

Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen
Prof. Dr.-Ing. B. Denkena

Allgemeines Maschinenlabor (AML)

Versuch: Zerspankraftmessung beim Drehen

Kontakt:

M.Sc. Beate Legutko, Tel.: (0511) 762 - 18336

M.Sc. Michael Maier, Tel.: (0511) 762 - 19936

aml@ifw.uni-hannover.de

WiSe 2024-2025

Inhaltsverzeichnis

1. Zweck des Versuches	3
2. Definition des Fertigungsverfahrens Drehen.....	3
3. Zerspanungstechnische Grundlagen	5
4. Spanbildung.....	10
5. Zerspankraftmessung	12
6. Versuchsaufbau	15
7. Literatur.....	16
8. Fragen zur Vorbereitung	17

Allgemeines Maschinenlabor (AML)

Versuch: Zerspankraftmessung beim Drehen

1. Zweck des Versuches

Zweck des Versuches ist die Ermittlung der Zerspankräfte beim Drehen. Ein Drehwerkzeug ist ein einschneidiges Werkzeug mit geometrisch bestimmter Schneide, das im Allgemeinen einen Span mit konstantem Querschnitt trennt. Aufgrund der einfachen geometrischen Verhältnisse, die während des Schneidvorganges konstant bleiben, eignet sich das Drehen besonders, um Abhängigkeiten der Zerspankräfte von verschiedenen Einflussgrößen aufzuzeigen. Die Kenntnis der Kräfte beim Zerspanen ist sowohl für die Praxis als auch für die Forschung insbesondere bei den folgenden Punkten von Bedeutung:

a) bei der Auslegung der Werkzeugmaschine:

- auf statische und dynamische Steifigkeit
- Dimensionierung der Antriebe

b) bei der Prozessoptimierung:

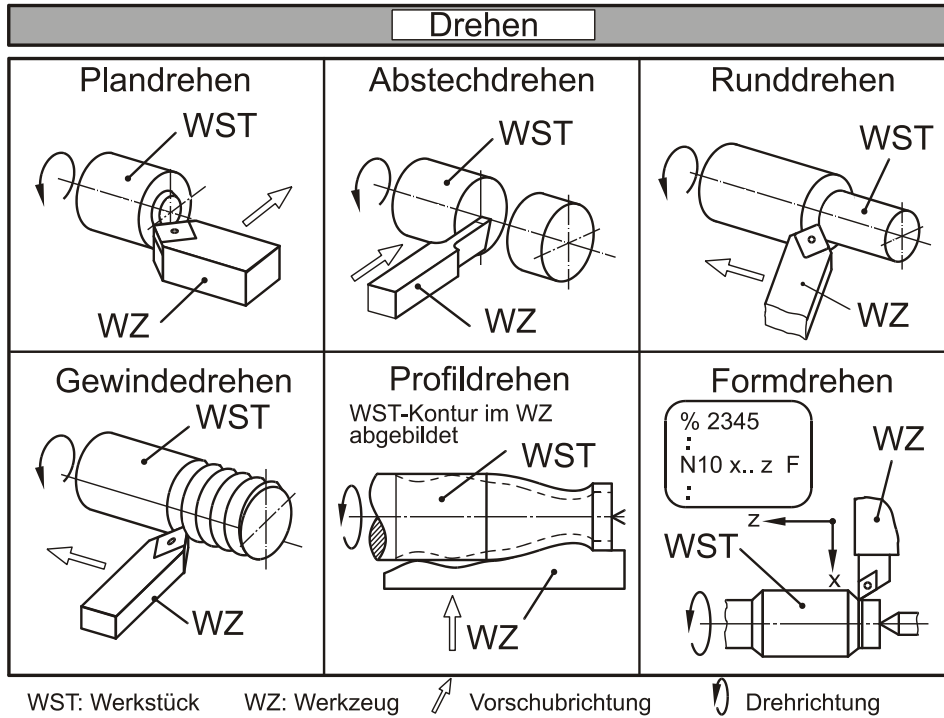
- Auswahl der Prozessparameter
- Auswahl des Schneidstoffes
- Auswahl der Werkzeuggeometrie
- Auswahl der Kühlschmierstoffstrategie

2. Definition des Fertigungsverfahrens Drehen

Das Drehen gehört nach DIN 8580 in der Einteilung der Fertigungsverfahren in die Hauptgruppe „Trennen“, Gruppe „Spanen mit geometrisch bestimmten Schneiden“. Unter Spanen wird das Trennen (Abtrennen) von Werkstoffen auf mechanischem Wege unter Entstehung von Spänen verstanden [DIN8580].

Nach DIN 8589 ist Drehen folgendermaßen definiert:

Drehen ist Spanen mit geschlossener (meist kreisförmiger) Schnittbewegung und beliebiger Vorschubbewegung in einer zur Schnittrichtung senkrechten Ebene. Die Drehachse der Schnittbewegung behält ihre Lage zum Werkstück unabhängig von der Vorschubbewegung bei [DIN8589].

