10	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Billigelement</li> <li>➤ geringe Partikelabscheidung und Schmutzaufnahme (meist kein Multi-Pass möglich)</li> <li>➤ geringer Druckverlust</li> <li>➤ geringer Kollapsberstdruck (Bypass zwingend notwendig)</li> </ul>

**Tab. 4.2** Auswahl der Filterfeinheit und ihre Anwendungsgebiete [6]



**Abb. 4.8** Display zur Filtersteuerung (KSS- Temperatur und Durchflussmenge)

Die Füllmenge des Öls für die Filteranlage liegt bei ca. 500 l. Für weitere Anschlussmöglichkeiten sind zwei Pumpensteckplätze, das heißt zwei Maschinenversorgungspumpen oder eine Maschinenversorgungspumpe und eine Umwälzpumpe, für eine eventuelle externe Kühlung verfügbar. Weiters ist ein Schnittstellenanschluss für die Maschinenverknüpfung und ein extra Schmutzölanschluss angebracht. Die Kühlung ist in der Anlage integriert.

**Weitere Spezifikationen:**

Die maximale Filterleistung liegt bei 148 l/min, die Systempumpe arbeitet bei 1,5 kW, die maximale Anlagenleistung liegt bei 1,75 kW und die elektrische Absicherung benötigt 16 Ampere. vgl. [11]



**Abb. 4.9** Vergleich Filtereingangs- zu Ausgangsdruck

In Abb. 4.9. ist bei der Bearbeitung eines Werkstücks der Filtereingangs- und Ausgangsdruck abgebildet. Dies bedeutet nicht den Zuführdruck in der Maschine, es wird noch zusätzlich eine Pumpe zwischen Maschine und Filteranlage geschaltet. Daher ist in der vorherigen Abbildung der Ausgangsdruck geringer als der Eingangsdruck.

Folgendes Bild der Filteranlage (FA 120) zeigt die Anschlüsse für die Kühlschmierstoff- Zu- und Abfuhr, sowie die Stromversorgungs- und Datenkabel.



**Abb. 4.10** Filteranlage Vomat FA 120

#### **4.2.1 Filtrierbarkeit von Kühlschmierstoffen**

Grundsätzlich unterscheidet man zwischen fest, flüssigen und gasförmigen Verschmutzungen. Bei der gasförmigen Verschmutzung handelt es sich um Lufteinschlüsse welche die lokale Überhitzung des Öls, die Ölalterung, das Regelverhalten und die dynamische Schmierfilmdicke negativ beeinflussen. Die Schaumneigung eines Öls und die daraus resultierenden Luftanreicherungen, sind somit in den Bereich der gasförmigen Verschmutzung einzuordnen. Unter feste Verschmutzungen, fallen alle Partikel die aufgrund der Bearbeitung oder des Verschleißes der Maschine entstehen. Bei der flüssigen Verschmutzung handelt es sich vorwiegend um Wasser, welches in den Kreislauf aufgrund von eventuell undichten Stellen hineingelangen kann. Diese Verunreinigungen stellt die Filteranlage an eine große Herausforderung, um den dauerhaften Betrieb aufrecht zu erhalten.

Auch Neuöl ist mit Schmutzpartikeln versetzt und sollte vor der ersten Zuführung bereits gefiltert werden. Bereits im Kapitel Kühlschmiermittel wurde darauf hingewiesen und die Reinheitsklasse richtet sich nach DIN 51524. Diese besagt, dass ein Gehalt an unlöslichen Fremdstoffen von 0,05 Gewichtsprozent im Anlieferungszustand auftreten darf.

Die verwendete Druckflüssigkeit und darunter fallen auch Kühlschmierstoffe dürfen die Filter durch Ausscheidungen bzw. Ablagerungen nicht verlegen oder gar blockieren. Gut gewartete Filteranlagen zur Schleifbearbeitung dürfen einen maximalen Fremdstoffgehalt von 0,1 Gewichtsprozent aufweisen. Bei der Servotechnikanlagen sind 0,1 Gewichtsprozent schon zu viel. vgl. [6]

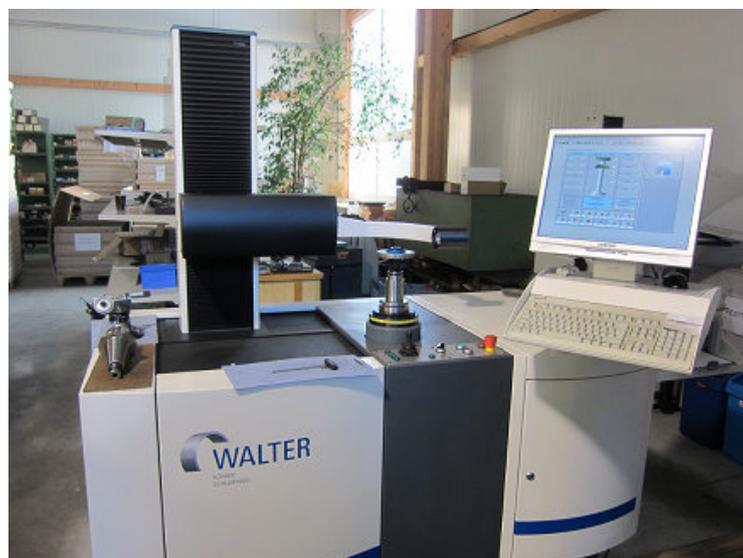
#### **4.3 Das Vermessungsgerät**

In der heutigen CNC - Technik finden immer öfter optoelektronische Messmittel Anwendung, welche das Zusammenspiel mit CNC- Bearbeitungsmaschinen erleichtert. Im Folgenden wird die Vermessungsmaschine der Firma Walter ein wenig vorgestellt. Die Helicheck Technologie dieser Firma ersetzt herkömmliche Methoden, wie z.B. Profilprojektoren. Durch die Option der Inspektionskamera werden auch herkömmliche Messmikroskope ersetzt.

Zum Aufbau einer Vermessungsmaschine gehört eine festinstallierte Schattenbildkamera oder Durchlichtkamera welche das Werkzeug abtastet, eine Schnittstelle zur Aufarbeitung der ermittelten Daten, Ausgabegeräte (PC, Drucker...), eine Aufnahme des Werkzeugs, eine Bedieneinheit, der stabile Sockel worauf die Messmaschine steht um die Messgenauigkeit einzuhalten und der gesamte Aufbau von Gehäuse bis hin zu Verfahrachsen samt Motoren (siehe Abb.4.11). Die Maschine kann in drei Achsen gesteuert werden. Es werden Wiederholgenauigkeiten von  $\leq 1,5 \mu\text{m}$  erreicht. vgl. [12]

Die erhaltenen Messwerte des Werkzeugs werden der Steuerung der CNC- Maschine übermittelt oder manuell eingegeben und berücksichtigen somit beim nächsten Einsatz sämtliche Abweichungen, aufgrund bereits entstandenen Verschleißes aus vorherigen Bearbeitungen der Schleifscheibe.

Die Vermessungsmaschine bietet eine anwenderfreundliche Bedienoberfläche um nicht nur Messwerte abzubilden, sondern auch die Schneide des Werkzeugs genauer (bis zu hundertfacher Vergrößerung) auf Fehler zu betrachten.



**Abb. 4.11** Die Walter Vermessungsmaschine bei der Vermessung einer Coolgrind Schleifscheibe

#### 4.4 Die Thermokamera

Bei den Temperaturmessungen stand die Thermokamera Varioscan 3021 ST von Jenoptik zu Verfügung. Sie wurde vor dem Bearbeitungsbereich der CNC- Maschine über ein Stativ positioniert. Weiters wurde zu Dokumentationszwecken eine Digitalvideokamera auf der Thermokamera angebracht.

Hier die Daten zur Kamera:

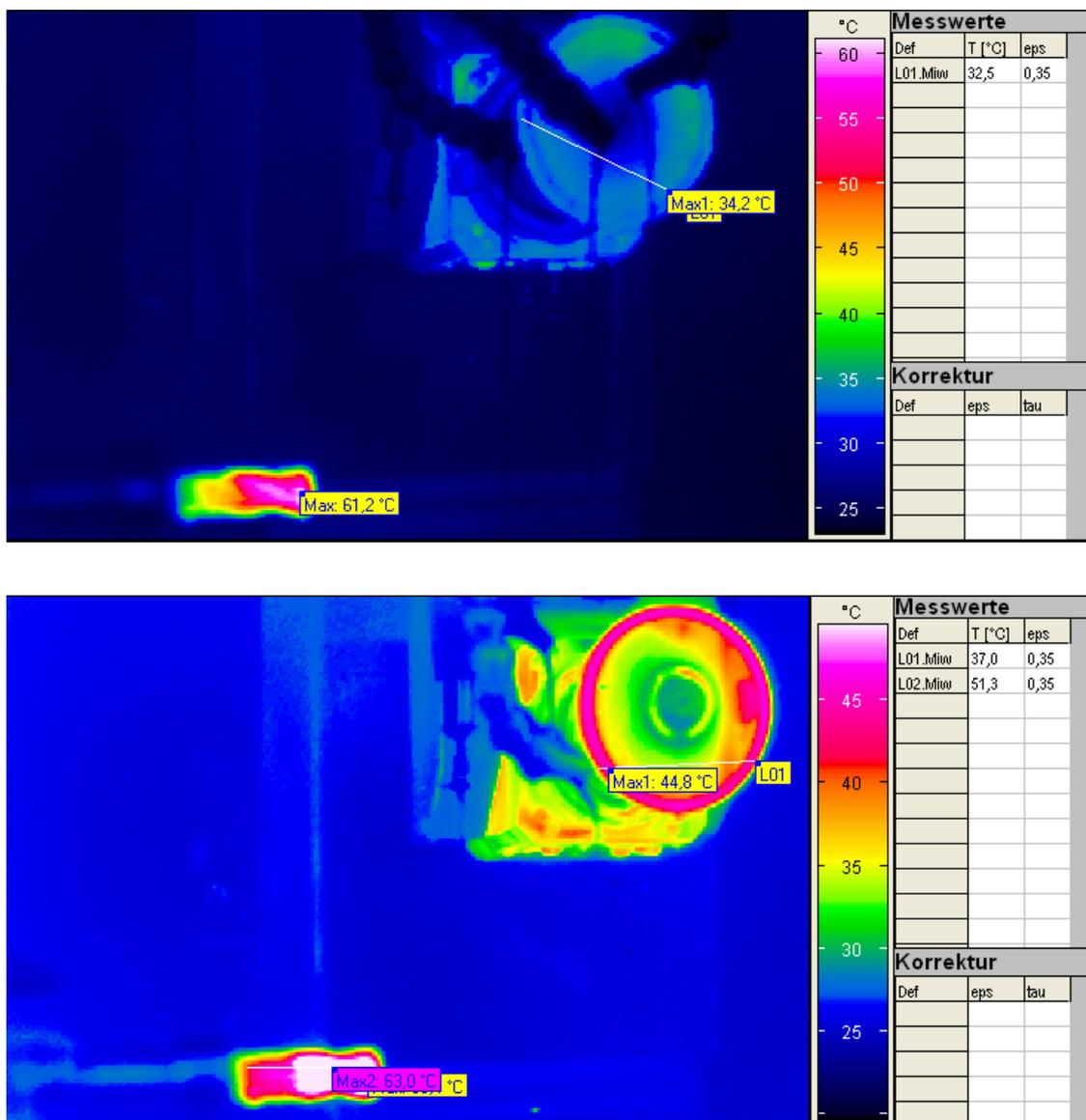
- Temperaturmessbereich:  $-40^{\circ}\text{C}$  -  $+ 1200^{\circ}\text{C}$
- Temporaufauflösung: 0,03K
- spektraler Messbereich: 8 -  $12\mu\text{m}$
- Bildpunkte: 360 x 240 Pixel
- Aufnahmeverfahren: Scanner
- Optischer Zoom: 6:1

#### ***Das Prinzip der Thermografie:***

Die Thermografie ist ein berührungsloses und zerstörungsfreies Temperaturmessverfahren. Dem Messobjekt wird keine Energie entzogen oder zugeführt, hierdurch erhält man auch bei sehr kleinen Messobjekten sichere Messergebnisse.

Jeder Körper strahlt oberhalb des absoluten Nullpunkts ( $-273^{\circ}\text{C}$ ) Infrarot Strahlung ab. Diese Strahlung wird durch die Wärmebildkamera in ein für den Menschen sichtbares Bild umgewandelt. Bei der Kamera wird eine Fläche auf 360 x 240 Pixel aufgelöst, dass entspricht 86.400 einzelnen Messpunkten. Durch die hohe thermische Empfindlichkeit von  $0,03^{\circ}\text{C}$  ist es möglich, auch kleinste Temperaturunterschiede sichtbar zu machen. Es ist aber aufgrund der unterschiedlichsten Oberflächencharakteristika (z.B. blanke oder lackierte Oberflächen) darauf zu achten, dass jede einen unterschiedlichen Emissionsgrad aufweist. Dementsprechend ist die Thermokamera einzustellen. Die Technologie der Thermografie entspringt der Militärtechnik zu Überwachungszwecken und Raketensteuerung. vgl. [13]

Um einen **Vergleich** aufzuzeigen wie sich die Schleifscheiben bei der Thermografiemessung unterschieden haben, wird hier der folgende Vergleich (siehe Abb.4.12) einer **RWT Coolgrind Schleifscheibe**, mit einer **Tesch Schleifscheibe** dargestellt. Beide Schleifscheiben haben den gleichen Hartmetallprüfling bearbeitet. Der Temperaturunterschied ist aufgrund der unterschiedlichen Kühlschmierstoffzuführungen erklärbar und wie bereits erwähnt steigt die Lebensdauer einer Schleifscheibe, wenn eine optimale Kühlung vollzogen wird.



**Abb. 4.12** Bild oben Thermoaufnahme RWT Coolgrind samt Prüfling, Bild unten Thermoaufnahme Tesch Schleifscheibe samt Prüfling

Auf Abb. 4.12 ist ersichtlich, dass nicht nur die Schleifscheibe nach dem Coolgrind Prinzip wesentlich kühler geblieben ist, auch der Prüfling hat sich bei der obigen Bearbeitung weniger stark erhitzt. Dies ist für das Werkstück gefügetechnisch ebenfalls optimaler. Die Aufnahmen aus Abb. 4.12 wurden jeweils nach der Bearbeitung aufgezeichnet, grundsätzlich war die Kamera ständig im Betrieb.

Die Daten der Thermokamera (siehe Abb. 4.13) wurden über eine Schnittstelle in ein Auswertungsprogramm auf den PC übermittelt, diese Daten waren ebenfalls Richtwerte, um eine Aussage zur besten Kombination (Schleifscheibe zu Kühlschmierstoff) zu erhalten. Unpassende Kombinationen von Scheibe und Schmierstoff äußern sich durch höhere Wärmeentwicklung am Prüfling. Die Wärmeentwicklung im Prüfling wurde über Thermoelemente erfasst.



**Abb. 4.13** Thermokamera Varioscan 3021 ST von Jenoptik beim Einsatz

## 4.5 Das Stroboskop



**Abb. 4.14** Stroboskop im Einsatz

Das Stroboskop ist ein Lichtblitzgerät und wird in technischen Bereichen zur Überprüfung des Zündvorgangs bei Ottomotoren bzw. der Fehlerfindung bei nicht ordnungsgemäß laufenden Wellen eingesetzt. Generell dient es zur Untersuchung von wiederkehrenden dynamischen Vorgängen.

In den Testreihen wurde ein Stroboskop eingesetzt, um Drehzahlschwankungen der Schleifscheibe zu überprüfen. Dazu wurde eine Markierung an der Schleifscheibe angebracht und die Frequenz des Stroboskops bei der Drehbewegung der Scheibe angepasst. Sobald die Scheibe mit dem Prüfling nicht ordnungsgemäß den Abtrag des Materials gewährleistet hat, konnte man erkennen wie die Markierung an der Schleifscheibe sich im Umfang verändert hat. Kurz bevor es zum Notabschalten der CNC- Maschine gekommen ist, wurden eklatante Störungen des Betriebs per Stroboskop registriert. Das Stroboskop wurde zur zusätzlichen Visualisierung und Kontrolle des Betriebs, neben der Steuerung unserer CNC- Maschine eingesetzt.

## Der Prüfstand

### 4.6 Der Prüfaufbau

Der Prüfaufbau soll veranschaulichen, wie die Daten detektiert und verwaltet wurden.