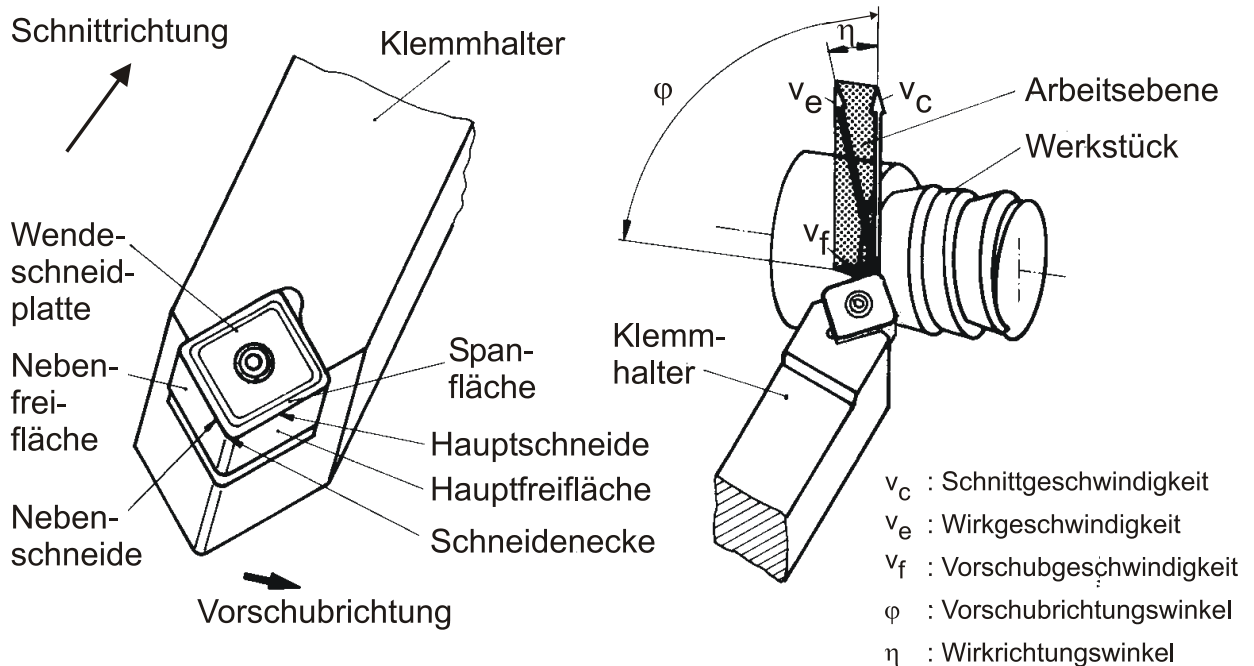


nach DIN 8589 T1

0/15497c © IFW 7123

Bild 1: Drehverfahren nach DIN 8589 T1

Die Drehverfahren können nach DIN 8589 T1 eingeteilt werden (Bild 1). Bild 2 zeigt die am Schneidkeil definierten Flächen und Schneiden.



nach DIN 6580; ISO 3002/1

0/18 787c © IFW 7125

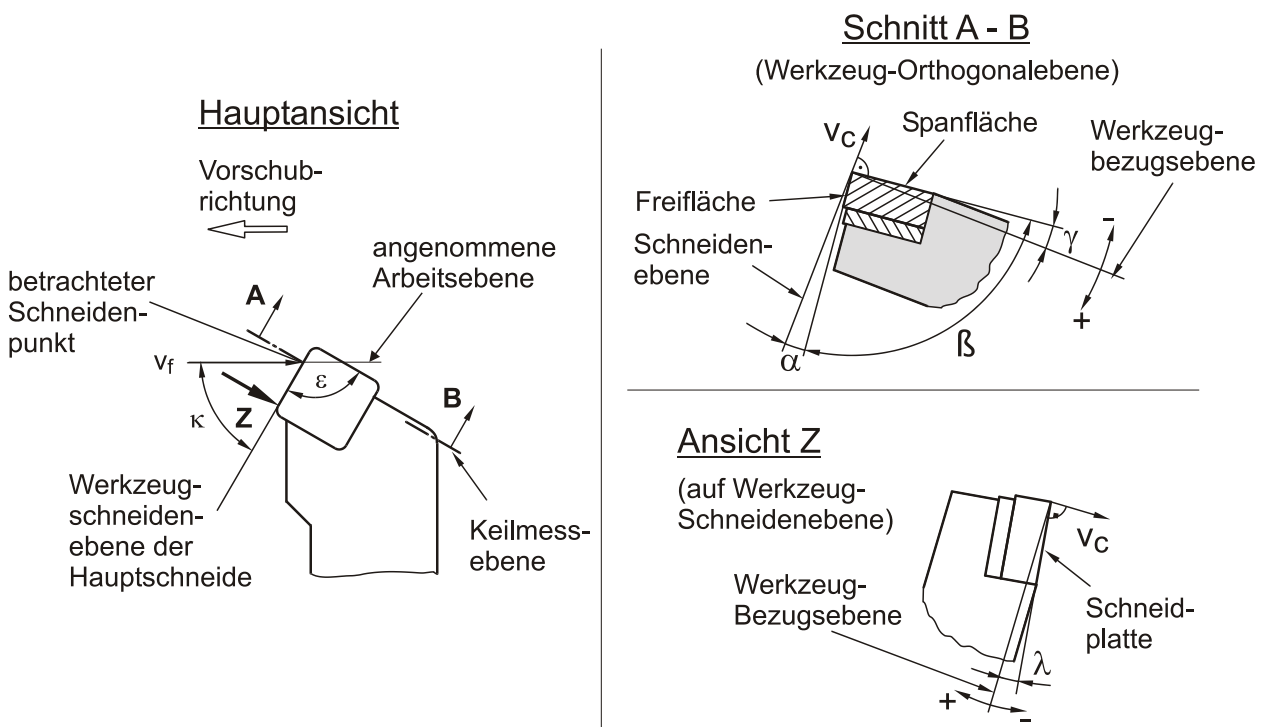
Bild 2: Bezeichnungen am Schneidkeil und Bewegungsrichtung des Werkzeuges

3. Zerspanungstechnische Grundlagen

Die Winkel am Drehmeißel

Bild 3 zeigt die Winkel am Drehwerkzeug gemäß DIN 6581, die zur Bestimmung von Lage und Form des Werkzeugs im Raum dienen [DIN6581]. Die im Rahmen von Drehprozessen wichtigsten Winkel sind hierbei der Span-, der Frei- und der Einstellwinkel. Die Größen der zu wählenden Winkel am Werkzeug sind abhängig vom:

- Werkstoff
- Schneidstoff
- Bearbeitungsverfahren.



Quelle : nach 6581

0/18786c © IFW 7122

Bild 3: Winkel am Drehwerkzeug

Die Schnitt- und Spanungsgrößen

Die Form des abzuspannenden Spanungsquerschnitts sowie die für den Zerspanprozess aufzuwendende Leistung wird entscheidend durch den Einstellwinkel κ bestimmt (Bild 4). Auch der Spanfluss wird durch den Einstellwinkel κ stark beeinflusst. Deutlich zu sehen ist, dass mit abnehmendem Einstellwinkel κ der Spanungsquerschnitt zwar konstant bleibt, aber aufgrund der besseren Ausnutzungen oder Verteilung des Spans auf der Spanfläche mit zwei positiven Aspekten gerechnet werden kann. Zum einen ist die Belastung der Schneide günstiger, da sie besser verteilt ist, und zum anderen wird der Span eher in Richtung des noch unbearbeiteten Werkstücks gelenkt und verringert somit die Wahrscheinlichkeit, dass die bereits gefertigte Oberfläche durch den ablaufenden Span beschädigt wird. So ist es oft möglich, durch relativ einfache geometrische Veränderungen die Belastung der Schneide bzw. des Bauteils zu vermindern. Zu berücksichtigen ist allerdings, dass die Passivkraft mit kleiner werdendem κ zunimmt und somit die Gefahr von Ratterschwingungen ansteigt [KLO08].

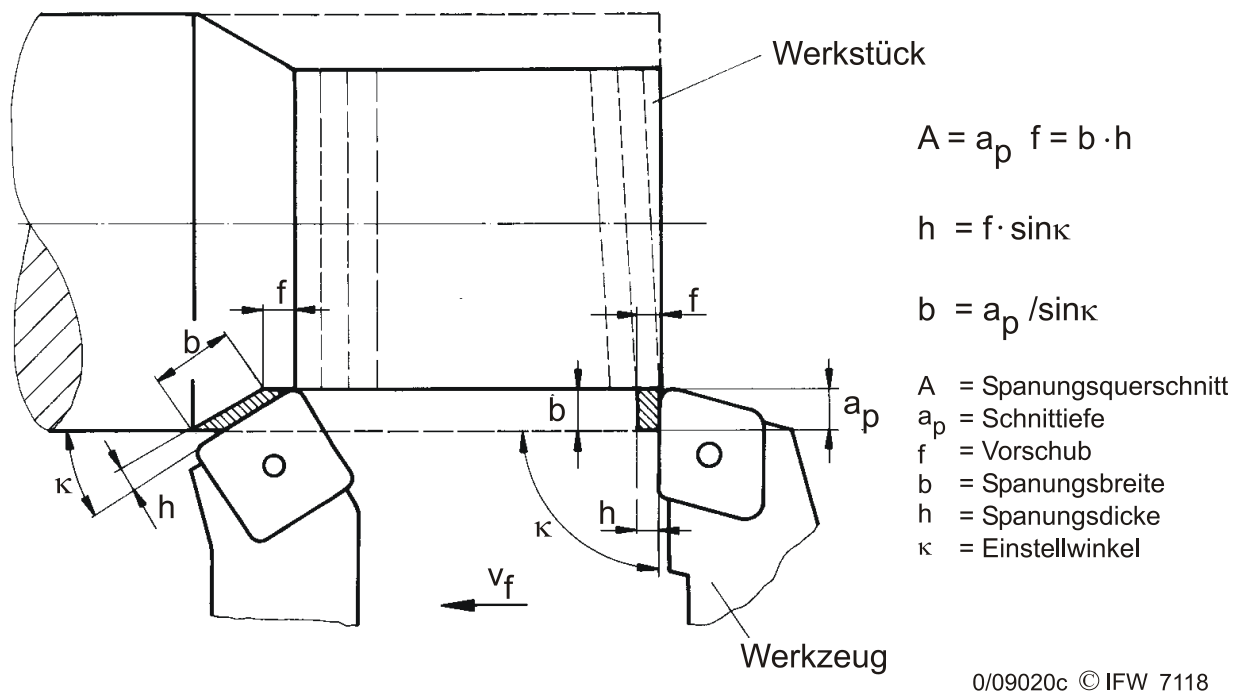
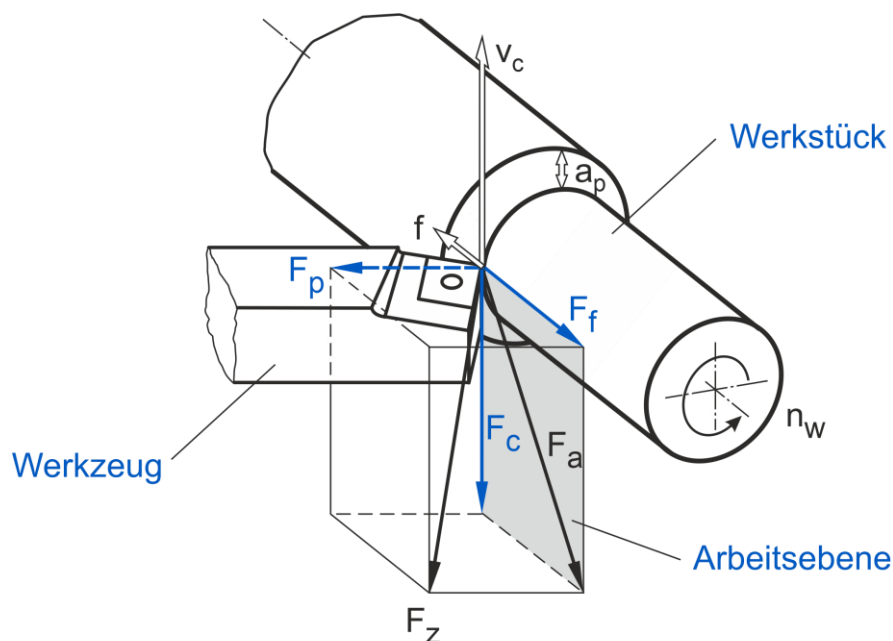


Bild 4: Schnitt- und Spanungsgrößen beim Drehen mit verschiedenen Einstellwinkeln

Die Komponenten der Zerspankraft

Als Zerspankraft F_z wird die auf einen Schneidkeil wirkende Gesamtkraft bezeichnet, die sich aus der vektoriellen Summe von Schnittkraft F_c , Vorschubkraft F_f und Passivkraft F_p ergibt. Die Schnittkraft F_c ist in Richtung der Schnittbewegung orientiert und ist die leistungsführende Komponente der Zerspankraft. Ihre Kenntnis ist zur Bestimmung der Antriebsleistung einer Werkzeugmaschine in den meisten Fällen ausreichend. Zur Beurteilung der erreichbaren Werkstückgenauigkeit sind darüber hinaus aber auch die Vorschubkraft (in Richtung der Vorschubbewegung) und die Passivkraft (senkrecht zu den Bewegungsrichtungen) zu beachten (Bild 5).



nach DIN 6584

0/12138c © IFW 0410

Bild 5: Komponenten der Zerspankraft

Die beim Zerspanen auftretenden Kräfte sind von zahlreichen Faktoren abhängig, z.B.

- vom Werkstoff,
- vom zerspanen Querschnitt,
- von der Geometrie des Werkzeuges.

Die spezifische Schnittkraft

Die spezifische Schnittkraft k_c ist definiert durch das Verhältnis:

$$k_c = \frac{F_c}{A} = \frac{F_c}{a_p \cdot f} = \frac{F_c}{b \cdot h}$$

Die spezifische Schnittkraft ist als der Teil der Schnittkraft vorstellbar, der auf je 1 mm² des Spanungsquerschnitts wirkt. Sie lässt auch als die zum Trennen einer Volumeneinheit notwendige Energie interpretieren [DEN11].

Im Rahmen seiner Untersuchungen stellte Kronenberg 1927 die Abhängigkeit $k_c = f(A)$ in doppelt logarithmischer Darstellung als Gerade dar, die nach ihm „Kronenberg-Gerade“ genannt wird [KRO27]. Weitere Untersuchungen zeigten, dass k_c kaum von der Spanungsbreite b , sondern fast ausschließlich von der Spanungsdicke h abhängt (Bild 6).