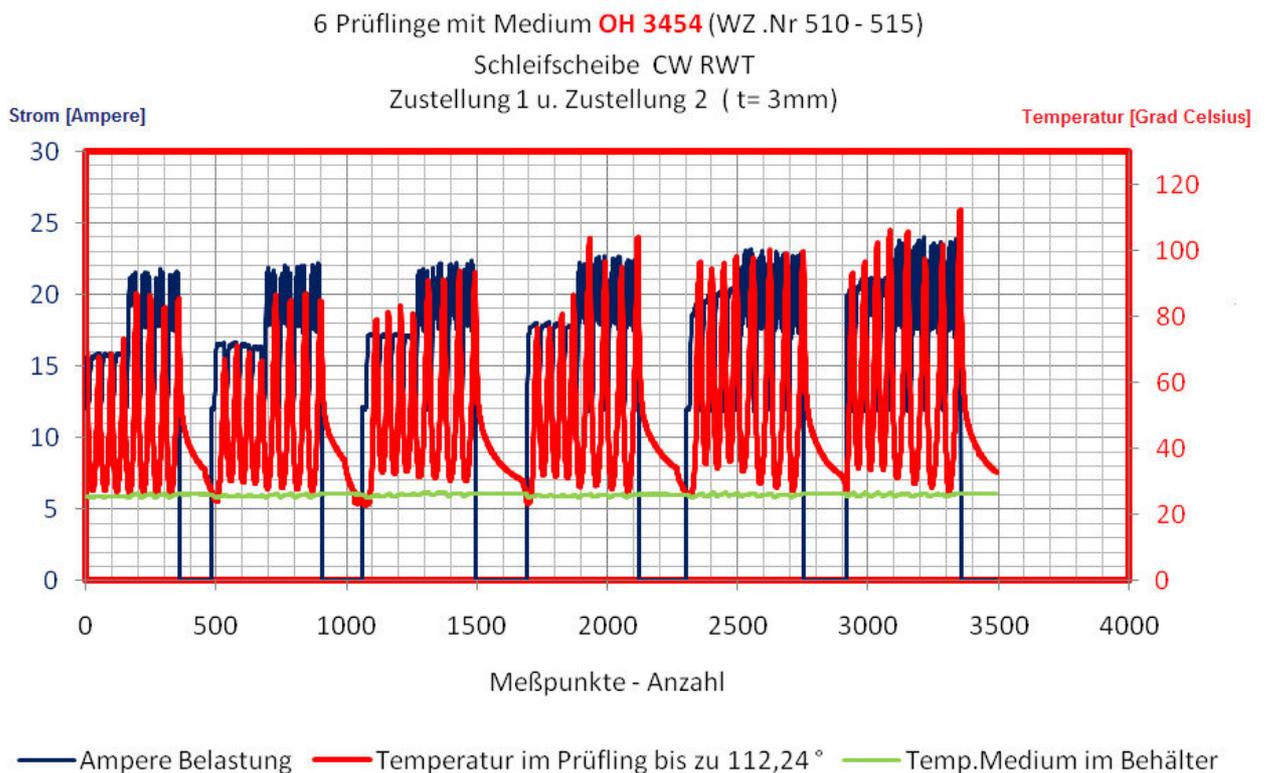
Sämtliche Daten der Bearbeitung, das heißt mögliche Temperaturmessungen (Thermoelemente) und die Kraftaufnahmen der Maschine wurden über eine eigens angefertigte **Schnittstelle** zentral verwaltet und verarbeitet, um diese dann für die weitere Verarbeitung am PC, in geeigneter Form zur Verfügung zu stellen. Die Werteausgabe erfolgte über Textfiles und Excelfiles, weiters wurde sofort ein dazu passendes Diagramm zum einfacheren Verständnis der erhaltenen Daten ausgegeben. Der Einsatz der Kombinationen von Schleifscheiben und Kühlschmierstoffen wurde stets dokumentiert, um den Überblick über die Datenfiles nicht zu verlieren. Die Textfiles standen zur Verfügung, um im Anschluss die Auswertung über das eigens geschriebene Matlab Programm zu bewerkstelligen.

Auf Abb. 4.15 (rechts) ist ersichtlich, wie alle Kabel aus der Maschine in die Schnittstelle gelangen und an den PC weiterübermittelt werden.



**Abb. 4.15** Die Schnittstelle für die gemessenen Daten und ihre Verkabelung

Im Anschluss wird **ein Beispiel** eines Tests mit folgendem Diagramm Abb. 4.16 illustriert. Es ist der Verlauf der Kraftaufnahme direkt von der Maschine (blau), als auch die Temperatur im Werkstück (rot) ersichtlich. Auch die Temperatur des Mediums (grün) wurde bei diesem Testlauf ermittelt. Hier wurden 6 Prüflinge mit einer Coolgrind Scheibe von Rappold Winterthur bearbeitet, die Bezeichnung OH 3454 bezieht sich auf das verwendete Medium. Gut ersichtlich ist bei diesem Beispiel, dass die Prüflingstemperatur vom ersten bis zu sechsten Werkstück stetig gestiegen ist, auch die Varianz der Kraftaufnahme ist größer geworden, was auf den Verschleiß bzw. auf eine zugesetzte Schleifscheibe schließen lässt. Die Zustellung 1 und 2 bezeichnet das Schruppen mit geringerer Materialabnahme und das darauffolgende Schlichten mit einem größeren Abtrag an Material, da in den Rohstab tiefer zugestellt wird. Beim Schruppen und Schlichten wurde jeweils mit 3 Millimeter zugestellt.



**Abb. 4.16** Beispieldiagramm der erhaltenen Messwerte

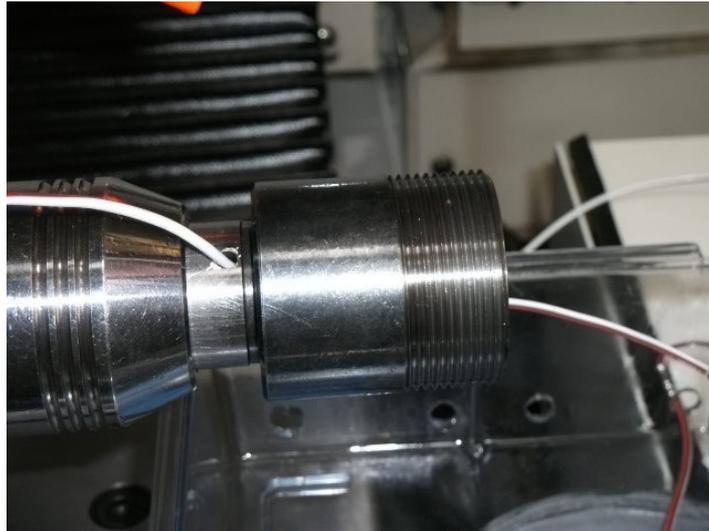
Auch die Thermokamera mitsamt Videoaufzeichnung und das Stroboskop bilden einen Teil des Prüfaufbaus und folgendes Bild 4.17 soll veranschaulichen wie diese aufgestellt bzw. positioniert wurden.



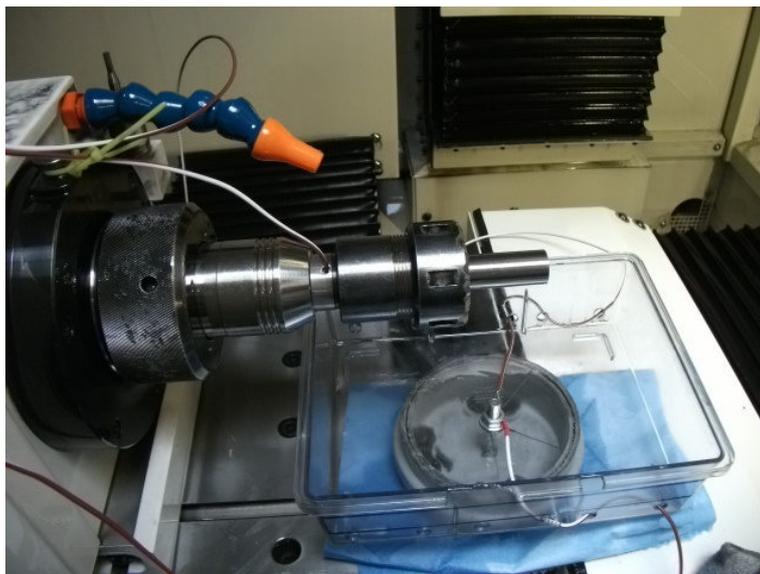
**Abb. 4.17** Aufbau von Thermokamera und Stroboskop

***Wie wurde die Temperatur im Werkstück und in der KSS-Wanne gemessen?***

Es wurden Hartmetallprüflinge verwendet, welche mit einer zentral vorgefertigten Bohrung ausgestattet waren. In diese Bohrung wurden die Thermoelemente (PT100) eingeführt und zusätzlich mit einer gut leitenden Paste ausgefüllt. Die eigens angefertigte Vorrichtung zur Aufspannung des Prüflings beinhaltet Bohrungen aus welchen die Verkabelung zur Schnittstelle geführt werden können. Auch über diese Bohrung gelangt die Leitung zur Kühlschmierstoffwanne. Folgende Bilder sollen dies verständlich veranschaulichen.



**Abb. 4.18** angefertigte Aufnahme mit Leitungsbohrungen ohne Prüfling



**Abb. 4.19** fertig aufgespannter Prüfling mit darunterliegender Kühlschmierstoffwanne, beides mit Thermoelementen ausgestattet

Nachdem sich der Prüfling nur in geringem Maße für die jeweilige Nutbearbeitung jeder Schneide drehen muss, kommt es zu keiner starken Verwindung der Leitungen.

#### 4.7 Der Verschmutzungsgrad

Es wurde der Verschmutzungsgrad innerhalb des Bearbeitungsraums dokumentiert und daraus eine Bewertung durchgeführt. Jede Schleifscheibe mit der jeweiligen Kombination des Kühlschmiermittels hat unterschiedliche Verschmutzungen hervorgerufen. Eine wesentliche Aufgabe des Mediums ist auch, wie bereits erwähnt, die Auswaschung des abgetragenen Werkstoffs, als auch der Bearbeitungsrückstände der Schleifscheibe. Nicht nur wegen gesundheitlich gefährdenden Aspekten der Hartmetallpartikel, auch bearbeitungstechnisch leidet der Schleifprozess darunter. Sehr schön war dies am Gehäuse der Werkstückaufnahme, als auch an der Verschalung innerhalb des Bearbeitungsraums, ersichtlich.

Ein wesentlicher Grund für den Verschmutzungsgrad innerhalb des Bearbeitungsraums stellt die **Verdampfungsneigung** des jeweiligen Mediums dar. Das heißt, ab welcher Temperatur das Medium verdampft. Die Höchsttemperatur des eingespülten Mediums wird natürlich beim Bearbeitungskontakt, Schleifscheibe zu Prüfling erreicht. Der Dampf nimmt die Schmutzpartikel auf und setzt sich an den Maschinenteilen ab. Natürlich beseitigt einen Teil der Verschmutzung auch eine eventuell installierte Absaugeinrichtung innerhalb des Bearbeitungsbereichs der Maschine. Wie bereits erwähnt, haben sich in der Praxis Luftfiltersysteme mit Prallblechen und Filtermatten sowie elektrostatische Filtersysteme mit zusätzlicher Aktivkohlefilterung bestens bewährt. Der Verdampfung kann jedoch auch durch bereits beschriebene „Antinebeladditive“ entgegen gewirkt werden!



**Abb. 4.20** Verschmutzung im Bearbeitungsraum mit Coolgrind Scheibe

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12
CW RWT	3	3	3	4	4	5	4	3	3	5	3	4
CW OH	3	3	2	3	3	4	3	3	3	4	3	3
Tesch	4	3	3	5	4	5	3	4	3	4	4	4
Dr.Müller	3	2	1	3	3	4	2	3	2	4	3	3
Riegger	4	3	3	5	5	5	4	5	3	5	5	4
Bewertung	3,4	2,8	2,4	4	3,8	4,6	3,2	3,6	2,8	4,4	3,6	3,6

**Tab. 4.3** Auswertung des Verschmutzungsgrades aller Kombinationsmöglichkeiten

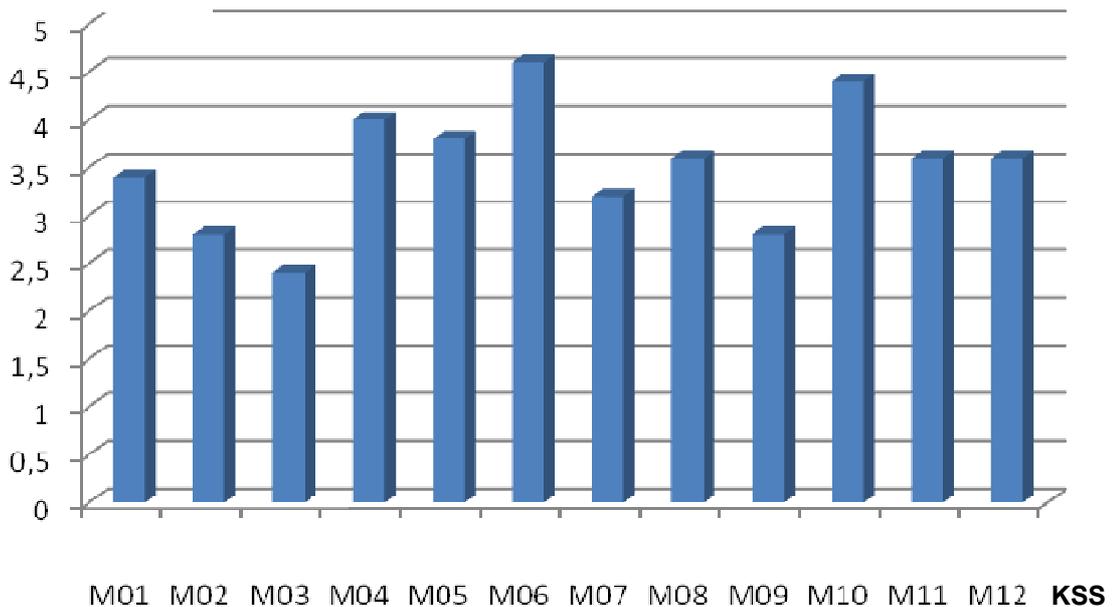
Die Bewertung wird mit den Noten **1** (geringe Verschmutzung) bis **5** (starke Verschmutzung) durchgeführt. Anschließend wurde zu jedem Medium (M\_) die Bewertung aller Scheiben, über das arithmetische Mittel bestimmt.

**Fazit:**

Die Auswertung zeigt, dass die Kombination des Öls M03 (Sintogrind) mit den verwendeten Schleifscheiben, den geringsten Verschmutzungsgrad aufweist. Generell wäre zu erwähnen, dass es keine Kombinationsmöglichkeit gab die herausragende Verschmutzungseigenschaften zeigte. Die gesamten Auswertungen liegen bis auf die Medien M6 und M10 im Mittelfeld. Verbesserungspotential im Bereich der Auswaschung des abgetragenen Werkstoffs, als auch der Bearbeitungsrückstände der Schleifscheibe, sind gegeben.

Nachfolgendes Diagramm laut Abb. 4.21 soll grafisch verdeutlichen, wie zusammenfassend alle Medien in Bezug auf die Verschmutzungsneigung abgeschnitten haben.