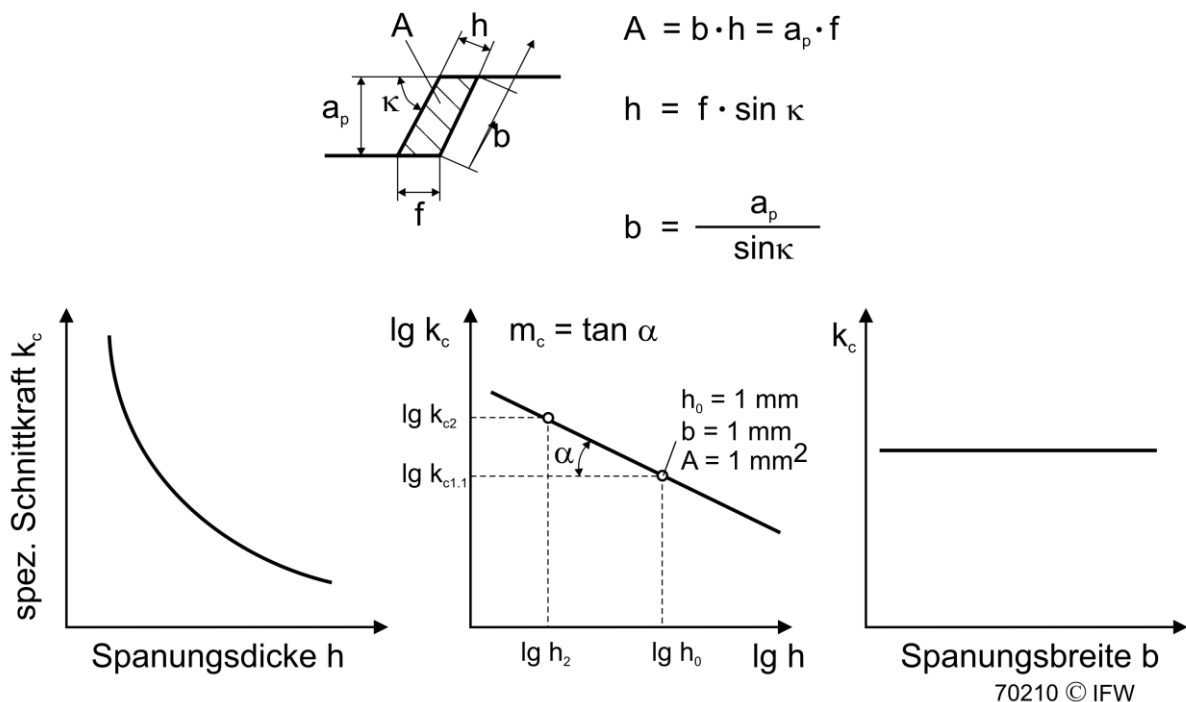


Bild 6: Spezifische Schnittkraft als Funktion der Spanungsdicke und –breite

Kienzle drückte als erster den Zusammenhang zwischen der spezifischen Schnittkraft k_c und der Spanungsdicke h durch ein Potenzgesetz aus [KIE52]:

$$k_c = C_1 \cdot h^{-m_c}$$

Der Exponent m_c nennt sich „Anstiegswert der spezifischen Schnittkraft“. Gemäß Bild 6 ergibt sich für die spezifischen Schnittkräfte und m_c folgender Zusammenhang:

$$\lg \left(\frac{k_{c2}}{k_{c1.1}} \right) = -m_c \cdot \lg \left(\frac{h_2}{h_0} \right)$$

Für einen gedachten Spanungsquerschnitt A mit 1 mm Spanungsdicke h und 1 mm Spanungsbreite b definierte Kienzle die Konstante C_1 als den $k_{c1.1}$ -Wert und nannte ihn „Hauptwert der spezifischen Schnittkraft“. Mit ihm ergibt sich die Schnittkraft F_c zu:

$$F_c = k_c \cdot b \cdot h = k_{c1.1} \cdot \left(\frac{h}{h_0}\right)^{-m_c} \cdot b \cdot h = k_{c1.1} \cdot b \cdot h_0 \cdot \left(\frac{h}{h_0}\right)^{1-m_c}$$

Durch geeignetes Umstellen lässt sich aus den Prozessstellgrößen, dem zuvor bestimmten Anstiegswert der spezifischen Schnittkraft und den Kraftmessungen der Hauptwert der spezifischen Schnittkraft berechnen.

In Tabellen der spez. Schnittkraft sind entweder die k_c -Werte in Abhängigkeit von h und dem Werkstoff oder die $k_{c1.1}$ -Werte und $1-m_c$ in Abhängigkeit vom Werkstoff aufgeführt. Beispielhaft sind in Tabelle 1 einige Werte angegeben.

Schnittgeschwindigkeit : $v_c = 100$ m/min
Schnitttiefe : $a_p = 3,0$ mm

	α	γ	λ	ε	κ	r_ε
Stahl	5°	6°	0°	90°	70°	0,8mm
Guss	5°	2°	0°	90°	70°	0,8mm

Werkstoff	Kenngröße	R_m MPa	Spezifische Zerspankräfte $k_{i1.1}$ in MPa (i = c, n, p)					Schneidstoff	
			$k_{c1.1}$	$1-m_c$	$k_{f1.1}$	$1-m_f$	$k_{p1.1}$		$1-m_p$
St 52-2		559	1499	0,71	351	0,30	274	0,51	P10
Ck 45 N		657	1659	0,79	521	0,51	309	0,60	P10
Ck 60		775	1686	0,78	285	0,28	259	0,59	P10
16 MnCr 5		500	1411	0,70	406	0,37	312	0,50	P10
100 Cr 6		624	1726	0,72	318	0,14	362	0,47	P10
GG-30		HB=206	899	0,59	170	0,09	164	0,30	K10
G-ALMg4SiMn*)		260	487	0,78					K10
X22CrNiMoNb1810**)		588	1397	0,76					K10

*) $v_c = 400$ m/min $\gamma = 15^\circ$ **) $v_c = 100$ m/min $\alpha = 8^\circ$

Tabelle 1: Spezifische Zerspankräfte für das Drehen

Zusammengefasst:

Die spez. Schnittkraft k_c beim Drehen (und auch bei anderen spanenden Verfahren) ist **keine** Konstante. Sie ist abhängig von:

- dem Werkstückstoff,
- dem Schneidstoff,
- der Spanungsdicke h,

- der Werkzeuggeometrie, insbesondere dem Spanwinkel,
- der Schnittgeschwindigkeit v_c ,
- dem verwendeten Kühlschmierstoff.

Der $k_{c1.1}$ -Wert ist eine Materialkonstante und stellt den Hauptwert der spezifischen Schnittkraft für $b = 1 \text{ mm}$ und $h_0 = 1 \text{ mm}$ dar.

Zusätzliche Informationen zur Bestimmung der spezifischen Schnittkraft können z. B. [DEN11] entnommen werden.

4. Spanbildung

Die Spanbildung wird im Allgemeinen als ein zweidimensionaler Vorgang in der Ebene senkrecht zur Schneide betrachtet. Während des Eingriffs schiebt sich der Schneidkeil des Werkzeugs gegen den vom Werkstück abzutrennenden Werkstückstoff. Der Werkstückstoff wird gestaucht, bis die Stauchkraft groß genug ist, um eine Scherung in einer Fläche zu bewirken, die sich von der Schneidkante bis zur Werkstückoberfläche erstreckt. Sobald die Scherung einsetzt, gleitet der Span über die Spanfläche ab. Die Spanbildung kann in vier verschiedene Arten eingeteilt werden (Bild 7) [KLO08, DEN11].

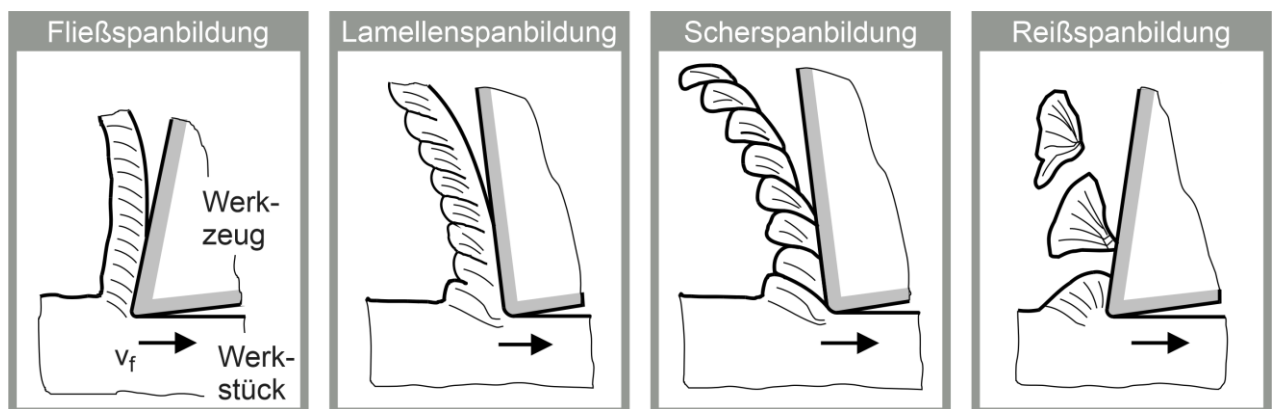


Bild 7: Spanbildungsarten nach [DEN11]

Bei der Fließspanbildung handelt es sich um eine kontinuierliche Form der Spanbildung. Der Span gleitet mit nahezu konstanter Geschwindigkeit über die Spanfläche ab. Begünstigt wird diese Form der Spanbildung durch ein gleichmäßiges, feinkörniges Gefüge und eine hohe Duktilität des Werkstoffs. Weiterhin wirkt sich eine geringe Reibung, durch positive Spanwinkel, sowie eine geringe Spanungsdicke positiv fördernd auf die Fließspanbildung aus.

Die Lamellenspanbildung ist ein gleichmäßiger, periodischer Spanbildungsvorgang. Im Gegensatz zur Fließspanbildung führen Formänderungsschwankungen zu sichtbaren

Lokalisierungen und z. T. Scherbändern. Die Frequenz der gebildeten Lamellen befindet sich im kHz-Bereich. Die Entstehung wird durch die dynamische Spannungsübertragung bei zeitlich stark variierenden Reibverhältnissen zwischen Werkzeug und Span erklärt. Insbesondere bei der Hochgeschwindigkeitszerspannung von gut verformbaren Werkstoffen höherer Festigkeit kann diese Spanart beobachtet werden.

Sobald der Spannungszustand in der Scherzone die Verformungsfähigkeit des Werkstoffs überschreitet, wird das Werkstoffgefüge getrennt und anschließend wieder verschweißt. Als Resultat der diskontinuierlichen Entstehung bildet sich ein noch zusammenhängender Span, der durch stark lokalisierte Verformungen gekennzeichnet ist. Die Scherspanbildung wird durch negative Spanwinkel, geringe Schnittgeschwindigkeiten und größere Spanndicken gefördert.


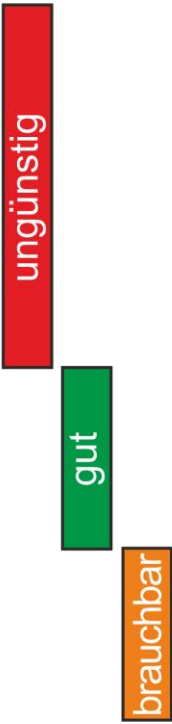







Reißspanbildung tritt zumeist bei der Zerspannung von Werkstoffen auf, die wenig plastisch verformbar sind oder starke Inhomogenität aufweisen (z. B. Gusseisen mit Lamellengraphit). Die Späne werden bei dieser Form der Spanbildung aus der Oberfläche gerissen. Die Folge ist eine durch kleine Ausbrüche beschädigte Oberfläche.

Eine weiterführende Behandlung der Spanbildungsmechanismen und ihrer Ursachen findet sich in [SHA04].

Während der Fließspanbildung kann es zur Bildung von Aufbauschneiden kommen. Hierbei lagern sich Werkstoffbestandteile an der Schneidkante und auf der Spanfläche ab. Die starke Verformung der Bestandteile führt zu einer Verfestigung, wodurch diese weit härter sind als der Grundwerkstoff. Aus der Aufbauschneidenbildung resultiert eine Veränderung der Schneidkeilgeometrie. Aufgrund einer mit der Aufbauschneidenbildung verbundenen Spanwinkelvergrößerung treten bei der Zerspannung geringere Kräfte auf. Das Abwandern der Aufbauschneiden ist häufig mit einem Mitreißen von Werkzeugpartikeln verbunden (adhäsiver Verschleiß). Zudem können sich kaltverfestigte Teile der Aufbauschneide in der Werkstückoberfläche einlagern und somit die Oberflächenqualität herabsetzen. Die Bildung von Aufbauschneiden ist daher i. d. R. unerwünscht. Mit zunehmender Schnittgeschwindigkeit nimmt die Aufbauschneidenbildung ab, da es aufgrund der höheren Temperaturen eine Kaltverfestigung verhindert wird [OPI64, DEN11].

Während die Einteilung in Spanarten Rückschlüsse auf die Spanbildung ermöglicht, kommt der Beurteilung der Spanform große Bedeutung im Hinblick auf die Prozesssicherheit und Bauteilqualität zu. Die Kategorisierung in acht Spanformklassen dient zur Charakterisierung der Spanform (Bild 7). Die Späne der Klassen 5 und 6 sind

erwünscht, während die Späne der Klassen 1 – 4 beispielsweise zu lang sind und die Maschine blockieren können.