**Bewertung**

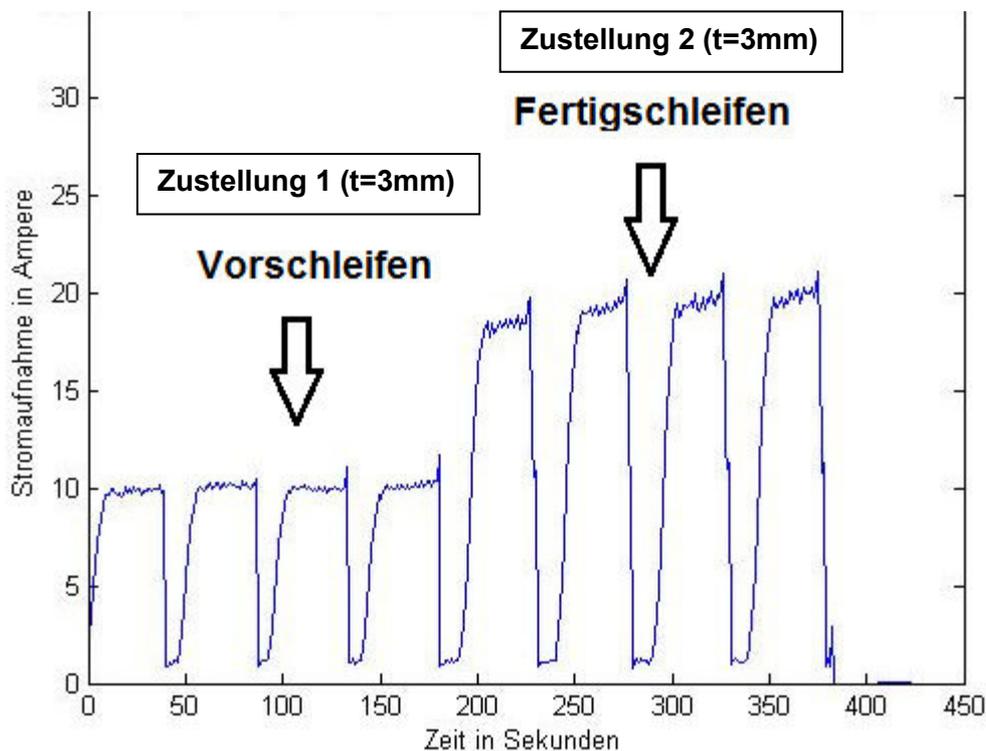


**Abb. 4.21** Zusammenfassung der Verschmutzungsgrade

- 
- [5] H.-D. Dobler, W. Doll, und U. Fischer, "**Fachkunde Metall [Hauptw.]**". Haan-Gruiten: Verl. Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer, 2010. **Seite 483, 484, 485, 486**
- [6] Prof. Heinrich Hochleitner, "**Skriptum Fluidtechnik 1**". 2010. **Seite 37, 154, 187 155, 156**
- [11] **Vomat Filtersysteme**, "FA 120 - 420 System". [Online]. Available: <http://www.vomat.de/Produkte/FA%20Anlagen/FA%20120%20-%20420/FA%20120%20-%20420%20FA%20System%20dt.htm>. [Accessed: 22-Juli-2012].
- [12] **Walter Machines**, „WALTER - Helicheck - Walter Machines“. [Online]. Available: <http://www.walter-machines.com/de/produkte/messen/helicheck-basic-2.html>. [Accessed: 22-Juli-2012].
- [13] „**Thermografie Technik Wärmebildkamera**“. [Online] Available: <http://www.lamerselectronic.de/thermorent/technik.html>. [Accessed: 22-Juli-2012].

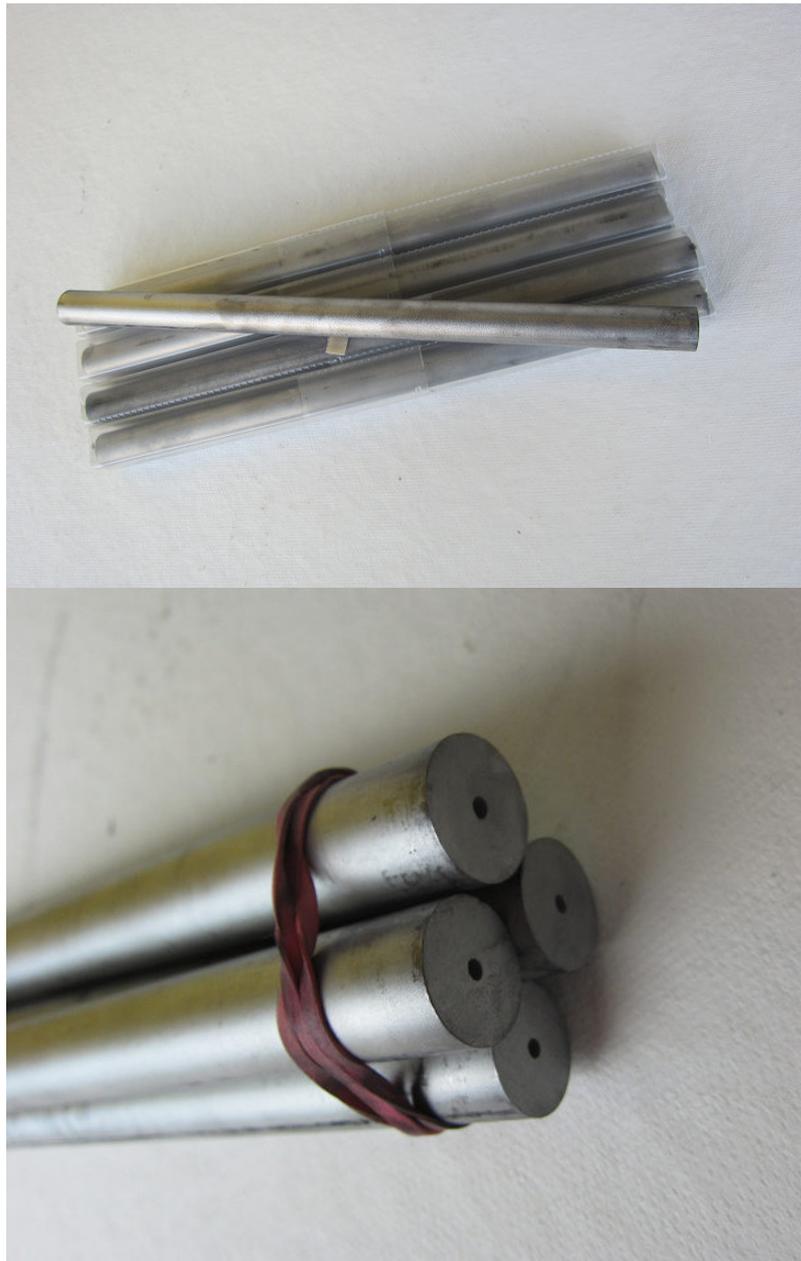
## 5 Der Hartmetallprüfling

Die für die Testzwecke hergestellten Hartmetallprüflinge sind Stirnfräser mit 4 Nuten. Jeder Schleifvorgang beinhaltet das Vorschleifen aller 4 Nuten und das darauffolgende Fertigschleifen. Dies ist anhand folgendem Matlab Auswertungsdiagramm Abb. 5.1 ersichtlich. Geringere Amperebelastung beim Vorschleifen, danach höhere Belastung beim Fertigschleifen.



**Abb. 5.1** Illustration der Nutenbearbeitung

Die Rohlinge wurden von der Firma Böhlerit und Ceratizit angekauft und verfügen über eine zentrische Innenbohrung, zur Erzeugung von innengekühlten Fräserwerkzeugen. Weiters wurde diese Bohrung auch in unserer Testreihe genutzt um Thermolemente zur Messung der Temperatur im Prüfling anzubringen. Um eine Gleichmäßigkeit bzw. keine Meßunterschiede zu erzielen, werden die Thermolemente immer auf ein bestimmtes Maß eingebracht.



**Abb.5.2** Angelieferte Rohlinge  $d=20\text{mm}$  mit Kühlbohrung der Firma Böhlerit

Die Rohstablänge beträgt 312 oder 330mm, abweichend vom Hartmetallzulieferer (Böhlerit oder Ceratizit), mit einem Durchmesser von 20mm. Die Innenbohrung zur Kühlung hat einen Durchmesser von 3mm. Nach der Anlieferung wurden die Hartmetallstäbe in einer Trennmaschine der Firma Ihle (pro Stab 3 Prüflinge) auf Maß getrennt und für den Schleifprozess fertig vorbereitet. Der fertig getrennte Rohstab hat vor dem Einspannen in die Schleifmaschine eine Länge von 104 oder 110mm, wiederum je nach Zulieferer. Die fertig geschliffene Schneidenlänge beträgt 38mm (siehe Abb.5.3).



**Abb. 5.3** Geschliffene Prüflinge mit darauffolgendem Gewichtsvergleich mittels Feinwaage der Firma Rauch

Weiters wurde, wie in Abb. 5.3 rechts ersichtlich, jeder fertig geschliffene Fräser per Feinwaage gewogen. Geringfügige Abweichungen wurden bei jeder Schleifpaarung festgestellt und protokolliert. Das erreichte Zerspanvolumen von Rohstab zu Endstab, konnte mittels der Feinwaage genauer betrachtet werden. Auch ein Vergleich konnte somit durchgeführt werden. Aber nicht nur der Prüfling wurde gewogen, auch die Schleifscheibe vor und nach der Bearbeitung wurde näher untersucht.

### 5.1 Die Hartmetallherstellung (HM- Herstellung)

Hartmetall (HM) besteht aus Wolfram, Tantal, Niob, Vanadin- und/oder Chromkarbiden als Hartstoffphase als auch Kobalt und/oder Nickel als Bindephase. Alles zusammen ist ein pulvermetallurgisch hergestellter Verbundwerkstoff. Praxisnahe sind HM mit Wolframkarbiden als Hartstoffphase und Kobalt als Bindephase.

Zur Erzeugung wird Wolframkarbidpulver benötigt, welches aus wolframhaltigen Erzen wie z.B. Wolframit und Scheelit gewonnen wird. Um Wolframpulver zu erhalten werden die Erze in eine oxidische Form überführt und bei 800- 1000°C unter Zugabe von Wasserstoff zu Wolframpulver reduziert.

## Der Hartmetallprüfling

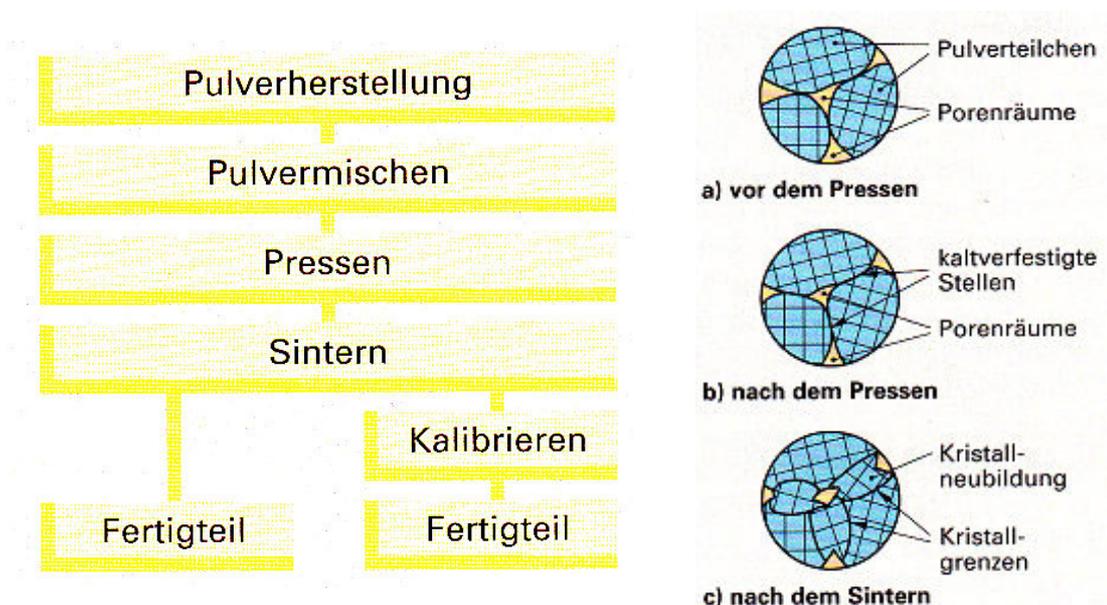
Danach wird das Wolframpulver mit Ruß oder Graphit mittels Karburierung zu Wolframkarbidpulver. Die Herstellung von Kobaltpulver erfolgt durch Wasserstoffreduktion der entsprechenden metallischen Oxide.

Um unterschiedlichste Qualitäten und verschiedene Varianten (siehe Abb. 5.6) der Feinkörnigkeit und Reinheit der HM hinsichtlich der Pulver zu gewährleisten, werden die Pulver der Hartstoff- und Bindephase entsprechend eingewogen und homogen vermischt. Bei der Nassmahlung der Pulvermischung erfolgt eine Zerkleinerung und Zertrümmerung aller Komponenten, um diese gleichmäßig und intensiv zu durchmischen. Das anschließende Sprühtrocknen dient der Trocknung und Granulatherstellung der Pulversuspension. Die verschiedensten Endformen (Rundform, Eckform...) erhält man mit der Verpressung des granulierten Pulvergemisches zu Preßlingen. (siehe Abb. 5.5)

Der eigentliche Arbeitsschritt um HM zu erhalten wird durch Sintern des Preßlings erreicht. Hier erhält man die charakteristischen Festigkeitseigenschaften.

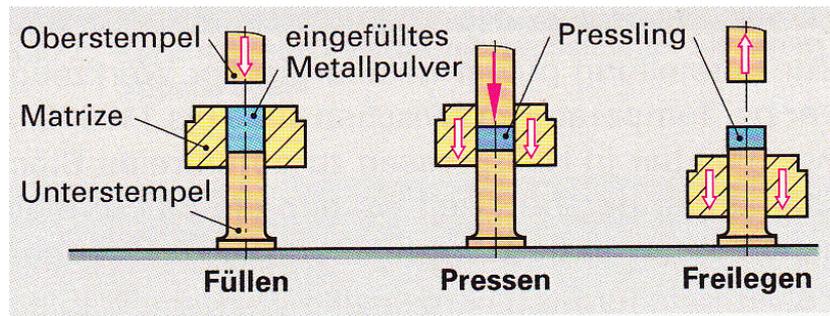
Sämtliche Absätze aus 5.1 vgl. [14]

Sintern ist das Glühen von gepressten Metallpulvern, bei dem durch Diffusion und Rekristallisation ein zusammenhängendes Gefüge entsteht. [5] (siehe Abb. 5.4)



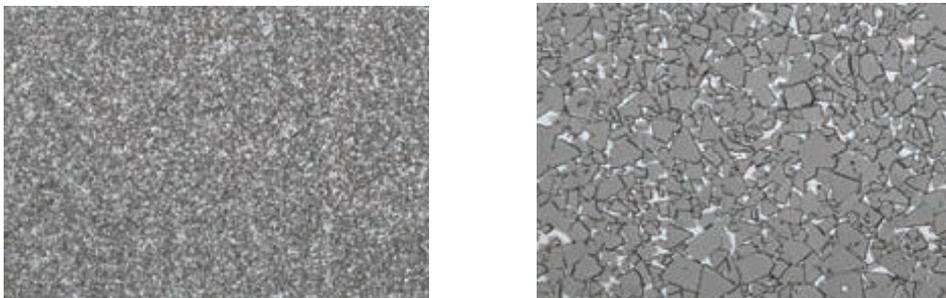
**Abb. 5.4** Fertigungsstufen beim Sintern und kristalline Vorgänge [5]

## Der Hartmetallprüfling



**Abb. 5.5** Pressen des Pulvers zu Preßlingen [5]

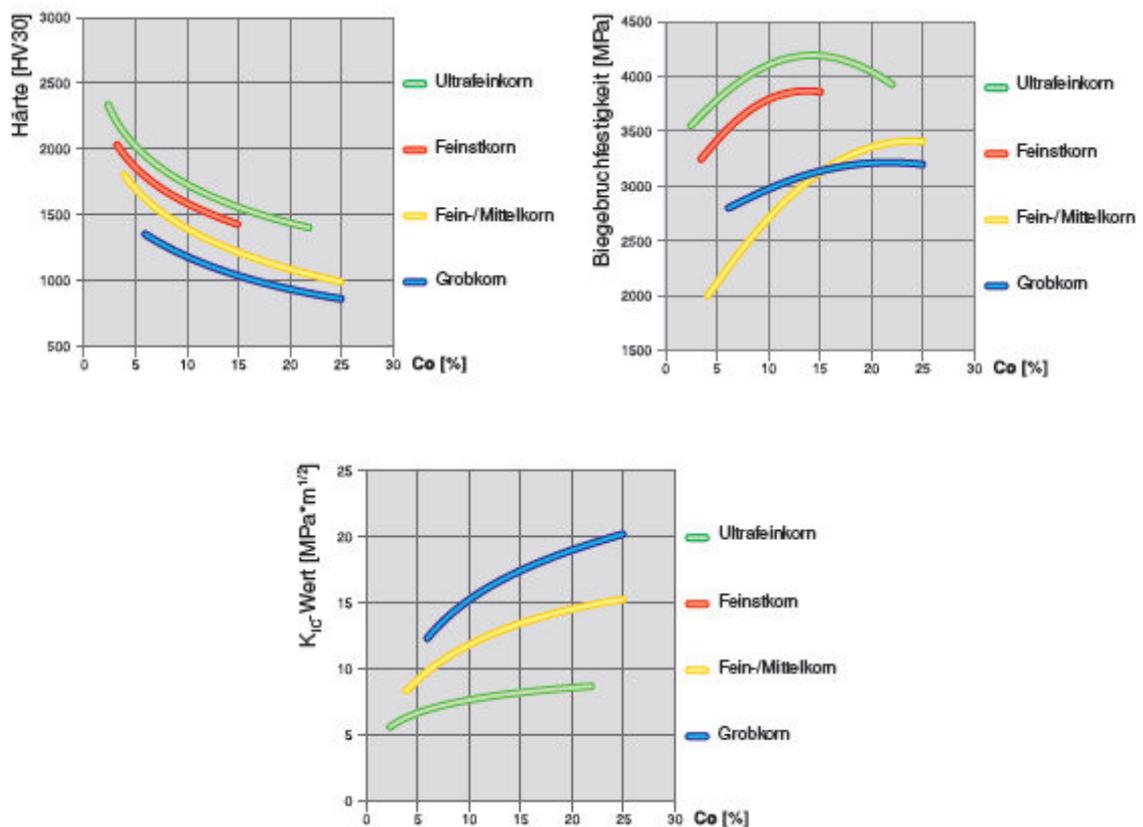
## 5.2 Der Aufbau und die Eigenschaften von Hartmetall



**Abb. 5.6** Der Unterschied von HM, REM-Aufnahmen Fein- zu Grobstruktur [15]

Man sieht in Abb. 5.6 die Rasterelektronenaufnahmen zweier komplett unterschiedlicher Hartmetalle. Die Einsatzgebiete verschiedener HM werden durch ihren Aufbau und ihrer Zusammensetzung vorgegeben. Der Gefügebau ist durch den Verbund aus Hartstoffphase (Wolframkarbide) und metallischen Bindern (Kobalt) gekennzeichnet. In der Aufnahme (Abb. 5.6) sieht man die hellen Abgrenzungen als die Bindephase und die dunklen Kristalle als die Hartstoffphase.