	Spanraum- zahl RZ	Spanform- klasse	Beurteilung
Bandspäne 	≥ 90	1	
Wirrspäne 	≥ 90	2	
Flachwendel- späne 	≥ 50	3	
lange, zylindr. Wendelspäne 	≥ 50	4	
Wendelspan- stücke 	≥ 25	5	
Spiralspäne 	≥ 8	6	
Spiralspan- stücke 	≥ 8	7	
Bröckelspäne 	≥ 3	8	

nach: Stahl-Eisen-Prüfblatt 1178-90

34/09700 © IFW

Bild 7: Spanformen und Spanformklassen

5. Zerspankraftmessung

Indirekte Messung

Sind der mechanische Wirkungsgrad der Drehmaschine η_{mech} und der elektrische Wirkungsgrad η_{mot} bekannt, lässt sich aus der aufgenommenen elektrischen Leistung P_{mot} die Zerspanleistung P_c und daraus die Schnittkraft F_c berechnen:

$$P_{\text{ges}} = P_c = F_c \cdot v_c = F_c \frac{D \cdot \omega_{\text{Sp}}}{2}$$

v_c : Schnittgeschwindigkeit

ω_{Sp} : Winkelgeschwindigkeit der Spindel

D : Durchmesser des Werkstücks

$$P_c = P_{\text{mot}} \cdot \eta_{\text{mot}} \cdot \eta_{\text{mech}}$$

Direkte Messung

Die meisten Kraftmessverfahren sind Wegmessverfahren.

Ein elastischer Körper verformt sich nach dem Hooke'schen Gesetz unter der Einwirkung von Kräften. Die Verformung wird mit passiven Aufnehmern – Dehnungsstreifen oder induktiven Weggebern – in ein elektrisches Messsignal umgesetzt und gemessen. Eine Ausnahme bildet die Piezo-Quarz-Kraftmesszelle als aktiver Aufnehmer. Bei diesem Gebertyp wird der Effekt ausgenutzt, dass bestimmte Quarze unter Druck ihre Ladungsverteilung ändern. Ein früherer Nachteil, dass sich nur dynamische Vorgänge erfassen lassen, ist durch die Konstruktion moderner Ladungsverstärker praktisch beseitigt. Der Piezo-Quarz-Aufnehmer misst nahezu weglos.

Zerspankraftmessgeräte werden als Ein-, Zwei- und Dreikomponenten-Messgeräte ausgeführt. Um ein möglichst genaues Ergebnis zu erhalten, sind folgende Anforderungen an das Messsystem zu stellen:

- eine hohe Eigenfrequenz des Messsystems, d.h. eine statistische und dynamische Steifigkeit, die der Charakteristik einer normalen Werkzeugspannung entspricht;
- eine hohe Empfindlichkeit bei geringen Messwegen (zur Vermeidung von unerwünschten Änderungen der Eingriffsverhältnisse);
- eine geringe gegenseitige Beeinflussung der einzelnen Kraftkomponenten;
- eine große Messsicherheit, d.h. ungehinderter Spanablauf, leichte Einmessung, geringe Hysterese- und Nullpunktfehler und geringe Temperaturbeeinflussung;
- eine universelle Einsatzmöglichkeit, d.h. großer Messbereich, geringe Baugröße, Verwendung normaler Werkzeuge und gute Anpassung an vorhandene Werkzeugmaschinen und Messgeräte.

Ausführungen einiger Zerspankraftmessgeräte

Einkomponenten-Zerspankraftmessgerät nach Schallbroch-Schaumann

Der Messstahlhalter (Bild 9) besteht aus einem starren Gehäuse a, in dem ein Pendelkörper d schwenkbar um e gelagert ist. In diesem Pendelkörper wird der Meißel mittels der Spannschrauben b eingespannt und die auf ihn wirkende Schnittkraft auf eine Messfeder f übertragen.

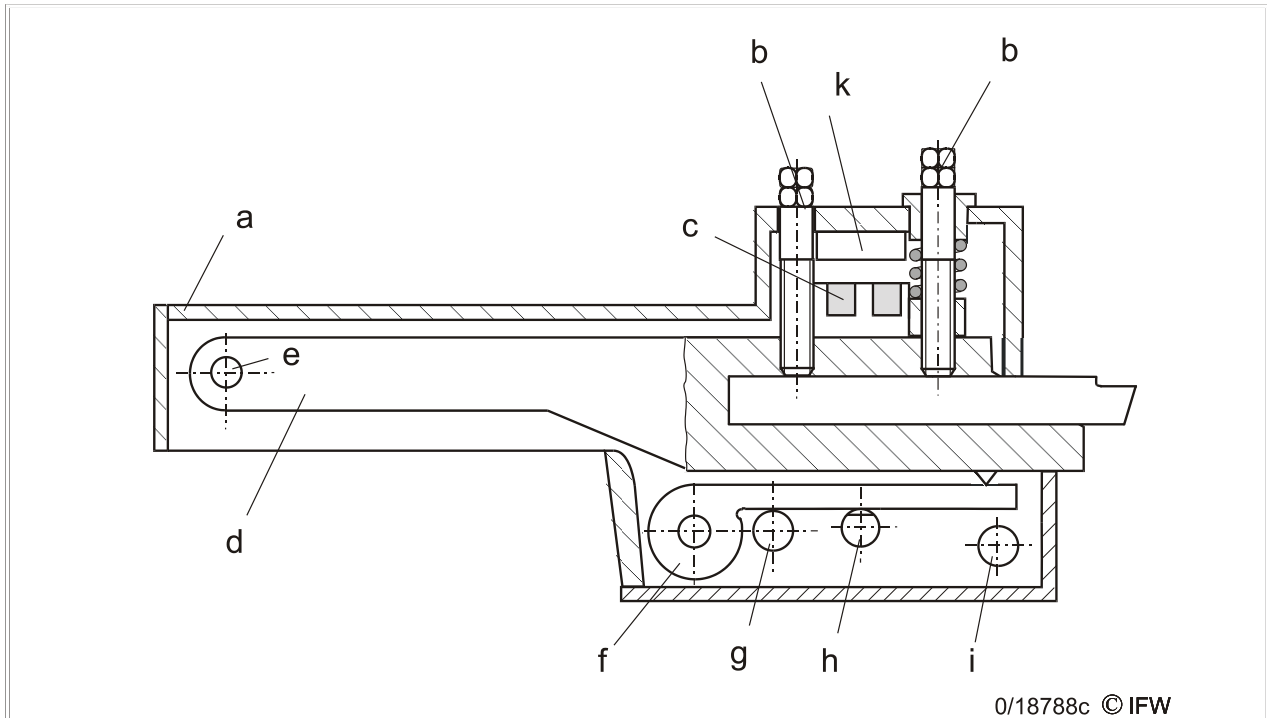


Bild 9: Einkomponenten-Zerspankraftmesser nach Schallbroch-Schaumann

Der Zerspankraftmesser besitzt zwei Messbereiche: im Messbereich 1 für $F_c = 30 - 1.000 \text{ N}$ stützt sich die Messfeder auf dem Bolzen g ab. Der Bolzen h ist drehbar gelagert und auf einer Seite angeflacht. Dreht man die Fläche von der Messfeder weg, stützt diese sich auf h ab und es ist der Messbereich 2 für $F_c = 300$ bis 5.000 N eingeschaltet. Bolzen i ist eine Überlastsicherung.