Folgende Diagramme (Abb. 5.7) wurden von der Hartmetallfirma Ceratizit veröffentlicht und charakterisieren die wichtigsten Eigenschaften von Hartmetallen. Je nach Aufbau des HM besitzt es unterschiedlichste Eigenschaften. Es wird bei den Diagrammen unter den Kobaltanteilen (Binder) die Härte (Vickershärte HV), die Biegebruchfestigkeit (MPa) und die Bruchzähigkeit als der kritische Spannungsintensitätsfaktor  $K_{Ic}$ - Wert verschiedenster Korngrößen aufgetragen.



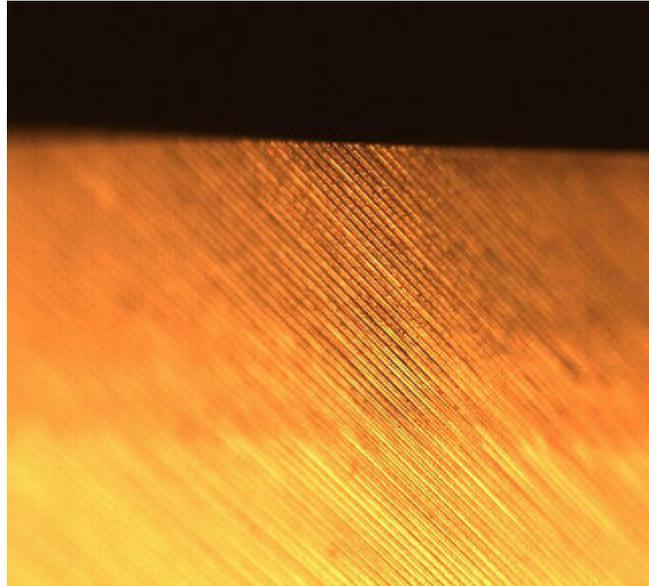
**Abb. 5.7** Härte, Biegebruchfestigkeit und Bruchzähigkeit von Hartmetallen [14]

Je nach Verwendungszweck der Hartmetallwerkzeuge wählt man beim Hartmetallhersteller die geeigneten Eigenschaften. Die hier verwendeten Fräserwerkzeuge weisen ein Mittelmaß aus Härte, Zähigkeit und Festigkeit auf, um die Standzeiten der Werkzeuge zufriedenstellend zu gewährleisten.

### 5.3 Die Hartmetallschneide

Die Prüflinge bzw. die fertig geschliffenen Schneiden wurden unter dem Mikroskop näher untersucht (siehe Abb.5.8). Aufgrund der Schleifbearbeitung soll es zu keinen Ausbrüchen kommen, welche eine Minderung der Qualität des Werkstücks hervorrufen. Das ist nur möglich, wenn die Paarung Schleifscheibe zu Kühlschmierstoff zusammenpasst.

Ein Beispiel für eine perfekte Schneidenausbildung nach dem Schleifen zeigt folgende Mikroskopaufnahme in Abb. 5.8. Die Aufnahme stammt von einer Schleifbearbeitung eines HM- Prüflings mit einer Coolgrind Schleifscheibe.



**Abb. 5.8** Schneide eines Prüflings unter dem Mikroskop

Die minimalen Bearbeitungsriefen aufgrund des Schleifvorganges auf Abb.5.8 sind eindeutig ersichtlich. Die Schneide weist keine Ausbrüche auf und hat eine gerade Kontur, dieses Gesamtschleifbild des Fräsers ist vorbildlich und von höchster Qualität. Daher ist die Leistungsfähigkeit und Funktion des Fräsers mit Sicherheit gewährleistet.

Für die Charakterisierung der Ausbrüche an der Schneidkante gibt folgende Gleichung einen Zusammenhang mittels maximaler Schartentiefe  $R_{s,max}$  an.

$$R_{s,max} \approx \frac{1}{\sin\beta} h_{cu} \quad (5.1)$$

Die Ausbildung der Schartentiefe an der Schneidkante hängt direkt von der mittleren Spannungsdicke  $h_{cu}$  am einzelnen Schneidkorn und den Keilwinkel  $\beta$  der geschliffenen Schneide ab.

Je größer die Spanungsdicke beim Schleifprozess, bei gleichbleibender Geometrie ist, desto größer werden die Beschädigungen an der Schneidkante. [14]

---

- [5] H.-D. Dobler, W. Doll, und U. Fischer, "**Fachkunde Metall [Hauptw.]**". Haan-Gruiten: Verl. Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer, 2010. **Seite 263**
- [14] J. Maldaner, "**Dissertation: Verbesserung des Zerspanverhaltens von Werkzeugen mit Hartmetall-Schneidelementen durch Variation der Schleifbearbeitung**" Kassel: Kassel Univ. Press, 2008. **Seite 12, 27**
- [15] Fachblatt der Firma Ceratizit, „**Hartmetall für Präzisionswerkzeuge**“. **Seite 14**

## **6 Auswertung der Messdaten**

Bei den Versuchen wurde jede Schleifscheibe mit jedem Öl kombiniert. Um so einen Umfang transparent zu machen und herauszufiltern welche Kombination welche Vorteile bringt, wurde das Programm Matlab verwendet, welches große Datensätze einfach durchrechnet und dementsprechend gut grafisch darstellen kann.

Näher betrachtet wurden die notwendige Energieaufnahme zur Zerspanung, die Standardabweichung als auch die Temperaturentwicklung im Prüfling.

Bei der Auswertung der Stromaufnahme wurden die Files von jedem Prüfling eingelesen und über statistische Aussagen des Mittelwerts bzw. der Standardabweichung im Amperebereich interpretiert. Die Standardabweichung betrachtet immer alle Tests mitsamt den erhaltenen Messdaten bei Stillständen. Die Zerspanungsleistung involviert immer nur fertiggeschliffene Prüflinge, bei Stillständen wurden diese Prüfdaten herausgefiltert.

Um eine aussagekräftige Auswertung der Temperaturentwicklung im Prüfling bei jeder Paarung zu erhalten, wurden eine Maximaltemperaturauswertung und ein Korrelationsvergleich, welcher die Temperaturverläufe zu der derzeitig benötigten Stromaufnahme vergleicht, durchgeführt.

Der Ablauf der Auswertung wird zu Beginn parallel zu der theoretischen Erklärung der statistischen Methoden vorgenommen. Der Vergleich und das Endresümee aus allen erhaltenen Auswertungsergebnissen werden zum Schluss dieses Kapitels gezogen.

### **6.1 Grundlagen der statistischen Methoden**

#### **6.1.1 Kennwerte**

Man unterscheidet Lagekennwerte und Streuungskennwerte. Die beiden wichtigsten Lagekennwerte sind das arithmetische Mittel sowie der Median oder Zentralwert.

## Die Auswertung

*Arithmetisches Mittel:*

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (6.1)$$

*Median:*

Um einen Median aus einer Wertemenge zu erhalten, ordnet man die Stichprobenwerte  $n$  der Größe nach. Bei ungerader Anzahl  $n$  ist der Median der Wert genau in der Mitte, bei gerader Anzahl ist der Median das arithmetische Mittel der beiden in der Mitte befindlichen Werte.

Die Streuung um den Mittelwert wird als Standardabweichung  $s$  bezeichnet, ihr Quadrat als Varianz  $s^2$ .

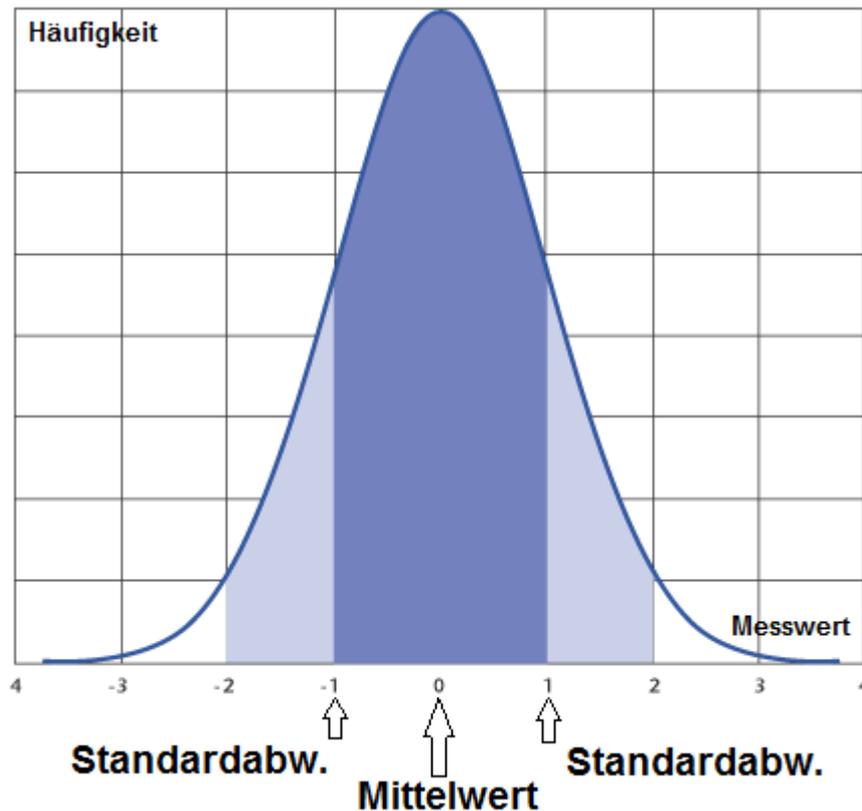
*Standardabweichung:*

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \times \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (6.2)$$

Ein weiterer Streuungskennwert ist die Spannweite  $R$ . Sie ist die Differenz aus dem größten und kleinsten Stichprobenwert.

*Spannweite:*

$$R = X_{max} - X_{min} \quad (6.3)$$



**Abb. 6.1** Normalverteilung von Meßwerten mit den wichtigsten Kennwerten

Die Dichte der Meßwerte kann nur beim Vorliegen einer **Normalverteilung** durch eine **Gaußsche Glockenkurve** (Abb. 6.1) zum Ausdruck gebracht werden. Es werden alle erhaltenen Messwerte über die absolute Häufigkeit aufgetragen. Der Mittelwert kennzeichnet die Stelle der größten Dichte an Messwerten und ist somit der wünschenswerte Erwartungswert. Die Standardabweichung (dunkelblauer Bereich) ist der Abstand der Wendepunktstelle zum Mittelwert und ist umso größer, desto mehr die Messwerte um den Erwartungswert streuen.

Sämtliche Absätze aus 6.1.1 vgl. [16]

### 6.1.2 Beschreibende Statistik: Zerspanungsenergie, Standardabweichung, Temperatúrauswertung und Korrelation

#### Auswertung von Zerspanungsenergie u. Standardabweichung:

Betrachtet man sich die Datenfiles (Textfiles) der erhaltenen Messwerte, so erkennt man eine Masse an Daten, welche man graphisch interpretieren bzw. „beschreiben“ möchte.

## Die Auswertung

Matlab ermöglicht es, große Datenmengen in Matrizenform zu berechnen und zu analysieren. Die zugrunde liegenden .txt- Files mit enormen Datenumfang bieten sich an, um Matlab zu verwenden (siehe Abb.6.3). Die Daten werden von dem vorher programmierten Programm eingelesen und mittels AusgabepLOTS genauer beleuchtet bzw. „beschrieben“. Wie bereits erwähnt wird der Mittelwert der eingeschlossenen Flächen aller Prüflinge d.h. die Zerspanungsenergie, sowie die Standardabweichung davon berechnet.

Alle Datenfiles listeten Temperaturmessungen sowie Stromaufnahmen, betrachtet man einen fixen Punkt in einem Plot und erhält dadurch die gerade benötigte Stromaufnahme  $I$  [Ampere], so wird bei weiterer Multiplikation mit der Spannung  $U$  [Volt] der Schleifspindel, die Zerspanungsleistung laut *Formel 6.5* beschrieben. Die Zerspanungsleistung bedeutet, welche Leistung notwendig ist, um den Abtrag des Materials zu gewährleisten. Die benötigte Vorschubleistung ist vernachlässigbar klein. Da sich die Spannung nicht über die Zeit ändert, ist sie als Konstante neben der errechneten Stromaufnahme heranzuziehen. Die erhaltene Stromaufnahme ist jedoch bei der Gesamtbetrachtung eines Schleifzyklus von der Bearbeitungszeit abhängig. Das Integral über die Stromaufnahme  $I$  [A] der ausgewerteten Plots, in Abhängigkeit von der Zeit  $t$  [sec], spiegelt bei weiterer Multiplikation mit der Spannung  $U$  [V] die notwendige Energie  $E$  [Ws] laut *Formel 6.4*, zur Bearbeitung wieder (siehe auch Abb.6.2). Die Standardabweichung gibt Auskunft darüber, wie groß die Schwankungen der Stromaufnahme und die Drehzahlschwankungen der Schleifscheibe sind. Natürlich bedeuten starke Schwankungen eine unbefriedigende Schleifscheiben/ Kühlschmierstoff Kombination, es ist aber auch das Ergebnis einer zugesetzten Schleifscheibe. Ein ruhiger Lauf ist eine Grundanforderungen für ein gutes Schleifbild. Die genauen Vergleiche der erhaltenen Daten wurden in Excel mittels Diagrammen ausgewertet.

*Benötigte Zerspanungsenergie entspricht der eingeschlossenen Fläche der Stromaufnahme, siehe auch auf Abb.6.2:*

$$E = \int_0^t U \times I(t) dt \quad [\text{Ws}] \quad (6.4)$$

*Die elektrische Leistung  $P$  = Zerspanungsleistung:*

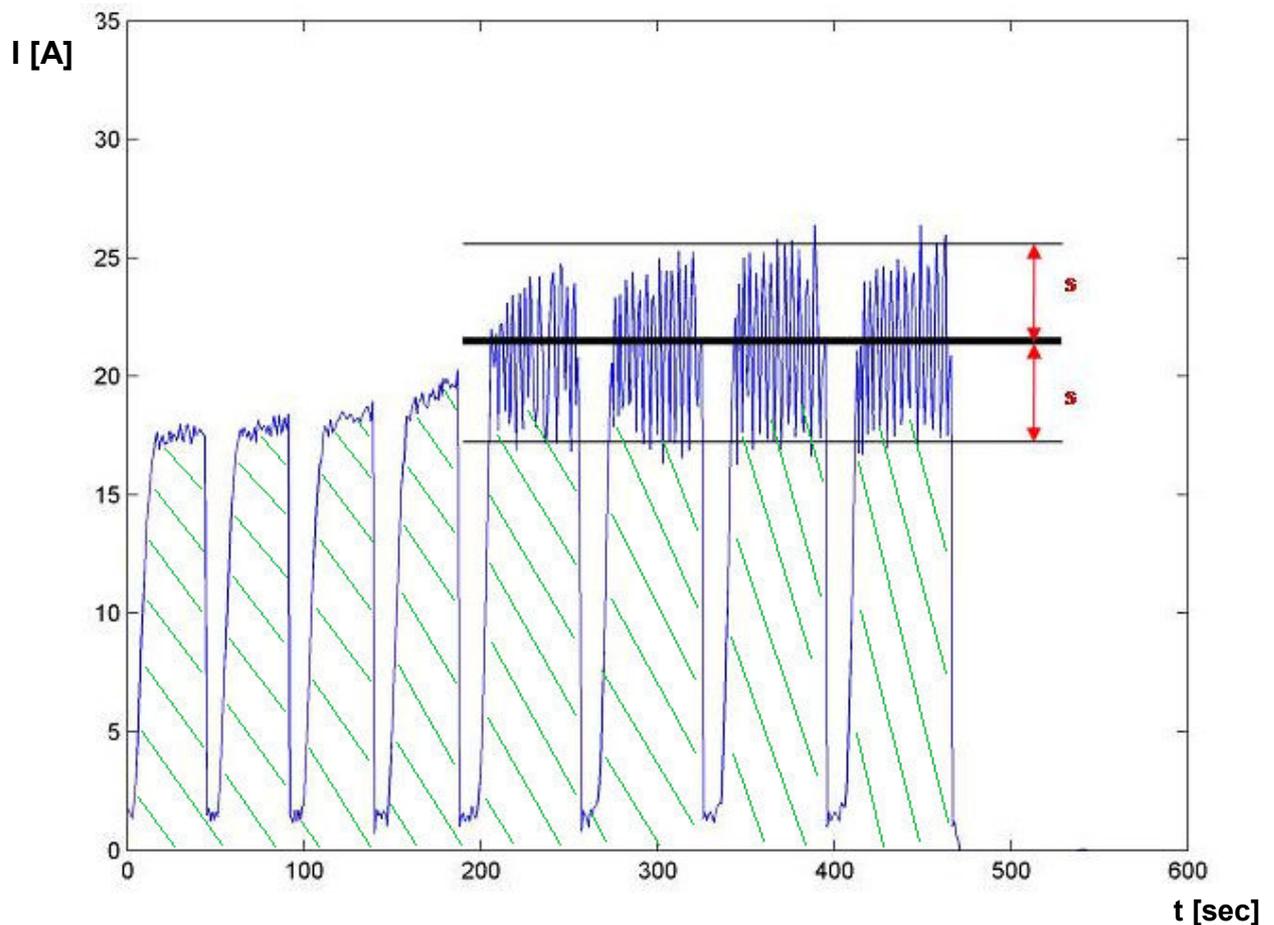
$$P = U \times I \quad [\text{Watt}] \quad (6.5)$$

## Die Auswertung

Grundlegendes zu den Tests:

Für jedes Öl wurden alle 5 Diamantschleifscheibentypen der Testreihe getestet. Für jede Scheibe standen 6-7 Hartmetallprüflinge zu Verfügung. Es kam des Öfteren zu Notabschaltungen der CNC- Schleifmaschine (Maximalwert 30 Ampere), dann wurde entweder die Schleifscheibe per Bindungsstein behandelt und weitergetestet, oder es wurde die Testreihe aufgrund der schlechten Kombinationsmöglichkeit (Schleifscheibe/Öl) abgebrochen.