Auf dem Pendelkörper ist eine Spule c befestigt, an dem Gehäuse der Anker k. Der Luftspalt und damit die Induktivität ändert sich mit der Schnittkraft F_c .

Dreikomponenten-Zerspankraftmessgerät mit Piezo-Quarz-Aufnehmern

Das Zerspankraftmessgerät (Bild 10) besitzt vier piezoelektrische Kraftmesszellen, die zwischen Grund- und Deckplatte mit je 15.000 N vorgespannt sind. Der eigentliche Aufnehmer besteht aus drei Quarz-Paaren, von denen das mittlere die Schnittkraft F_c anzeigt. Die beiden anderen sind als Schubquarze ausgebildet und in ihrer Wirkungsrichtung um 90° versetzt eingebaut, so dass mit ihnen F_f und F_p gemessen werden können. Die gegenseitige Beeinflussung der Komponenten wird elektrisch kompensiert; die Eigenfrequenz liegt zwischen 3 kHz (F_f) und 5 kHz (F_c).

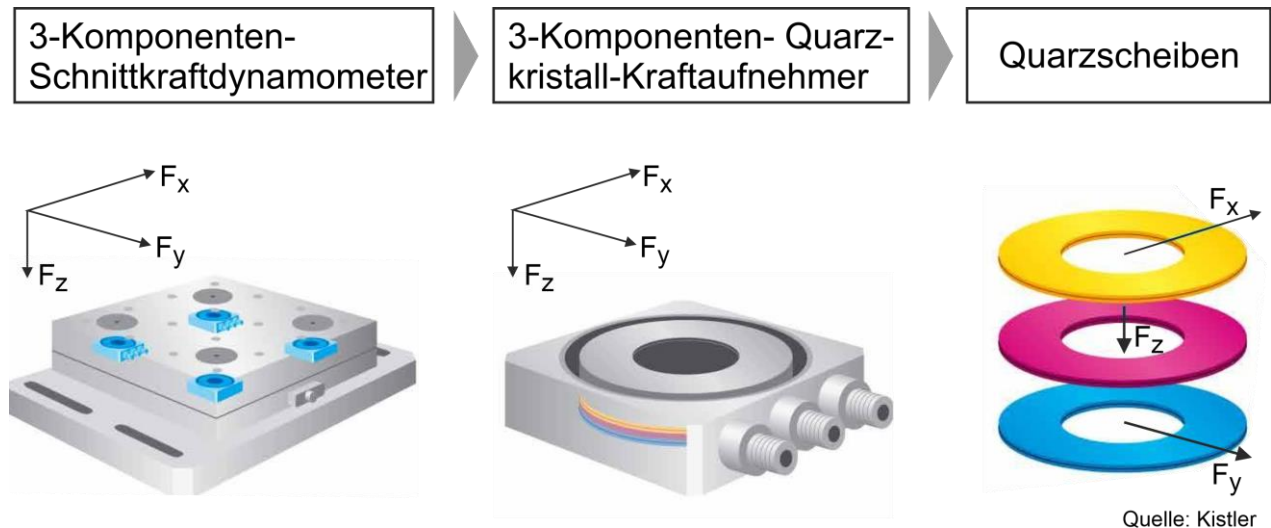


Bild 10: 3-Komponenten-Schnittkraftmesser

6. Versuchsaufbau

Versuchsmaschine

Für die Versuche zum allgemeinen Maschinenlabor wird die folgende Maschine mit ihren dargestellten Spezifikationen eingesetzt.

CNC-Drehmaschine Gildemeister CTX 520 L

- Nennleistung: $P_A = 145 \text{ kW}$
- Drehzahl (stufenlos): $0 - 10.000 \text{ min}^{-1}$
- Spitzenweite: 1300 mm
- Max. Drehdurchmesser: 440 mm
- 12 - fach Revolverscheibe

Zerspankraftmessgerät

Es wird das unter 5.3.2 beschriebene Dreikomponenten-Zerspankraftmessgerät mit Piezo-Quarzaufnehmer (Dynamometer) einschließlich Ladungsverstärker und Anzeigeinstrumenten eingesetzt.

Werkstück – Werkzeug

- Werkstückstoff: C45N ($R_m = 600 - 800 \text{ N/mm}^2$)
- Drehwerkzeug: Wendeplattenhalter mit Wendeschneidplatten (WSP)
- Schneidstoff: Oxidkeramik oder Hartmetall

Verfahren:

Längsdrehen mit Variation der Maschineneinstellgrößen:

- Vorschub f
- Schnittgeschwindigkeit v_c .

7. Literatur

- [DIN6580] N.N.: Begriffe der Zerspantechnik – Bewegung und Geometrie des Zerspanvorganges, DIN 6580, 1985
- [DIN6581] N.N.: Begriffe der Zerspantechnik – Bezugssysteme und Winkel am Schneidteil des Werkzeuges, DIN 6581, 1985
- [DIN8589] N.N.: Fertigungsverfahren Spanen, Drehen, DIN 8589 Teil 1, 1982
- [KIE52] Kienzle, O.: Die Bestimmung von Kräften und Leistungen an spanenden Werkzeugen und Werkzeugmaschinen. VDI-Z Jg. 94 H. 11/12, S. 299-305, 1952
- [KLO08] Klocke, F.; König, W.: Fertigungsverfahren – Drehen, Fräsen, Bohren, Springer Verlag 8., neu bearbeitete Auflage, 2008
- [KRO27] Kronenberg, M.: Grundzüge der Zerspanung. 1. Aufl., Verlag von Julius Springer, 1927
- [OPI62] Opitz, H.; Gappisch, M.: Die Aufbauschneidenbildung bei der spanenden Bearbeitung. Forschungsbericht des Lds. Nordrhein.-Westf. Nr. 1349, Köln, Westdeutscher Verlag, 1964
- [SHA04] Shaw, M.C.: Metal Cutting Principles, Oxford University Press, New York, 2. Aufl. 2004
- [DEN11] Denkena, B.; Tönshoff, H.K.: Spanen Grundlagen, Springer-Verlag Berlin, 3. Aufl. 2011

8. Fragen zur Vorbereitung

Die nachfolgenden Fragen sollen Ihnen aufzeigen, ob Sie die Sachverhalte des Versuchs verstanden haben und Ihnen einen Eindruck vom Schwierigkeitsgrad des Testats geben.