Abb. 6.2 soll anhand eines Auswertungsplots genauer die Zerspanungsenergie (eingeschlossene Fläche) und die Standardabweichung illustrieren.



**Abb. 6.2** Standardabweichung und Zerspanungsenergie

Die nachfolgenden Abbildungen sollen den Weg von einem Textfile bis hin zu einer aussagekräftigen grafischen Auswertung zeigen. Weiters wird dazwischen kurz die Aussagekraft unterschiedlicher Ergebnisse anhand von Matlabplots erläutert.

## Die Auswertung

Datum	Zeit	...	...	...	...	...	...
15.09.2011	17:21:24.407	30.20844	26.70081	28.19769	25.82388	1.069558	12.42954
15.09.2011	17:21:25.407	30.05739	26.43361	27.98859	25.63375	1.547489	12.42202
15.09.2011	17:21:26.407	29.67312	26.20984	27.82384	25.45205	2.248174	12.49283
15.09.2011	17:21:27.407	29.8843	26.03599	27.65413	25.33544	3.15515	12.71216
15.09.2011	17:21:28.407	29.79986	25.80646	27.42106	25.24756	4.055699	12.95267
15.09.2011	17:21:29.407	29.76523	25.67876	27.27269	25.18326	4.861475	13.21903
15.09.2011	17:21:30.407	29.68176	25.53889	27.10293	25.10713	5.395826	13.36891
15.09.2011	17:21:31.407	29.44729	25.21198	26.74465	24.95519	6.262109	12.70115
15.09.2011	17:21:32.407	29.57741	25.35742	26.84404	25.01723	6.244513	13.63996
15.09.2011	17:21:33.407	29.44729	25.21198	26.74465	24.95519	6.262109	12.70115
15.09.2011	17:21:34.407	29.39886	25.24642	26.71644	24.93778	6.832048	13.78311
15.09.2011	17:21:35.407	29.33583	25.20613	26.72028	24.91429	6.882732	13.85857
15.09.2011	17:21:36.407	29.2707	25.17352	26.73595	24.87442	6.90307	13.85482
15.09.2011	17:21:37.407	29.25807	25.14488	26.82064	24.87929	7.040806	13.8958
15.09.2011	17:21:38.407	29.14441	25.11975	26.90622	24.85536	7.007571	13.89811
15.09.2011	17:21:39.407	29.20875	25.09003	27.05974	24.85599	6.992359	13.91537
15.09.2011	17:21:40.407	29.43353	25.06668	27.23989	24.8609	7.114062	13.91474
15.09.2011	17:21:41.407	29.24739	25.0372	27.411	24.83806	7.22576	13.91132
15.09.2011	17:21:42.407	29.2918	25.02209	27.69249	24.84888	7.068103	13.89688
15.09.2011	17:21:43.407	29.23523	25.00033	27.94077	24.84992	7.13581	13.89831
15.09.2011	17:21:44.407	29.13388	24.98292	28.21762	24.8389	7.378442	13.98993
15.09.2011	17:21:45.407	29.17314	24.97533	28.60796	24.84644	7.157586	13.92195
15.09.2011	17:21:46.407	29.20547	24.96902	28.84667	24.82908	7.4864	14.00517
15.09.2011	17:21:47.407	29.22775	24.96846	29.34163	24.8418	7.405063	14.0021
15.09.2011	17:21:48.407	29.20688	24.9577	29.78582	24.84119	7.361238	14.07319
15.09.2011	17:21:49.407	29.14139	24.95002	30.30611	24.82168	7.306579	14.04248
15.09.2011	17:21:50.407	29.09987	24.94459	30.82336	24.83624	7.572756	14.04985
15.09.2011	17:21:51.407	29.02204	24.92723	31.33118	24.81274	7.574981	14.09532
15.09.2011	17:21:52.407	28.9273	24.91642	32.01989	24.81265	7.521994	14.15676
15.09.2011	17:21:53.407	28.86601	24.91642	32.66611	24.82089	7.615035	14.12107
15.09.2011	17:21:54.407	28.73132	24.91301	33.38986	24.80619	7.477112	14.1048
15.09.2011	17:21:55.407	28.70916	24.90933	34.23343	24.80847	7.426558	14.08234
15.09.2011	17:21:56.407	28.62737	24.87459	35.01796	24.77138	10.09961	15.4458
15.09.2011	17:21:57.407	28.59818	24.86796	35.90322	24.77592	10.32417	15.27592
15.09.2011	17:21:58.407	28.53281	24.87735	34.10222	24.79068	10.30037	15.27414
15.09.2011	17:21:59.407	28.49809	24.89209	38.9323	24.80264	8.478625	14.38096
15.09.2011	17:22:00.407	28.49329	24.88367	38.95587	24.8134	10.07634	15.05398
15.09.2011	17:22:01.407	28.44068	24.88006	41.03848	24.81742	8.560969	14.54955
15.09.2011	17:22:02.407	28.44377	24.87923	42.87073	24.83252	8.550849	14.83886
15.09.2011	17:22:03.407	28.43782	24.86827	45.07355	24.82819	9.81896	15.21159
15.09.2011	17:22:04.407	28.43782	24.86827	45.07355	24.82819	9.81896	15.21159
15.09.2011	17:22:05.407	28.40603	24.86687	46.90659	24.82997	1.068479	12.49515
15.09.2011	17:22:06.407	28.36099	24.85882	47.84621	24.81863	1.316424	12.54665
15.09.2011	17:22:07.407	28.35262	24.86008	47.94416	24.82851	1.128393	12.46522
15.09.2011	17:22:08.407	28.30814	24.85974	47.84621	24.83697	1.135161	12.49687
15.09.2011	17:22:09.407	28.22016	24.87511	46.29138	24.8668	1.295317	12.55813
15.09.2011	17:22:10.407	28.19288	24.87408	45.21774	24.89005	1.219955	12.53092
15.09.2011	17:22:11.407	28.15767	24.88108	43.7524	24.88867	1.180866	12.46566
15.09.2011	17:22:12.407	28.10884	24.87071	41.9917	24.87087	1.766361	12.46207
15.09.2011	17:22:13.407	28.11932	24.87624	40.33624	24.86928	2.323559	12.59014
15.09.2011	17:22:14.407	28.06785	24.86977	39.09811	24.83867	3.345776	12.69897
15.09.2011	17:22:15.407	28.03903	24.85903	37.92074	24.83624	4.436606	13.01493
15.09.2011	17:22:16.407	27.98825	24.83805	36.37366	24.8164	5.478874	13.27439
15.09.2011	17:22:17.407	27.89583	24.81623	35.20623	24.82023	6.189223	13.58989
15.09.2011	17:22:18.407	27.84327	24.81339	34.59883	24.80507	6.703142	13.78311
15.09.2011	17:22:19.407	27.75244	24.79902	33.19574	24.78631	7.159872	13.96704
15.09.2011	17:22:20.407	27.69811	24.78731	31.996	24.78497	7.555351	14.10473
15.09.2011	17:22:21.407	27.60631	24.77576	31.68277	24.78336	7.783949	14.17286
15.09.2011	17:22:22.407	27.489	24.77207	30.95066	24.76371	8.11152	14.22637
15.09.2011	17:22:23.407	27.46784	24.77884	30.43814	24.7799	7.985704	14.25372
15.09.2011	17:22:24.407	27.39071	24.76065	29.07604	24.76216	7.814266	14.27052
15.09.2011	17:22:25.407	27.36393	24.76486	29.30352	24.74756	8.000897	14.2461
15.09.2011	17:22:26.407	27.3593	24.77247	29.20322	24.76163	8.100096	14.26065
15.09.2011	17:22:27.407	27.3148	24.7642	28.9916	24.7419	7.996819	14.23126
15.09.2011	17:22:28.407	27.31504	24.76537	28.96652	24.74822	8.018724	14.27035
15.09.2011	17:22:29.407	27.28607	24.7672	28.91982	24.74455	7.887552	14.23619
15.09.2011	17:22:30.407	27.2596	24.76999	28.96049	24.7392	8.020663	14.22893
15.09.2011	17:22:31.407	27.26754	24.77455	29.08713	24.76173	8.180047	14.30332
15.09.2011	17:22:32.407	27.23923	24.77824	29.30266	24.75243	8.889378	14.25715
15.09.2011	17:22:33.407	27.23827	24.78475	29.80685	24.7865	8.258056	14.25472
15.09.2011	17:22:34.407	27.26788	24.79791	30.00017	24.7582	7.989234	14.27296
15.09.2011	17:22:35.407	27.27714	24.8055	30.20765	24.7808	7.866208	14.27879

Abb. 6.3 Auszug eines Textfiles mit gemessenen Daten

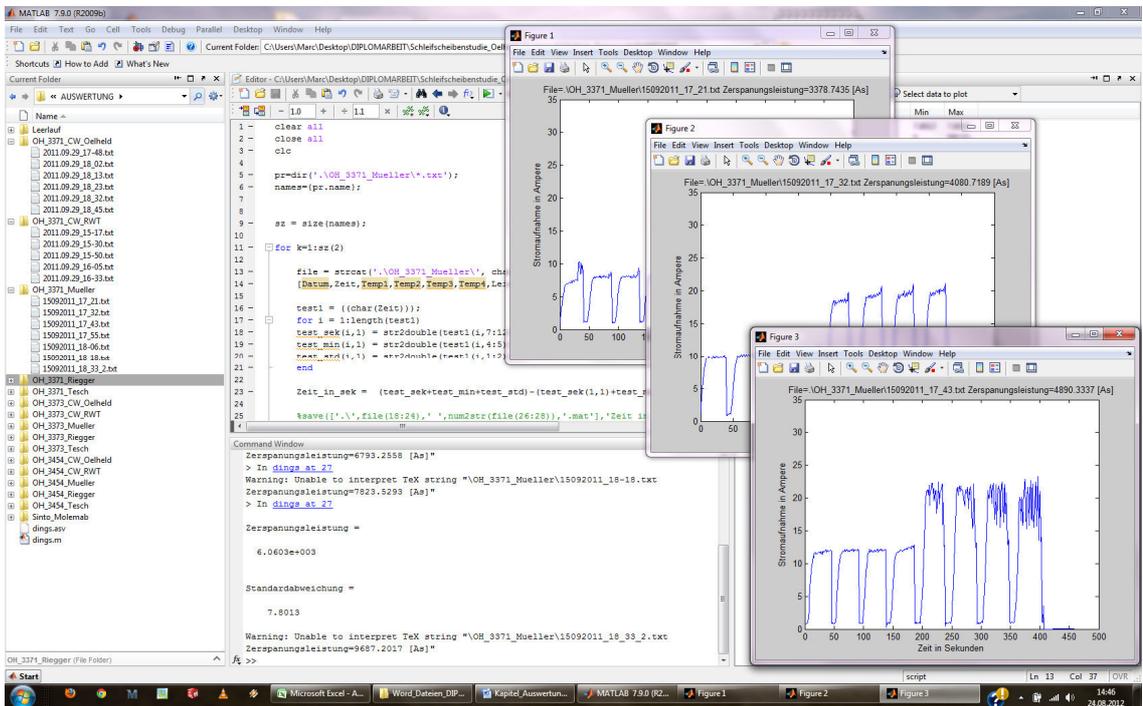
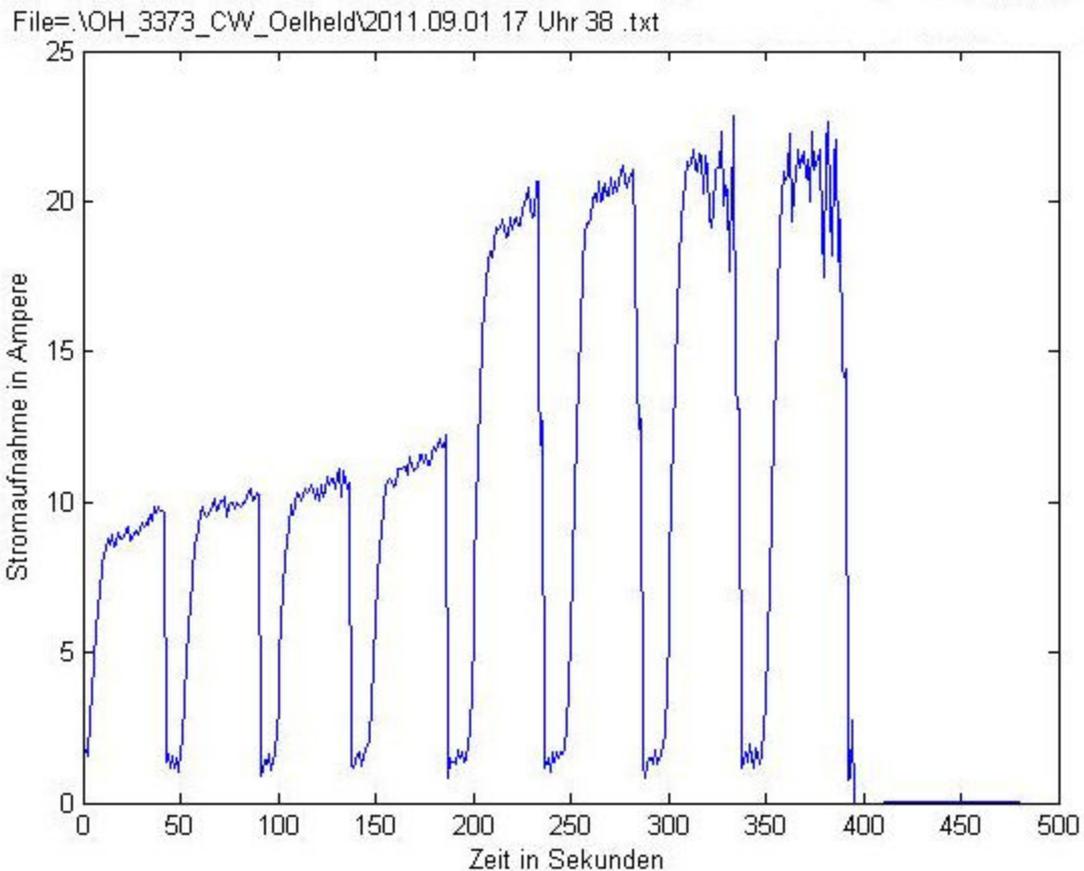


Abb. 6.4 Das Programm Matlab beim Einlesen der Textfiles und Ausgabe von Plots mitsamt Standardabweichung und Zerpanungsenergie

## Die Auswertung

### Beschreibung der Plots zweier völlig unterschiedlicher Ergebnisse:

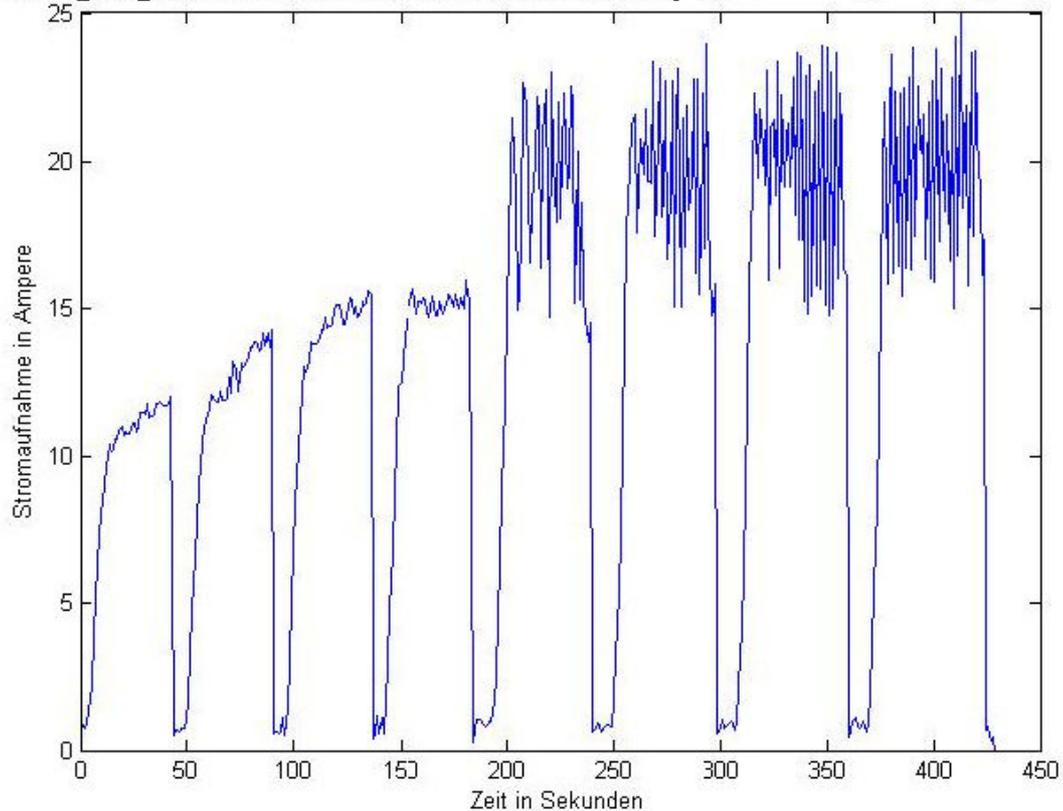
Beide Tests wurden mit demselben Öl durchgeführt. Der Vorschub der Schleifmaschine war stets gleich. Es wird die Schleifscheibe Coolgrind von Oelheld mit der Scheibe von Tesch unter Beibehaltung des Schmieröls verglichen. Auf der X-Achse in der folgenden Darstellung ist die Gesamtzeit des Testdurchlaufs aufgetragen, auf der Y-Achse die Stromaufnahme zur Schleifbearbeitung. Am Kopf des Diagramms ist das File ersichtlich, mit der jeweiligen Schleifscheiben-/Kühlschmierstoffkombination.



**Abb. 6.5** guter Verlauf von Coolgrind Oelheld und Medium OH3373

Auf Abb. 6.5 ist ersichtlich wie die ersten 4 Nuten des Hartmetallprüflings vorgeschliffen werden, dann kommt es zum Fertigschleifen der 4 Nuten. Der Ausschlag hält sich in Grenzen und garantiert somit eine stabile Schleifscheiben/Öl-Kombination.

File=:\OH\_3373\_Tesch\2011.08.25 17 Uhr 13 WZ-229 ohne Bohrung .txt

**Abb. 6.6** schlechter Verlauf von Tesch und Medium OH3373

Auf Abb. 6.6 ist der starke Ausschlag über die gesamte Bearbeitungsdauer aufgrund einer stark zugesetzten Schleifscheibe ersichtlich, dementsprechend ist diese Paarung Scheibe/Öl abzuraten. Wir befinden uns beim Fertigschleifen im knappen Maximalbereich von 30 Ampere, wo sich die Maschine notabschalten würde.

Die weitere Ausführung zu der beschreibenden Statistik sind ein Auszug aus mehreren Auswertungen und sie sollen die statistische Auswertungsmöglichkeit mit Excel aus einem Bereich der Arbeit visualisieren.

Die erhaltenen Daten von Matlab wurden in Excel weiterbehandelt und ausgewertet:

OH 3371	notw. Zerspanungsenergie gemittelt [Ws]	Standardabweichung [A]	Bemerkung
CW Oelheld	5463,4 x U	7,717	Test ok
CW RWT	7136,9 x U	8,333	A=1x
Dr. Müller	6060,3 x U	7,801	Test ok
Riegger	6943,1 x U	9,117	A=5x , B= 1x
Tesch	6722,4 x U	9,068	A=5x , B= 1x
OH 3373	notw. Zerspanungsenergie gemittelt [Ws]	Standardabweichung [A]	Bemerkung
CW Oelheld	6469,9 x U	8,41	Test ok
CW RWT	8286,1 x U	9,251	A=1x
Dr. Müller	5709,7 x U	7,48	Tests ok
Riegger	8230,3 x U	8,732	A=2x
Tesch	7192,6 x U	8,845	A=2x
OH 3454	notw. Zerspanungsenergie gemittelt [Ws]	Standardabweichung [A]	Bemerkung
CW Oelheld	4695,8 x U	7,47	A=1x
CW RWT	6091,1 x U	8,41	Test ok
Dr. Müller	4196,3 x U	7,17	Tests ok
Riegger	7359,6 x U	8,88	A=2x
Tesch	5059,5 x U	7,822	Test ok

Tab. 6.1 Auszug aus der Excel Auswertungstabelle

Bemerkungen zur Excel Tabelle:

- **Maschinenspannung U konstant, daher eine Direktwertübernahme der Stromaufnahme aus Matlab für die Auswertung der Zerspanungsenergie!!**
- **Zerspanungsenergie** ist das Maß der aufzubringenden Energiemenge zur Zerspanung // **Standardabweichung** illustriert die Laufeigenschaften bzw. Unruhen des jeweiligen Tests
- in der Regel 6-7 Prüflinge // Abkürzungen: **A= Abbrüche bzw. Maschinenstillstände** , **B= Bindungsstein** // **Test ok** bedeutet alle 4 Nuten (Vor/Nachsleifen) korrekt durchlaufen
- Standardabweichung betrachtet immer alle Tests trotz Stillständen // Zerspanungsenergie betrachtet immer nur fertiggeschliffene Prüflingstests
- **SCHEIBE // KÜHLSCHMIERMITTEL // PARAMETER**

Ein Auszug der grafisch beschreibenden Ergebnisse mit Excel:

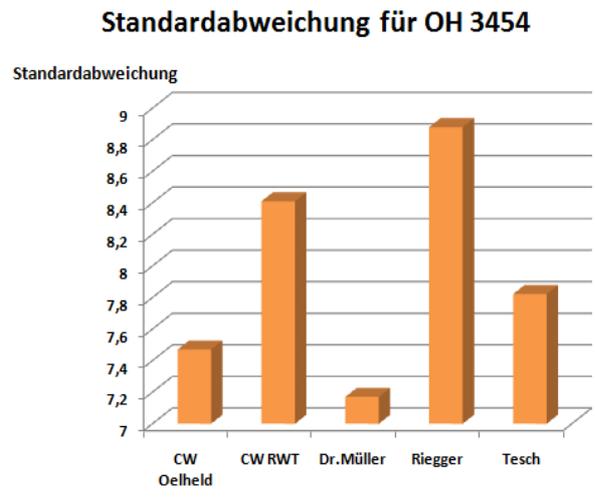
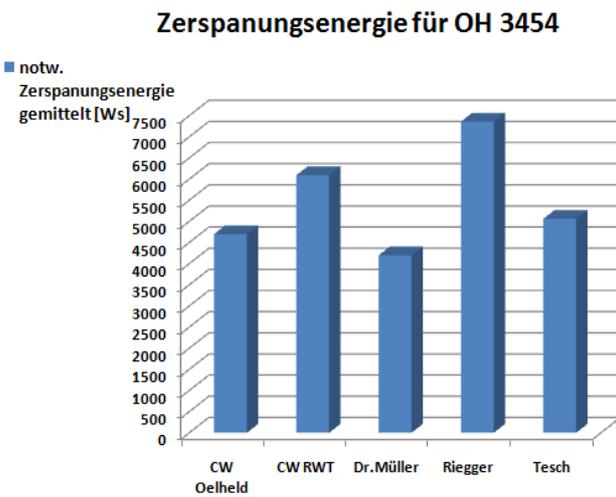
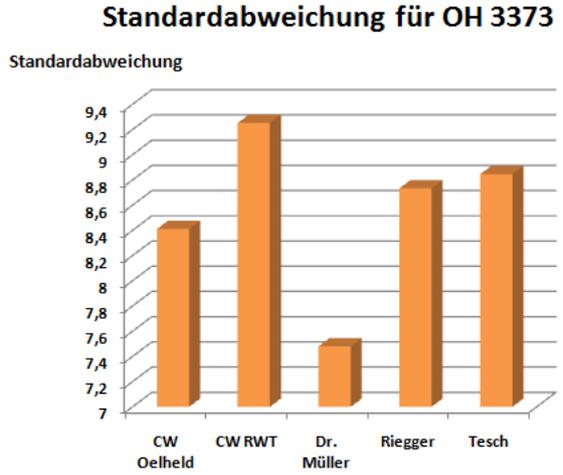
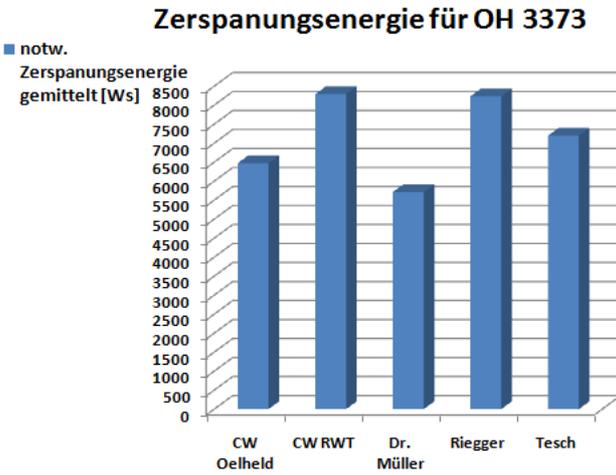
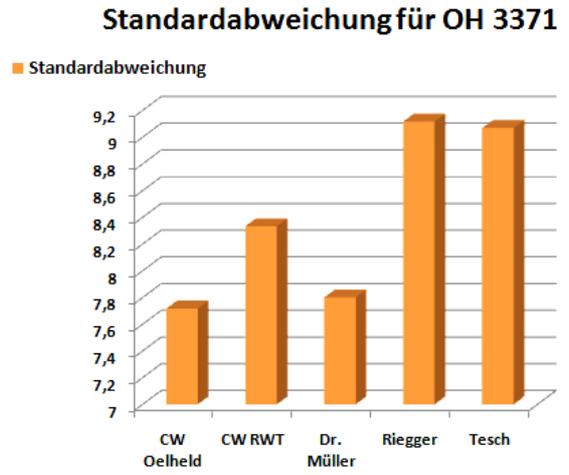
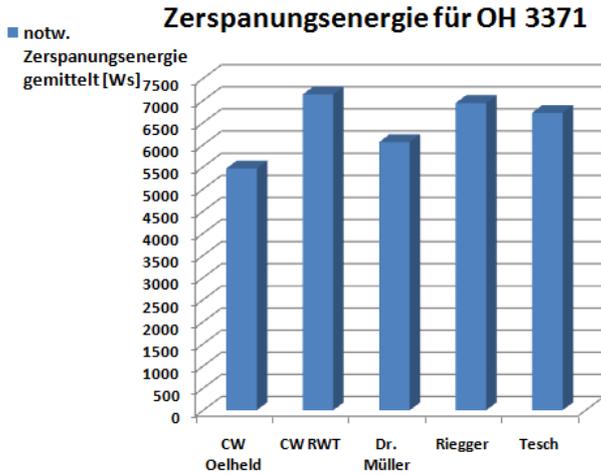


Abb. 6.7 Grafische Excelauswertungen verschiedener Öle aller Testscheiben

Wie bereits erwähnt ist das Ziel eine geringe notwendige Zerspanungsenergie und eine geringe Standardabweichung vom Mittelwert.

*Ein Fazit des Auszugs nach Abb.6.7:*

Die Excelsauswertungen laut Abb. 6.7 zeigen, dass in diesen 3 Testreihen die Dr. Müller Scheibe, gefolgt von der Scheibe CW Oelheld, am wenigsten Strom aufgenommen und damit am wenigsten Energie benötigt haben. Am schlechtesten im Gesamten gesehen schnitt die Schleifscheibe von Riegger, gefolgt von der CW RWT Scheibe ab. Auch die Schleifscheibe von Tesch hat unzufriedene Werte geliefert.

Nach der *Standardabweichung* besitzt wiederum die Scheibe nach Dr. Müller, gefolgt von der CW Oelheld die besten Ergebnisse. Die CW RWT liegt im Mittelfeld und am schlechtesten haben Tesch und Riegger abgeschnitten.

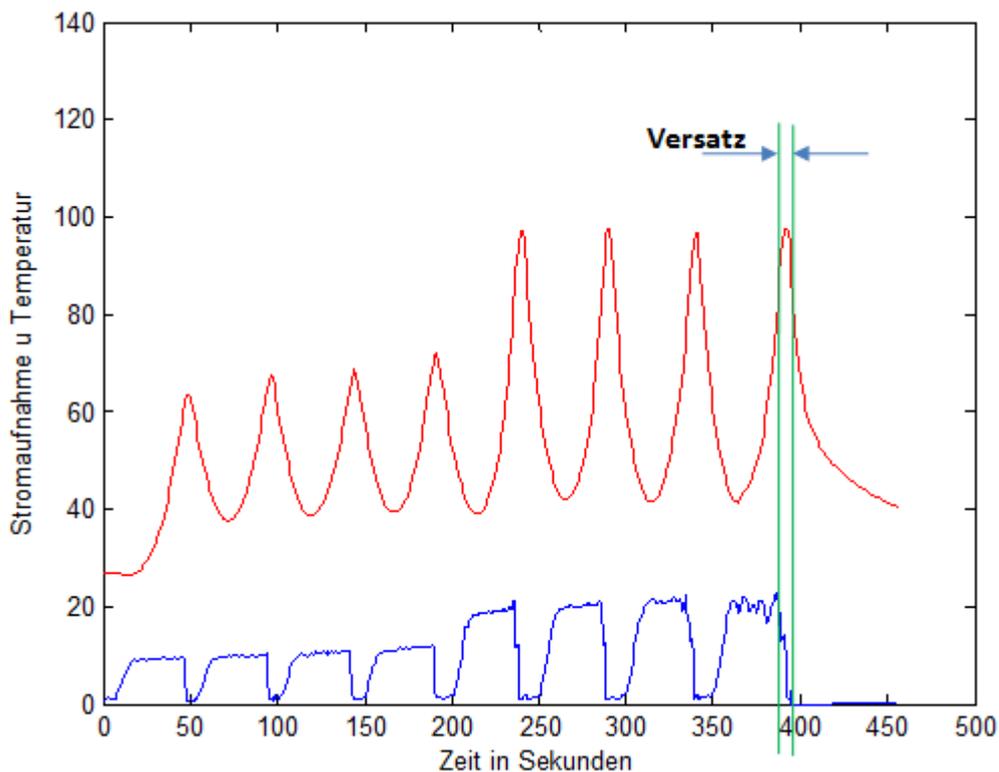
Der Auswertungssieger laut Abb. 6.7 und den hier betrachteten Ölen ist somit die Schleifscheibe von Dr. Müller. Das schlechteste Ergebnis lieferte die Riegger Schleifscheibe. Zu erwähnen ist, dass die Schleifscheibe nach Dr. Müller bei allen Tests stets im Vorderfeld lag und durch ihr Verhalten in Bezug auf den Energieverbrauch und Laufruhe überzeugen konnte.

Setzt sich die Schleifscheibe nicht zu (ersichtlich aus der Standardabweichung), dann steigt die Standzeit bis die Scheibe geöffnet oder abgerichtet werden muß.

## Die Auswertung

### Die Temperatursauswertung:

Die erhaltenen Temperaturdaten mittels Thermoelementen im Prüfling, wurden per Matlab über einen Korrelationsvergleich zur Stromaufnahme näher beleuchtet. Es sei zu erwähnen, dass der Zusammenhang Stromaufnahme zu Temperatur nicht als linear anzusehen ist. Es kommt aufgrund der Trägheit von Wärmeleitung im Material zu Versätzen bei den Temperaturspitzen. Besser gesagt, bei der höchsten Belastung der Bearbeitung ist die Maximaltemperatur dazu verschoben. Sie hinkt nach. Ersichtlich ist dies in Abb.6.8.



**Abb. 6.8** Temperatur und Stromaufnahme mittels Matlab ausgewertet

Beim Vorschleifen der ersten 4 Nuten ist die Temperaturbelastung sichtlich niedriger als beim intensiveren Nachschleifen. Dies ist erklärbar da beim Vorschleifen noch mehr Material zwischen Bearbeitungsstelle und Thermoelement ist, aber auch da beim Fertigschleifen mehr zugestellt wird. Man kann relativ konstante Temperaturspitzen feststellen. Das Ansprechen des Temperaturfühlers aufgrund der verzögerten Wärmeübertragung, welche werkstoffabhängig ist, kennzeichnet einen natürlichen Versatz.

## Die Auswertung

Der *Korrelationskoeffizient* ist ein dimensionsloses Maß für den Grad des linearen Zusammenhangs zwischen zwei Merkmalen.

Er kann Werte zwischen  $-1$  und  $+1$  annehmen. Bei einem Wert von  $-1$  oder  $+1$  besteht ein vollständig negativer oder positiver linearer Zusammenhang zwischen den betrachteten Merkmalen. Wenn der Korrelationskoeffizient den Wert  $0$  aufweist, hängen die beiden Merkmale überhaupt nicht linear voneinander ab.

Bei der Auswertung wurden die Maximaltemperaturen und die Korrelationen aller fertiggeschliffenen Testläufe aufgezeichnet und untereinander verglichen.

Folgende Tabellen und Diagramme zeigen einen Auszug der Temperatúrauswertung, anhand von 4 verschiedenen Kühlschmierstoffen:

M1=OH3371 // M2=OH3373 // M3=Sintogrid // M4=OH3454

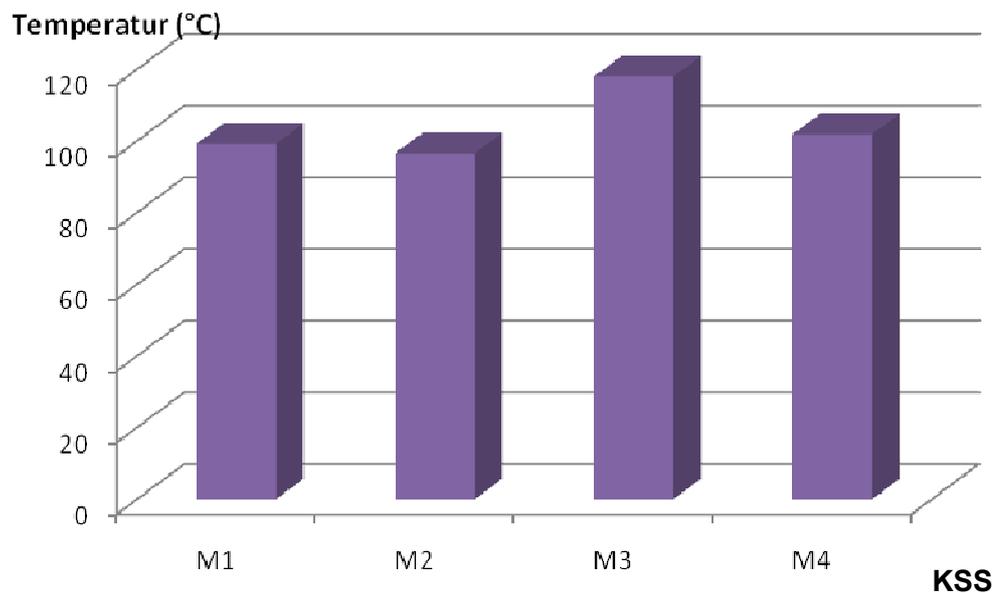
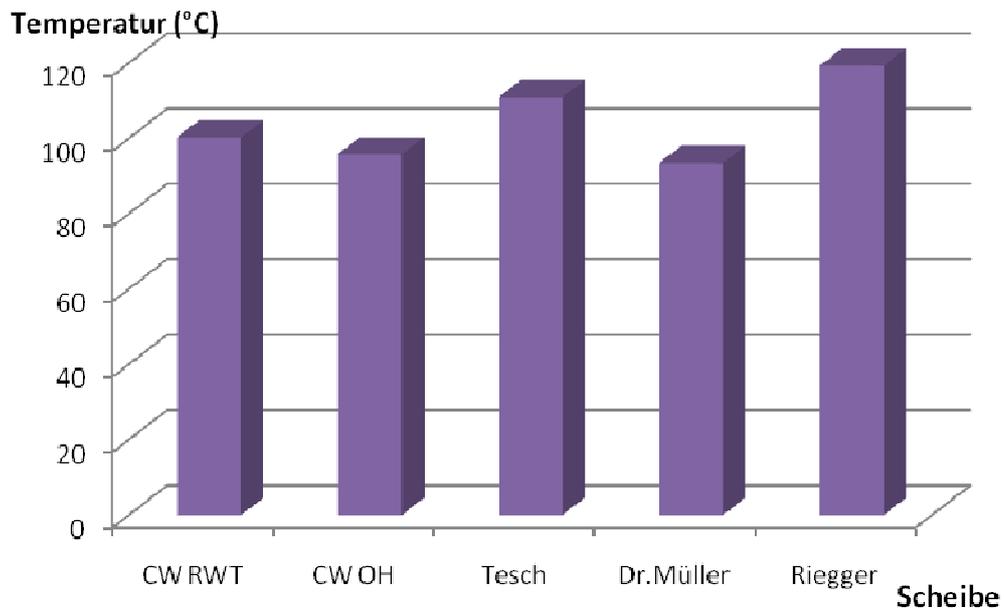
### Die Maximaltemperaturen im Werkstück:

Die Maximaltemperaturen werden in Abhängigkeit von der jeweiligen Schleifscheibe und dem gewählten Kühlschmierstoff, aller Prüflinge, mittels Matlab ausgewertet und in Tabelle 6.2 eingetragen. Die Bewertungen stellen den Durchschnitt der einzelnen Scheiben- als auch der Kühlschmierstoffergebnisse dar.

Max.-Temp.	M1	M2	M3	M4	Bewertung
<b>CW RWT</b>	85,325	101,472	117,074	97,229	100,275
<b>CW OH</b>	102,963	85,144	91,77	103,152	95,757
<b>Tesch</b>	107,398	102,55	133,55	99,91	110,852
<b>Dr.Müller</b>	86,959	81,88	111,56	93,367	93,441
<b>Riegger</b>	113,597	111,928	135,96	115,65	119,284
<b>Bewertung</b>	99,248	96,594	117,983	101,862	

**Tab. 6.2** Maximaltemperaturen (in Grad Celsius) im Werkstück

Die Gesamtbewertungen wurden zweiseitig durchgeführt, einmal für die betrachteten Kühlschmierstoffe (KSS) in Abhängigkeit von allen Schleifscheiben und einmal für die Schleifscheiben in Abhängigkeit aller Öle. (siehe auch Abb.6.9)



**Abb.6.9** Graphische Darstellung der Maximaltemperaturauswertung nach Tab. 6.2

## Die Auswertung

### *Erklärung und Fazit der Maximaltemperaturauswertung laut Tab. 6.2:*

Die Auswertung wird hier, wie auch bei der Korrelation, zweiseitig näher beleuchtet. Nachdem besonders die Schleifscheiben nach Riegger und Tesch häufige Maschinenstillstände verursachten und nur fertiggeschliffene Prüflinge in die Auswertung einbezogen werden, können die Ergebnisse häufig für außenstehende Betrachter verfälscht wirken. Von insgesamt durchschnittlich 6 Prüflingen konnten durchwegs nur 2 als fertiggeschliffene Testabläufe in die Bewertung aufgenommen werden. Dies wurde natürlich im Endresümee der Entscheidung, welche Kombinationsmöglichkeit die optimalste wäre mit einbezogen.

Die eigentliche Aussagekraft stellt sich aufgrund der einzelnen Temperaturergebnisse der Paarungen Schleifscheibe zu Kühlschmierstoff dar, da ein Betrieb kaum mehrere Scheiben von unterschiedlichen Herstellern in Verwendung hat. Mit dem Gesamtbewertungsergebnis der untersten Zeile laut Tab. 6.2 kann man das Verhalten des Kühlschmierstoffs mit allen Scheiben näher betrachten. Das Verhalten der einzelnen Scheiben mit allen Ölen spiegelt die rechte Bewertungsspalte wieder.

Das Fazit der Tab. 6.2 ist, dass in der Einzelbetrachtung hier am besten die Scheibe CW RWT mit Medium M1 harmoniert hat. Einen starken negativen Ausschlag lieferte die Paarung der Scheibe nach Riegger mit Medium M3. Es hat laut Tab. 6.2 die Schleifscheibe Dr.Müller das beste Ergebnis geliefert. Als das beste Kühlschmiermittel stellt sich bei diesem Gesamttest das Medium M2, mit der geringsten Temperaturerhöhung heraus.

Obwohl die oben genannte Paarung, Schleifscheibe CW RWT und Medium M1, am besten abgeschnitten hat, ist der Auswertungssieger hier die Scheibe Dr.Müller mit Medium M1. Aufgrund der sehr hohen Schäumung und der erheblichen Verschmutzungseigenschaften von Medium M1 tendiert die Auswahl trotzdem zu Medium M3. Auch wenn im Durchschnitt die Temperaturbelastung hoch ist, die Partikelausbringung, die Stromaufnahme als auch das Schäumungsverhalten ist vorbildlich.

Der Korrelationskoeffizient:

Hier ist die Auswertungsmethodik gleich wie bei der Temperatúrauswertung, es wird der Durchschnitt aller Prüflingsergebnisse als Paarungswert herangezogen, danach ermittelt man das Endergebnis aller 5 Scheiben und 4 Kühlschmierstoffe.

Die Paarungsergebnisse sind von entscheidender Wichtigkeit, die Gesamtergebnisse gleich wie bei der Temperatúrauswertung, sind für die Gesamtbetrachtung des Verhaltens der jeweiligen Scheibe oder des einzelnen Kühlschmiermittels durchgeführt worden.

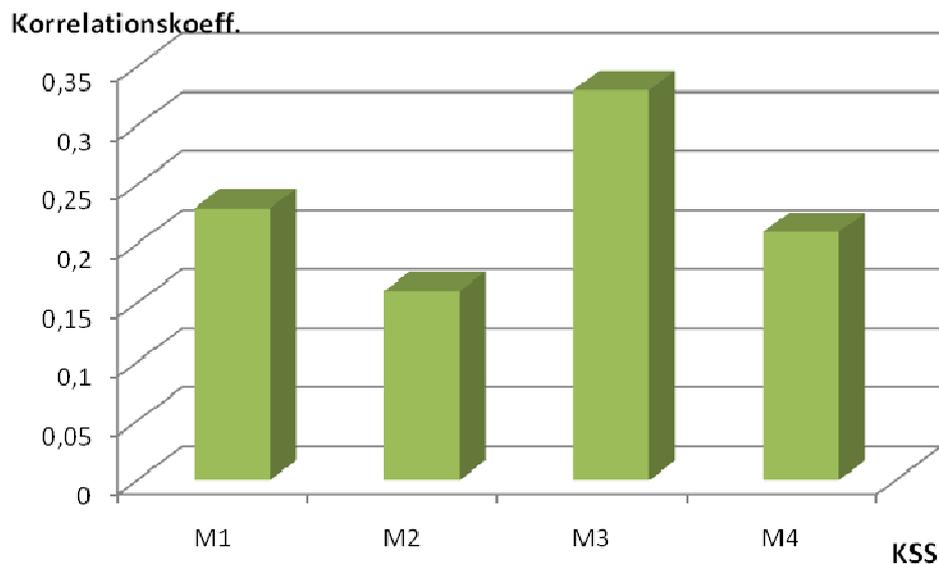
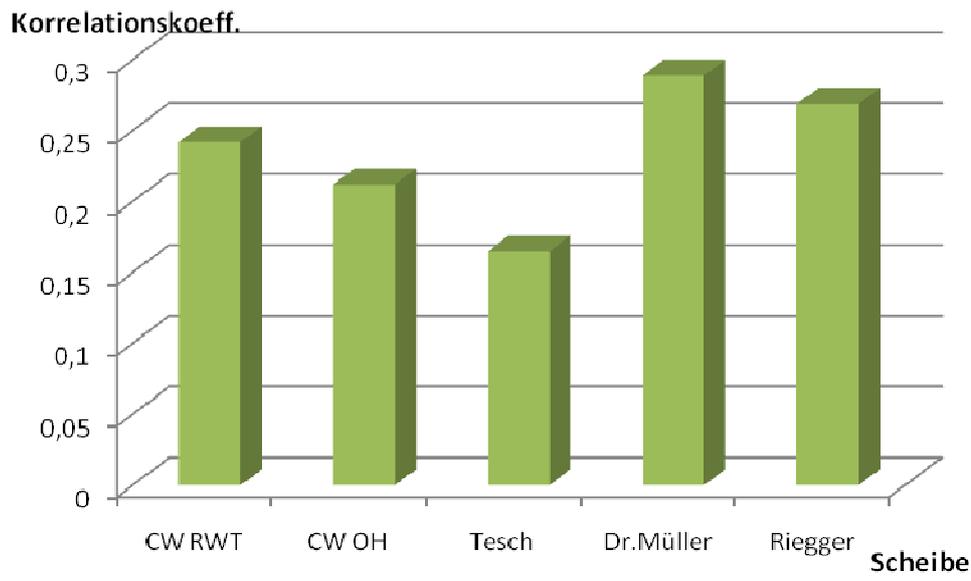
Nachdem bei der Korrelation der Wert positiv als auch negativ sein kann, wurde die Gesamtbewertungen auf Scheiben- und Kühlschmierstoffseite als Absolutwert betrachtet.

Korrelation	M1	M2	M3	M4	Bewertung
<b>CW RWT</b>	-0,336	+0,0124	+0,4084	-0,215	0,242
<b>CW OH</b>	-0,317	-0,209	+0,0408	-0,283	0,212
<b>Tesch</b>	-0,174	-0,226	+0,0891	-0,173	0,165
<b>Dr.Müller</b>	-0,243	-0,155	+0,532	-0,227	0,289
<b>Riegger</b>	-0,083	-0,2326	+0,587	-0,174	0,269
<b>Bewertung</b>	0,230	0,166	0,331	0,214	

**Tab. 6.3** Korrelationsvergleich Temperatur zu Stromaufnahme (dimensionslos)

## Die Auswertung

Gleich wie bei der Temperatureauswertung, ist auch bei der Korrelation die Gesamtbewertung einmal auf Seite der Kühlschmierstoffe in Abhängigkeit aller Schleifscheiben und einmal auf Seite der Schleifscheiben in Abhängigkeit aller KSS durchgeführt worden. (siehe auch Abb.6.10)



**Abb.6.10** Graphische Darstellung der Korrelation laut Tab.6.3

### *Erklärung und Fazit des Korrelationsvergleichs laut Tab. 6.3:*

Den Zusammenhang und die Veränderung zwischen dem Temperaturverhalten und der Stromaufnahme innerhalb der ausgewerteten Plots, spiegelt die Korrelation wieder. Die Berechnung dieses Faktors wurde durch Matlab bewerkstelligt.

Kommt es zu Stromaufnahmespitzen so ändert sich auch die Temperatur dementsprechend in die Höhe. Je stärker die Differenz zwischen diesen Werten ist, umso geringer ist die Übereinstimmung und umso geringer ist der Korrelationswert. Das heißt, wie bereits erwähnt, der Faktor nähert sich dem Wert 0. Hat eine Paarung Scheibe zu Kühlschmierstoff eine geforderte geringe Zerspanungsleistung, doch die Temperaturentwicklung steigt sehr hoch an, wird dies über die Korrelation als nicht optimal bewertet. Ein gutes Ergebnis liefert eine geringe Zerspanungsleistung (=Stromaufnahme) mit gleichbleibender geringer Temperaturerhöhung, es kann hier ein höherer Wert des Korrelationfaktors positiv als auch negativ ausgegeben werden.

Das Fazit nach Tab. 6.3 ist das in der Einzelbetrachtung die Scheibe Dr.Müller mit dem Kühlschmiermittel M3 sehr gut harmoniert, dies zeigt der Wert von +0,532.

Ein schlechtes Ergebnis lieferte in dieser Bewertung die Paarung Scheibe CW RWT mit dem Kühlschmiermittel M2, nachdem der Wert von +0,0124 berechnet wurde. Die Gesamtbewertungen auf Seite der Schleifscheiben, lieferte für die Scheibe Dr.Müller das beste Ergebnis, auf Seite der Kühlschmierstoffe erzielte das Medium M3 den besten Wert.

Die Auswertung nach Tab. 6.3 hat somit im Gesamten gesehen das Kühlschmiermittel M3 und die Schleifscheibe Dr.Müller für sich entschieden.

## 6.2 Zusammenfassung und Resümee der Auswertungsergebnisse

Diese Arbeit hatte die Aufgabe das Schäumungsverhalten und die Verschmutzungseigenschaften der betrachteten Kühlschmierstoffe, im Einsatz mit verschiedenen Diamantschleifscheiben, bei der Bearbeitung von Hartmetallprüflingen, zu beleuchten. Weiters wurde die Stromaufnahme (es resultiert die Zerspanungsenergie), die Standardabweichung (es resultiert die Laufeigenschaft), die Maximaltemperaturen im Werkstück als auch die Korrelation zwischen Stromaufnahme und Temperaturverlauf ermittelt.

Zusammenfassend geht aus den gesamten Untersuchungen die Schleifscheibe Dr. Müller und das Kühlschmiermittel M03 (=Sintogrind) als Sieger hervor. Einzig im Temperaturverhalten würde diese Schleifscheibe mit der Coolgrind Innenkühltechnologie noch bessere Ergebnisse liefern. Im Mittelfeld liegen die Scheiben CW RWT, CW OH und Tesch. Besonders schlechte Ergebnisse lieferte die Schleifscheibe nach Riegger.

Viele Maschinenstillstände während der Bearbeitung, aufgrund zu hoher Stromaufnahmen, als auch sehr unruhiger Laufeigenschaften, waren die Folge.

Einzig mit dem Kühlschmierstoff Sintogrind konnten halbwegs vernünftige Bearbeitungsergebnisse erzielt werden. Die übrigen Kühlschmierstoffe haben generell mittelmäßig in der Untersuchung abgeschnitten. Besonders starke Schäumungs- und Verschmutzungstendenzen wiesen die Medien M6 und M10 auf.

Die genaue Auflistung der Auswertungsergebnisse ist im Anhang beigefügt.

---

[16] W. Timischl, „**Qualitätssicherung: statistische Methoden**“. München; Wien: Hanser Verlag, 1996. **Seite 35, 36, 37, 85**

## Literaturverzeichnis:

- [1] G. Lang und E. Saljé, "Moderne Schleiftechnologie und Schleifmaschinen". Essen: Vulkan-Verlag, 1989.
- [2] R. Holz und J. Sauren, "Schleiftechnisches Handbuch": Schleifen mit Diamant und CBN. Essen: Vulkan-Verl., 1988.
- [3] Rappold-Winterthur, "Diamant u. CBN Grundlagen". 2001.
- [4] R.-W. Graf Walter, "CBN und Diamant in Kunstharzbindung". 2000.
- [5] H.-D. Dobler, W. Doll, und U. Fischer, "Fachkunde Metall [Hauptw.]". Haan-Gruiten: Verl. Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer, 2010.
- [6] Prof. Heinrich Hochleitner, "Skriptum Fluidtechnik 1". 2010.
- [7] Dr. Manfred Storr und H. Ott, "Das 1x1 des Öl- Schleifens". Räse u. Haigis Offsetdruck, 2002.
- [8] "Emulsion" Wikipedia, [Online] Available: <http://de.wikipedia.org/wiki/Emulsion>. [Accessed: 03-Juli-2012].
- [9] "Emulsion" Wikipedia, [Online] Available: „Datei:GrenzflächeUndEmulsion.png <http://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Grenzfl%C3%A4cheUndEmulsion.png>. [Accessed: 03-Juli-2012].
- [10] W. Rehbein und S. Oelheld GmbH, "Studie: Cobaltaufnahme in nichtwassermischbaren Kühlschmierstoffen", 2010.
- [11] Vomat Filtersysteme, "FA 120 - 420 System". [Online]. Available: <http://www.vomat.de/Produkte/FA%20Anlagen/FA%20120%20-%20420/FA%20120%20-%20420%20FA%20System%20dt.htm>. [Accessed: 22-Juli-2012].
- [12] Walter Machines, „WALTER - Helicheck - Walter Machines“. [Online]. Available: <http://www.walter-machines.com/de/produkte/messen/helicheck-basic-2.html>. [Accessed: 22-Juli-2012].

- [13] „Thermografie Technik Wärmebildkamera“. [Online] Available: <http://www.lamerselectronic.de/thermorent/technik.html>. [Accessed: 22-Juli-2012].
- [14] J. Maldaner, "Dissertation: Verbesserung des Zerspanverhaltens von Werkzeugen mit Hartmetall-Schneidelementen durch Variation der Schleifbearbeitung" Kassel: Kassel Univ. Press, 2008.
- [15] Fachblatt der Firma Ceratizit, „Hartmetall für Präzisionswerkzeuge“.
- [16] W. Timischl, „Qualitätssicherung : statistische Methoden“. München; Wien: Hanser Verlag, 1996
- [17] Aral Fluide 06 Vorlesungsfolien laut "Skriptum Fluidtechnik 1" Prof. Heinrich Hochleitner. 2010
- [18] Klüber Lubrication München AG, Tipps für die Praxis, „Schaumverhalten von Getriebeölen“, 2004

## **Abbildungsverzeichnis:**

**Abb. 2.1** Härtevergleich von Schleifmitteln [2]

**Abb. 2.2** Vergleich: links mit Coating, rechts ohne Coating [4]

**Abb. 2.3** Aufbau des Schleifbelags mit Kunstharzbindung samt Grundkörper [4]

**Abb. 2.4** Verschleißformen [5]

**Abb. 2.5** Coolgrind Schleifscheibe mit Innenzuführung

**Abb. 2.6** Richtige Zustellung der Kühl-/Schmiermittelschläuche

**Abb. 2.7** Diamantschleifscheibe im Eingriff an einem Hartmetallprüfling

**Abb. 2.9** Erklärung der Scheibenspezifikationen einer Diamantschleifscheibe nach Rappold-Winterthur [4]

**Abb. 2.10** Schematische Darstellung des Zeitspanvolumens [4]

**Abb. 2.11** Unterschied von Abrichten und Schärfen [4]

**Abb. 2.12** REM-Bildvergleich einer Scheibe links mit KSS Sintogrind (positiv; wenig zugesetzt), rechts wurde ein anderes Öl verwendet (negativ; stark zugesetzt) [Bildaufnahmen Schrottner/Oelheld]

**Abb. 2.13** Vermessen der Coolgrind Schleifscheibe

**Abb. 2.14** Messmaschine der Firma Walter

**Abb. 2.15** Coolgrind Schleifscheibe nach Rappold- Winterthur

**Abb. 2.16** Coolgrind Schleifscheibe nach Oelheld

**Abb. 2.17** Tesch Diamantschleifscheibe

**Abb. 2.18** Offenborige Riegger Diamantschleifscheibe

**Abb. 2.19** Dr.Müller Diamantschleifscheibe

**Abb. 3.1** Gelieferte Kühlschmierstofffässer, im Hintergrund die Filteranlage

- Abb. 3.2** Einteilung der Kühlschmierstoffe nach VDI- 3396 vgl. [7]
- Abb. 3.3** Welches Kühlschmiermittel für welches Material (färbig) [4]
- Abb. 3.4** Was ist eine Emulsion [9]
- Abb. 3.5** Kühlschmierstoffeinbringung bei der Bearbeitung
- Abb. 3.6** Gleichlaufschmierung [4]
- Abb. 3.7** Einordnung des Pumpendruckes [4]
- Abb. 3.8** Basisflüssigkeiten
- Abb. 3.9** einsetzbare Additive zur Basisflüssigkeit
- Abb. 3.10** Aufbau eines Additivs [6]
- Abb. 3.11** geringe Schaummengen im Auffangbehälter von Medium M03
- Abb. 3.12** starke Schaumbildungen im Auffangbehälter von Medium M06
- Abb. 3.13** starke Schaumbildung am Faltenbalg von Medium M06
- Abb. 3.14** Vergleich der Schaumbildung (M03 zu M06) innerhalb der Filteranlage
- Abb. 3.15** Zusammenfassung der Schaumauswertung
- Abb. 4.1** Saacke CNC- Schleifmaschine mit Stroboskoplampe, Videokamera und Thermokamera
- Abb. 4.2** Wegmesssysteme vgl. [5]
- Abb. 4.3** Unterscheidung indirektes(links) u. direktes(rechts) Wegmesssystem [5]
- Abb. 4.4** Unterscheidung absolutes u. inkrementales Wegmesssystem [5]
- Abb. 4.5** Ausgabe der Steuerdaten der Saacke CNC- Maschine
- Abb. 4.6** Notabschaltung nach Überschreitung der zul. Stromaufnahme
- Abb. 4.7** Überwachung durch Probelauf des Programms an der Saacke CNC- Maschine

**Abb. 4.8** Display zur Filtersteuerung (KSS- Temperatur und Durchflussmenge)

**Abb. 4.9** Vergleich Filtereingangs- zu Ausgangsdruck

**Abb. 4.10** Filteranlage Vomat FA 120 mit dessen Zu- und Abführung des Mediums

**Abb. 4.11** Die Walter Vermessungsmaschine bei der Vermessung einer Coolgrind Schleifscheibe

**Abb. 4.12** Bild oben Thermoaufnahme RWT Coolgrind samt Prüfling, Bild unten Thermoaufnahme Tesch Schleifscheibe samt Prüfling

**Abb. 4.13** Thermokamera Varioscan 3021 ST von Jenoptik beim Einsatz

**Abb. 4.14** Stroboskop im Einsatz

**Abb. 4.15** Die Schnittstelle für die gemessenen Daten und ihre Verkabelung

**Abb. 4.16** Beispieldiagramm der erhaltenen Messwerte

**Abb. 4.17** Aufbau von Thermokamera und Stroboskop

**Abb. 4.18** angefertigte Aufnahme mit Leitungsbohrungen ohne Prüfling

**Abb. 4.19** fertig aufgespannter Prüfling mit darunterliegender Kühlschmierstoffwanne, beides mit Thermoelementen ausgestattet

**Abb. 4.20** Verschmutzung im Bearbeitungsraum mit Coolgrind Scheibe

**Abb. 4.21** Zusammenfassung der Verschmutzungsgrade

**Abb. 5.1** Illustration der Nutenbearbeitung

**Abb.5.2** Angelieferte Rohlinge d=20mm mit Kühlbohrung der Firma Böhlerit

**Abb. 5.3** Geschliffene Prüflinge mit darauffolgendem Gewichtsmessvergleich mittels Feinwaage der Firma Rauch

**Abb. 5.4** Fertigungsstufen beim Sintern und kristalline Vorgänge [5]

**Abb. 5.5** Pressen des Pulvers zu Preßlingen [5]

**Abb. 5.6** Der Unterschied von HM, REM-Aufnahmen Fein- zu Grobstruktur [15]

**Abb. 5.7** Härte, Biegebruchfestigkeit und Bruchzähigkeit von Hartmetallen [14]

**Abb. 5.8** Schneide eines Prüflings unter dem Mikroskop

**Abb. 6.1** Normalverteilung von Meßwerten mit den wichtigsten Kennwerten

**Abb. 6.2** Standardabweichung und Zerspanungsleistung

**Abb. 6.3** Auszug eines Textfiles mit gemessenen Daten

**Abb. 6.4** Das Programm Matlab beim Einlesen der Textfiles und Ausgabe von Plots mitsamt Standardabweichung und Zerspanungsleistung

**Abb. 6.5** guter Verlauf mittels Matlab von Coolgrind Oelheld und Medium OH3373

**Abb. 6.7** Grafische Excelauswertungen verschiedener Öle aller Testscheiben

**Abb. 6.8** Temperatur und Stromaufnahme mittels Matlab ausgewertet

**Abb.6.9** Graphische Darstellung der Maximaltemperaturauswertung nach Tab. 6.2

**Abb.6.10** Graphische Darstellung der Korrelation laut Tab.6.3

## **Tabellenverzeichnis:**

**Tab. 3.1** Auswertung des Schaumverhaltens (1=sehr gut ; 10=ungenügend)

**Tab. 4.1** Datenblatt Saacke CNC- Schleifzentrum Modell UW I F

**Tab. 4.2** Auswahl der Filterfeinheit und ihre Anwendungsgebiete [6]

**Tab. 4.3** Auswertung des Verschmutzungsgrades aller Kombinationsmöglichkeiten

**Tab. 6.1** Auszug aus der Excel Auswertungstabelle

**Tab. 6.2** Maximaltemperaturen (in Grad Cesium) im Werkstück

**Tab. 6.3** Korrelationsvergleich Temperatur zu Stromaufnahme (dimensionslos)

## Anhang:

Das für diese Arbeit zur Berechnung und Darstellung der Plots geschriebene Matlab Programm:

```
clear all
close all
clc

file_ende='OH_3371_Mueller';
pr=dir(['.\',file_ende,'*.txt']);
names={pr.name};

sz = size(names);
zaehl = 0;
for k=1:sz(2)

file = strcat(['.\',file_ende,'\ ', char(names(k))]);
    [Datum,Zeit,Temp1,Temp2,Temp3,Temp4,Leistung1,Leistung2] =
textread(file, '%s %s %f %f %f %f %f %f %*[\n]');

    test1 = ((char(Zeit)));
    for i = 1:length(test1)
test_sek(i,1) = str2double(test1(i,7:12));
    test_min(i,1) = str2double(test1(i,4:5))*60;
test_std(i,1) = str2double(test1(i,1:2))*60*60;
    end

    Zeit_in_sek = (test_sek+test_min+test_std)-
(test_sek(1,1)+test_min(1,1)+test_std(1,1));

%save(['.\',file(18:24),'_',num2str(file(26:28)),'.mat'],'Zeit_in_sek
','Temp1','Leistung1')

figure
plot(Zeit_in_sek,Leistung1)
ylim([0,140])

zaehl = zaehl+1;

pfad=('c:\Users\Marc\Desktop\DIPLOMARBEIT\Schleifscheibenstudie_Oelhe
ld_Coolgrind\Mathlab_Dateien\Diagramme\');
name=( [file_ende,'_',num2str(zaehl),'.jpg'] );
print( '-djpeg', '-r300', [pfad name]);

hold on
plot(Zeit_in_sek,Temp3,'r')
```

```

xlabel('Zeit in Sekunden')
ylabel('Stromaufnahme u Temperatur')

Korrelation = corrcoef(Leistung1,Temp3)

maxTemp = max(Temp3)

%plot(Zeit_in_sek,Temp2,'r')

test(k) = trapz(Zeit_in_sek,Leistung1);
    title(['File=',file,' Zerspanungsleistung=',num2str(test(k)), '
[As]'])
bums(k) = std(Leistung1,1);
    clear Datum Zeit Temp1 Temp2 Temp3 Temp4 Leistung1 Leistung2
test1 test_sek test_min test_std;

end

Zerspanungsleistung=sum(test)/sz(2)
Standardabweichung=sum(bums)/sz(2)

% fid = fopen('F:\Unterlagen_Schrotti\Oelheld_Direkt\Oelheld_77.txt',
'r');
% C = textscan(fid, '%c %c %c
%*[\n]', 'Headerlines',8, 'delimiter',';');
% fclose(fid);

%test = str2double(char(C(1,6)));

```

Fazit der Auswertungsergebnisse:

*Auf Schleifscheibenseite:*

Rang	Zerspanungsenergie	Laufruhe	Temperatur	Korrelation
1	Dr.Müller	Dr.Müller	CW_Oelheld	Dr.Müller
2	CW_Oelheld	CW_Oelheld	Dr.Müller	CW_RWT
3	CW_RWT	Tesch	CW_RWT	CW_OH
4	Tesch	CW_RWT	Tesch	Tesch
5	Riegger	Riegger	Riegger	Riegger

*Auf Kühlschmierstoffseite:*

Rang	Schaumverh.	Verschmutzung	Temperatur	Korrelation
1	M03	M03	M02	M03
2	M02	M09	M01	M01
3	M09	M02	M09	M09
4	M07	M07	M03	M04
5	M11	M01	M12	M02
6	M12	M11	M07	M07
7	M08	M12	M08	M08
8	M01	M08	M05	M05

<b>9</b>	M04	M05	M04	M11
<b>10</b>	M05	M04	M11	M12
<b>11</b>	M10	M10	M06	M06
<b>12</b>	M06	M06	M10	M10