- Aus welchem Grund kann es beim Außenlängsdrehen unter Umständen sinnvoll sein den Einstellwinkel zu ändern?
- Nennen Sie min. drei Drehverfahren nach DIN 8589 Teil 1.
- Aus welchen Komponenten setzt sich die Zerspankraft F_z zusammen?
- Was wird unter der spezifischen Schnittkraft k_c verstanden?
- Von welchen Faktoren ist die spezifische Schnittkraft k_c abhängig?
- Was ist der Unterschied zwischen Spanform und Spanart?
- Welche Spanformen und Spanarten existieren?
- Was wird unter Aufbauschneidenbildung verstanden?
- Welche Kraftmessverfahren existieren zur direkten Kraftmessung?
- Beschreiben Sie das Vorgehen bei der indirekten Messung von Zerspankräften und beurteilen Sie die Genauigkeit des Verfahrens.
- Nennen Sie einige Anforderungen, die an ein Kraftmesssystem zu stellen sind.

Aufgabenblatt: Zerspankraftmessung beim Drehen

Erstellen Sie ein **vollständiges Versuchsprotokoll** pro Teilgruppe. Dazu gehören ein Deckblatt, ein Inhaltsverzeichnis, eine kurze Beschreibung des Versuchsaufbaus und der Versuchsdurchführung und eine Auswertung. Gehen Sie bei der Auswertung besonders auf die nachfolgenden Aufgabenstellungen ein:

1. Geben Sie die Spanformklassen für die bei der Versuchsdurchführung aufgetretenen Späne in Abhängigkeit von den Prozessparametern an (siehe Messprotokoll).
2. Stellen Sie den Verlauf der Schnittkraft F_c , der Vorschubkraft F_f und der Passivkraft F_p wie folgt dar:
 - a) für den ersten Teil die drei Kraftkomponenten über der Schnittgeschwindigkeit v_c
 - b) für den zweiten Teil die drei Kraftkomponenten über dem Vorschub f
3. Berechnen Sie die spezifischen Schnittkräfte k_c und geben Sie die Ergebnisse in einer Tabelle wieder.
4. Erstellen Sie zwei Diagramme:
 - a) die spezifische Schnittkraft k_c über die Spanungsdicke h (nur für variierendem Vorschub)
 - b) die spezifische Schnittkraft k_c über die Spanungsdicke h im **doppelt logarithmischen** Maßstab (Empfehlung: Matlab-Diagramme, nur für variierendem Vorschub).
5. Bestimmen Sie den Hauptwert der spezifischen Schnittkraft $k_{c1.1}$ und den Anstiegswert $1-m_c$.
6. Vergleichen Sie die berechneten Werte $k_{c1.1}$ und den Term $1-m_c$ mit den Werten, die dem Diagramm im Umdruck entnommen werden können. Gehen Sie insbesondere auf die Prozessparameter und den Werkstückstoff/Schneidstoff ein.
7. Diskutieren Sie die Kurven aus 2b) und 4 (Ursachen, Einflüsse, Gründe).
8. Was ist der Unterschied zwischen Spanform und Spanart?

Einige Regeln zur Formatierung und Grundlegendes:

- Datennamen bitte einheitlich und zwar in folgender Form:
 - Gruppennr.-Fachbereich (Mechatronik/Maschbau).pdf
- Es gibt zwei Korrekturmöglichkeiten des Protokolls
- Korrekturabgaben sind nach 3 Werktagen wieder einzureichen
- Ein Versuchsprotokoll enthält Seitenzahlen
- Tabellen haben Überschriften, Abbildungen haben Unterschriften
- Kapitel werden nummeriert
- Blocksatz
- Einheitlicher Zeilenabstand

- Schriftgrößen werden sinnvoll gewählt, also bitte keine 10 verschiedenen Schriftgrößen in einem Dokument!
- Messwerte sinnvoll runden. Es bringt nichts, 10 Stellen nach dem Komma anzugeben, wenn nur drei gemessen wurden.
- Formeln und Rechenwege müssen nachvollziehbar sein
- Formeln vernünftig formatieren. Insbesondere als angehende Ingenieure solltet Ihr in der Lage sein Formeln ordentlich, übersichtlich und zeitgemäß darzustellen. Egal ob in Word, LaTeX oder den diversen OpenSource Varianten, es gibt immer Möglichkeiten Formeln darzustellen. $F=m \cdot a$ oder $(a+b)^2$ hat heutzutage nichts mehr in einem Protokoll verloren. Es gibt zahlreiche Tutorials und zu vielen Zeichen gibt es sogar ganze Wikipedia-Artikel in denen man schnell fündig wird (z.B. für Windows Malzeichen „.“ : Alt + 0183; „x“ : Alt + 0215)
- Skalierungen für die jeweilige Darstellung des Graphen sinnvoll wählen
- Bei Fragen zu Darstellungen können auch die Normen DIN 461 und DIN 1338 zu Rate gezogen werden. Beide sind auch als Wikipedia-Artikel zu finden. Diese müssen nicht exakt erfüllt werden, bieten aber für viele allgemeine Fragen hilfreiche Anhaltspunkte, auch über das Protokoll zu diesem Versuch hinaus.
- Die Beschriftung der Achsen muss so gewählt sein, dass ersichtlich ist, dass es sich um eine logarithmische oder eine lineare Skalierung handelt (mehr als zwei Zahlenwerte)
- Alles bitte kurz und knapp und mit eigenen Worten beschreiben. Fremdwörter sind zwar manchmal toll, bringen aber nichts, wenn sie nichts aussagen und nicht zum Verständnis beitragen!

Protokolle, in welchen diese Regeln missachtet werden, gehen ungelesen zurück!!!

Organisatorisches:

Protokoll:	1 Protokoll pro Gruppe (gilt als Gruppenleistung!)
Abgabe:	Spätestens eine Woche nach Versuchsdurchführung
Testat:	Dauer: 10 min pro Gruppe vor der Versuchsdurchführung , Siehe Terminaushang TFD

AML

Messprotokoll: Zerspankraftmessung beim Drehen

Schneidstoff: HW K20

Werkstückstoff: C45N

Schneidengeometrie:

α	γ	λ	ϵ	κ	r_ϵ
6°	-6°	-6°	90°	75°	0,8 mm

Schnittgeschw. v_c in m/min	Vorschub f in mm	Schnitttiefe a_p in mm	Schnittkraft F_c in N	Passivkraft F_p in N	Vorschubkr. F_f in N	Span- form
Richtung in Messung						
150	0,25	0,75				
250	0,25	0,75				
400	0,25	0,75				
600	0,25	0,75				
1000	0,25	0,75				
400	0,40	0,75				
400	0,30	0,75				
400	0,25	0,75				
400	0,20	0,75				
400	0,15	0,75				

Name (in Blockschrift)	Matr.-Nr.
Versuchsdatum:	Gruppe: