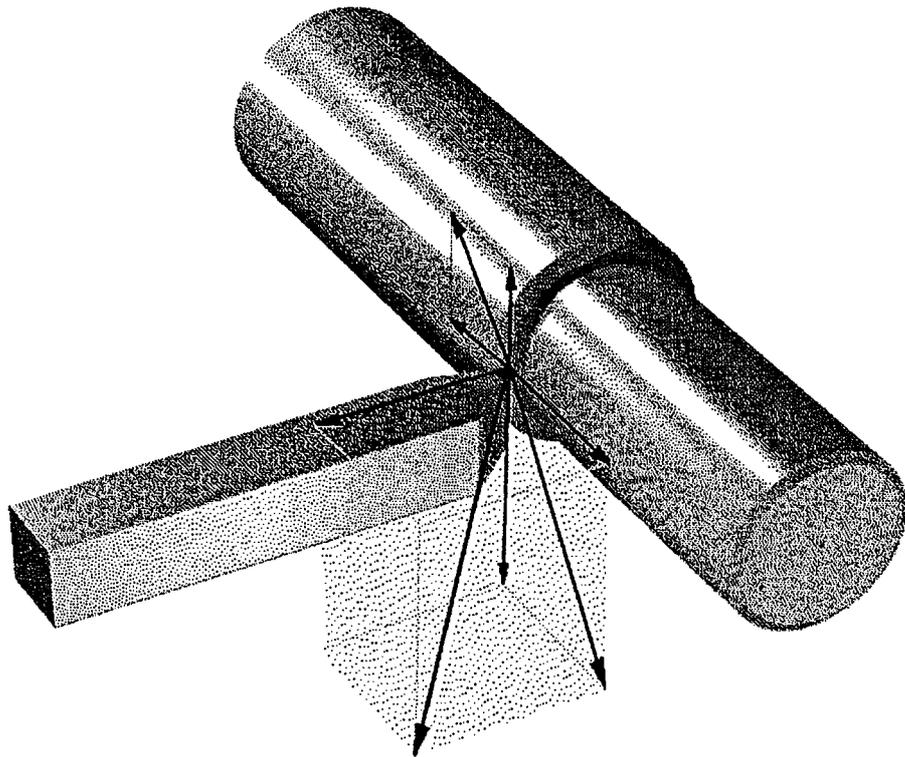


Fachbereich Maschinenbau  
Institut für Produktionstechnik

**Laborbericht**  
**Zerspankraftmessung**



## Inhalt

1	Einleitung.....	2
2	Versuchsaufbau, verwendete Maschinen, Messgeräte und Werkzeuge.....	2
2.1	Versuchsaufbau.....	2
2.2	Maschinen, Werkzeuge und Messgeräte.....	2
3	Grafische Darstellung der Zerspankraftkomponenten und der spezifischen Zerspankräfte.....	3
3.3	Variation der Schnitttiefe.....	3
1.4	Variation des Einstellwinkels.....	4
1.5	Variation des Vorschubes.....	5
1.6	Interpretation der Messergebnisse.....	6
4	Grafische Ermittlung der spezifischen Kenngrößen bei Variation des Vorschubes.....	6
4.1	Logarithmische Darstellung.....	6
4.2	Ablezen der Kenngrößen der spezifischen Schnittkraft.....	7
4.3	Interpretation der Ergebnisse.....	7
5	Anwendung der spezifischen Kenngrößen am Beispiel.....	7
5.1	Randbedingungen.....	7
5.2	Berechnung der erforderlichen Schnittleistung.....	8
5.2.1	Berechnung der spezifischen Schnittkraft.....	8
5.2.2	Berechnung der Schnittkraft.....	8
5.2.3	Berechnung der Schnittleistung.....	8
5.2.4	Einfluss des Spanwinkels auf die Leistung.....	8
5.3	Literaturvergleich.....	8
6	Abschließende Betrachtung.....	9
7	Verwendete Literatur.....	9

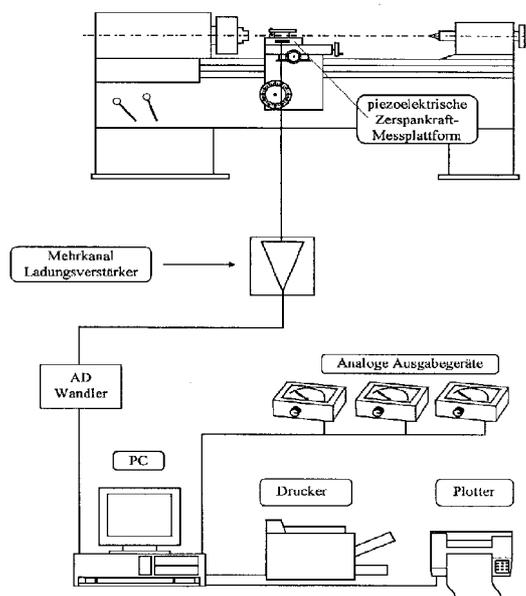
## 1 Einleitung

Ziel dieses im Rahmen der Vorlesung Fertigungsverfahren 2 durchgeführten Versuches war die Messung der Zerspankraft beim Drehen, aufgenommen in drei Versuchsreihen zur Variation von Schnitttiefe, Einstellwinkel und Vorschub, jedoch zerlegt in die drei Komponenten Schnittkraft, Vorschubkraft und Passivkraft. Im praktischen Teil des Laborversuches wurde von unserer Arbeitsgruppe allerdings lediglich die Messreihe mit veränderlichem Vorschub durchgeführt, während die Messwerte der beiden anderen Reihen bereits auf Datenträger vorlagen. Jede Reihe bestand aus drei von den Messbedingungen her identischen Durchläufen mit jeweils 2000 Abtastwerten für jeden variierten Parameter, aus denen zur statischen Absicherung der Daten arithmetische Mittelwerte gebildet wurden, sodass letztlich für jede Kraftkomponente und veränderte Einstellung jeweils genau ein Wert zur Verfügung stand.

Die vorliegende Versuchsauswertung hatte die grafische Darstellung dieser Messdaten, die Berechnung spezifischer Kenngrößen aus den Werten, sowie die Interpretation der Ergebnisse zum Gegenstand.

## 2 Versuchsaufbau, verwendete Maschinen, Messgeräte und Werkzeuge

### 2.1 Versuchsaufbau



### 2.2 Maschinen, Werkzeuge und Messgeräte

Drehmaschine:	Firma Schaerer, Industriewerke Karlsruhe Typ PD 500 Baujahr 1961 Spitzenhöhe 150 mm Spitzenweite 1000 mm
Kräfte- Messgerät:	Drei-Komponenten- Zerspankraft- Messplattform mit Ladungsverstärker Fa. Kistler AG Winterthur CH Typ 9257 B
Drehmeißel – Schneidstoff:	Hartmetall- Wendeschneidplatten Komet P25M

### 3 Grafische Darstellung der Zerspankraftkomponenten und der spezifischen Zerspankräfte

#### 3.3 Variation der Schnitttiefe

$a_p$ in mm	A in mm <sup>2</sup>	$F_p$ in N	$k_p$ in N/mm <sup>2</sup>	$F_f$ in N	$k_f$ in N/mm <sup>2</sup>	$F_c$ in N	$k_c$ in N/mm <sup>2</sup>
1,00	0,200	200,578	1002,891	87,811	439,053	418,133	2090,663
2,00	0,400	367,350	918,374	126,967	317,416	773,994	1934,985
3,00	0,600	543,244	905,407	182,091	303,485	1130,698	1884,496
4,00	0,800	732,303	915,379	245,581	306,976	1499,436	1874,296

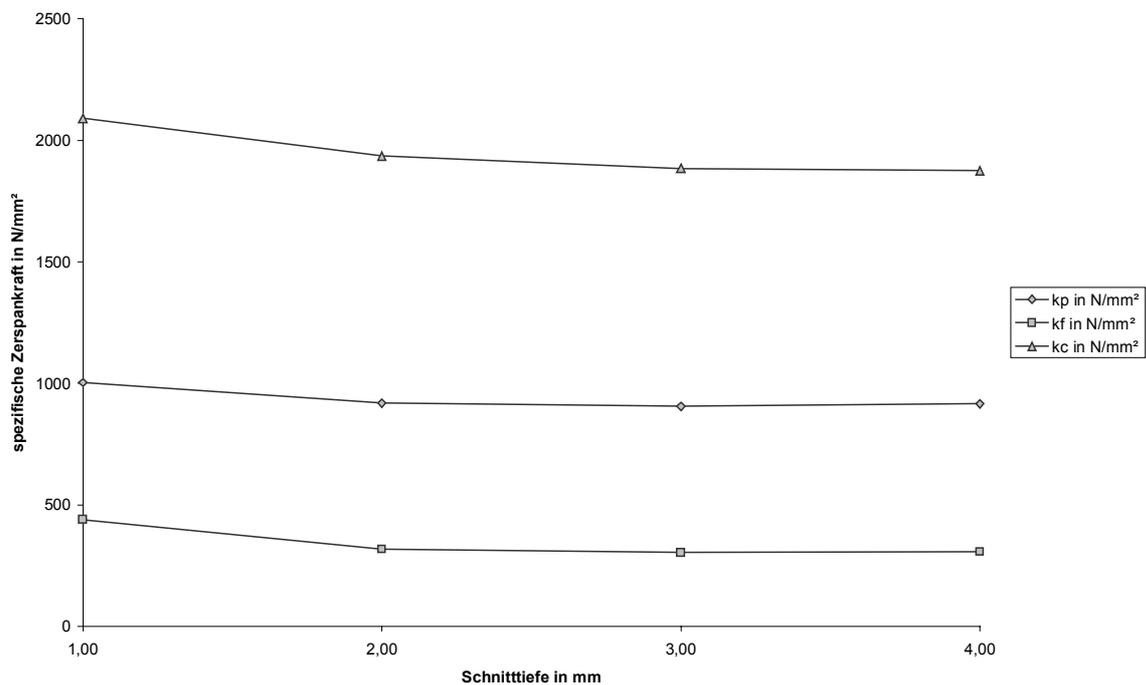
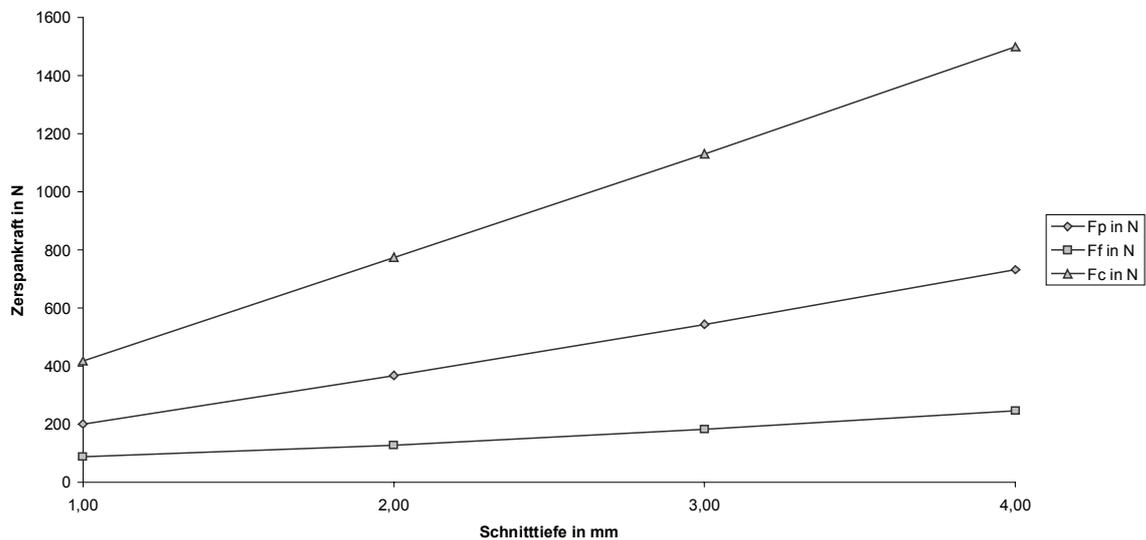
#### Messung 1 - Variation der Schnitttiefe

$v_c = 96$  m/min;  $f = 0,2$  mm

HM-Wendeschneidplatten-Halter mit Komet P25M

$\chi = 75^\circ$ ;  $\gamma = 12^\circ$

Werkstoff: 9SMn28



## 3.4 Variation des Einstellwinkels

$\chi$ in $^\circ$	b in mm	h in mm	$F_p$ in N	$k_p$ in N/mm <sup>2</sup>	$F_f$ in N	$k_f$ in N/mm <sup>2</sup>	$F_c$ in N	$k_c$ in N/mm <sup>2</sup>
45	4,243	0,141	692,602	1154,336	663,688	1106,147	1531,034	2551,723
60	3,464	0,173	440,309	733,848	758,015	1263,358	1384,729	2307,882
75	3,106	0,193	238,466	397,444	736,853	1228,088	1385,846	2309,743
90	3,000	0,200	84,311	140,518	763,316	1272,194	1416,787	2361,311

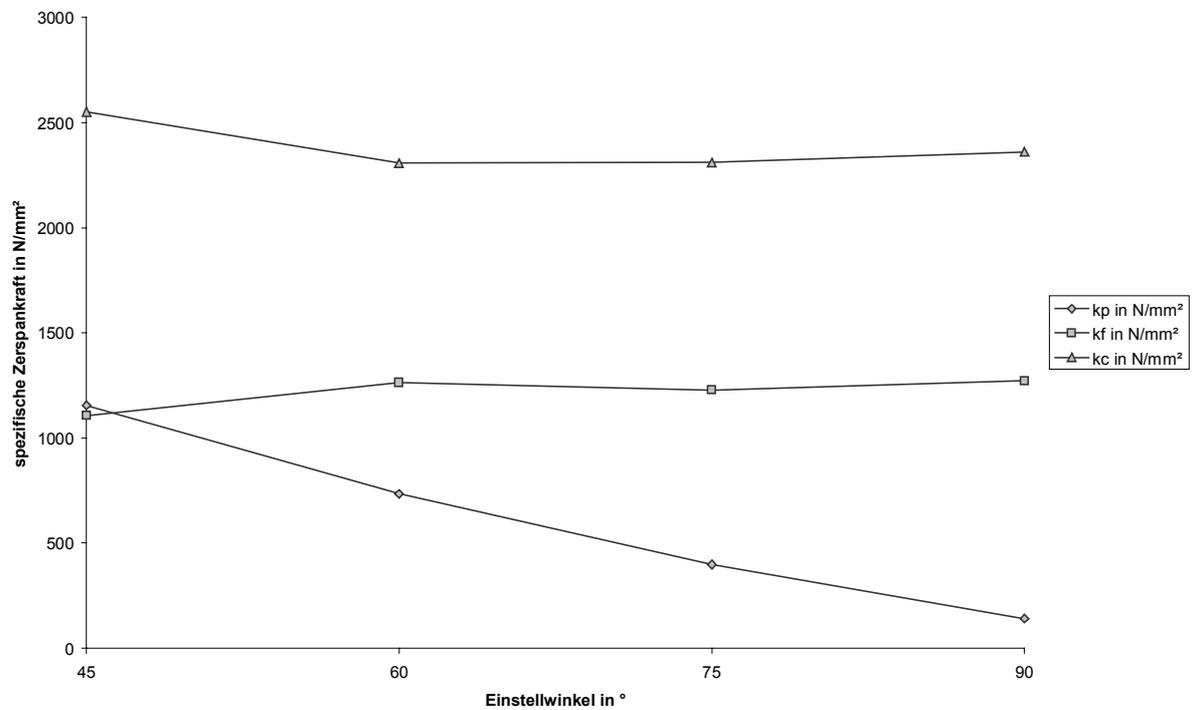
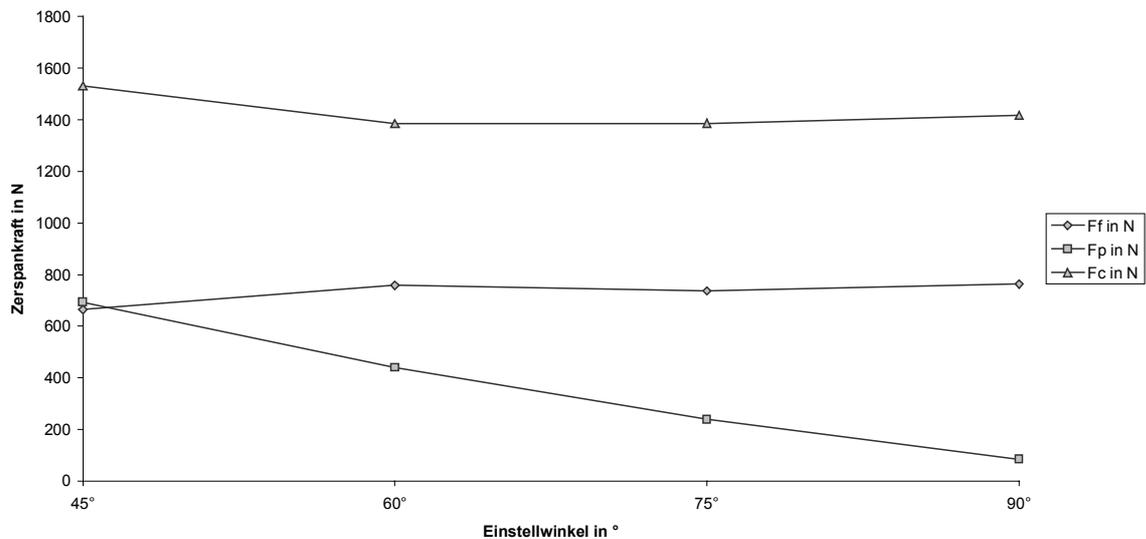
## Messung 2 - Variation des Einstellwinkels

 $v_c = 96$  m/min;  $f = 0,2$  mm;  $a_p = 3$  mm

HM-Wendeschneidplatten-Halter mit Komet P25M

 $\gamma = 12^\circ$ 

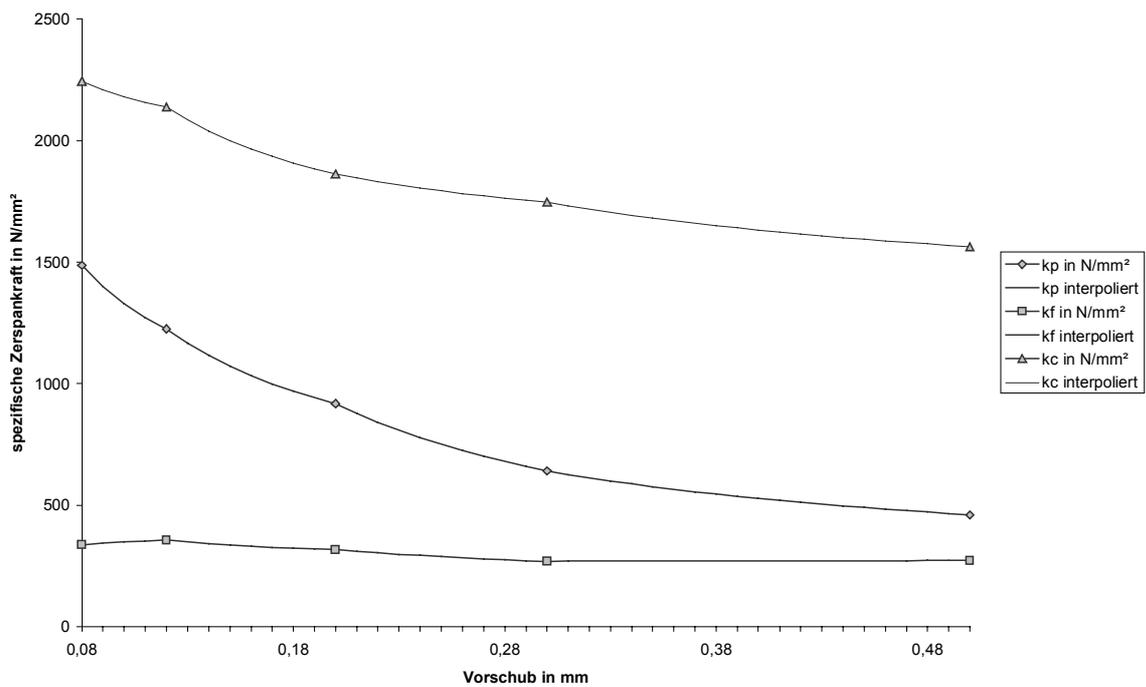
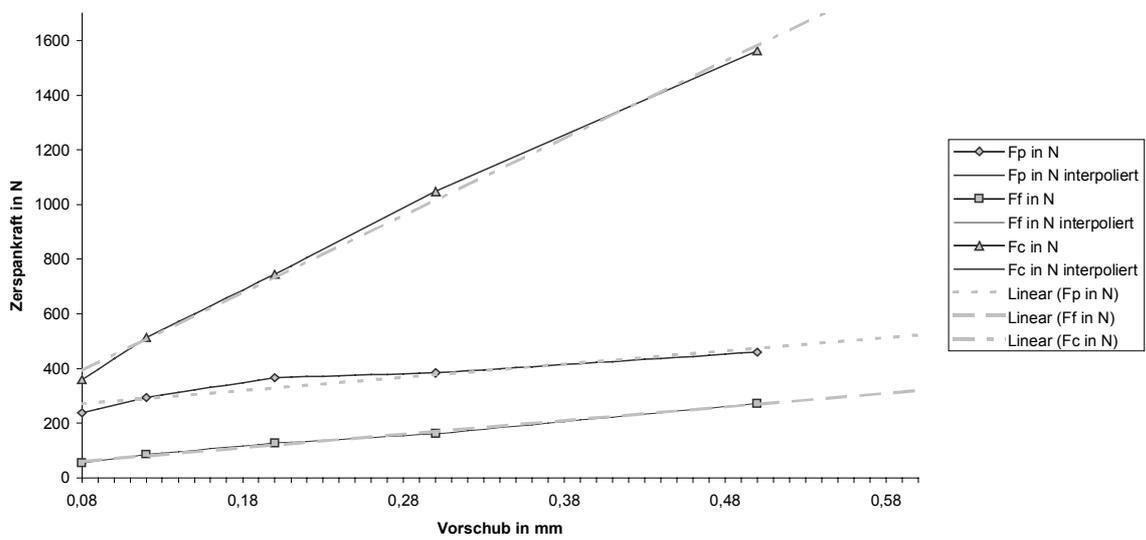
Werkstoff: 9SMn28



3.5 Variation des Vorschubes

f in mm	h in mm	F <sub>p</sub> in N	k <sub>p</sub> in N/mm <sup>2</sup>	F <sub>f</sub> in N	k <sub>f</sub> in N/mm <sup>2</sup>	F <sub>c</sub> in N	k <sub>c</sub> in N/mm <sup>2</sup>
0,08	0,077	237,858	1486,615	53,930	337,063	359,127	2244,547
0,12	0,116	293,956	1224,818	85,331	355,545	513,053	2137,721
0,20	0,193	366,860	917,150	126,591	316,477	745,068	1862,670
0,30	0,290	384,116	640,193	160,957	268,262	1048,070	1746,784
0,50	0,483	460,015	460,015	272,011	272,011	1563,101	1563,101

**Messung 3 - Variation des Vorschubs**  
 v<sub>c</sub> = 96 m/min; a<sub>p</sub> = 2 mm  
 HM-Wendeschneidplatten-Halter mit Komet P25M  
 γ = 12°  
 Werkstoff: 9SMn28



### 3.6 Interpretation der Messergebnisse

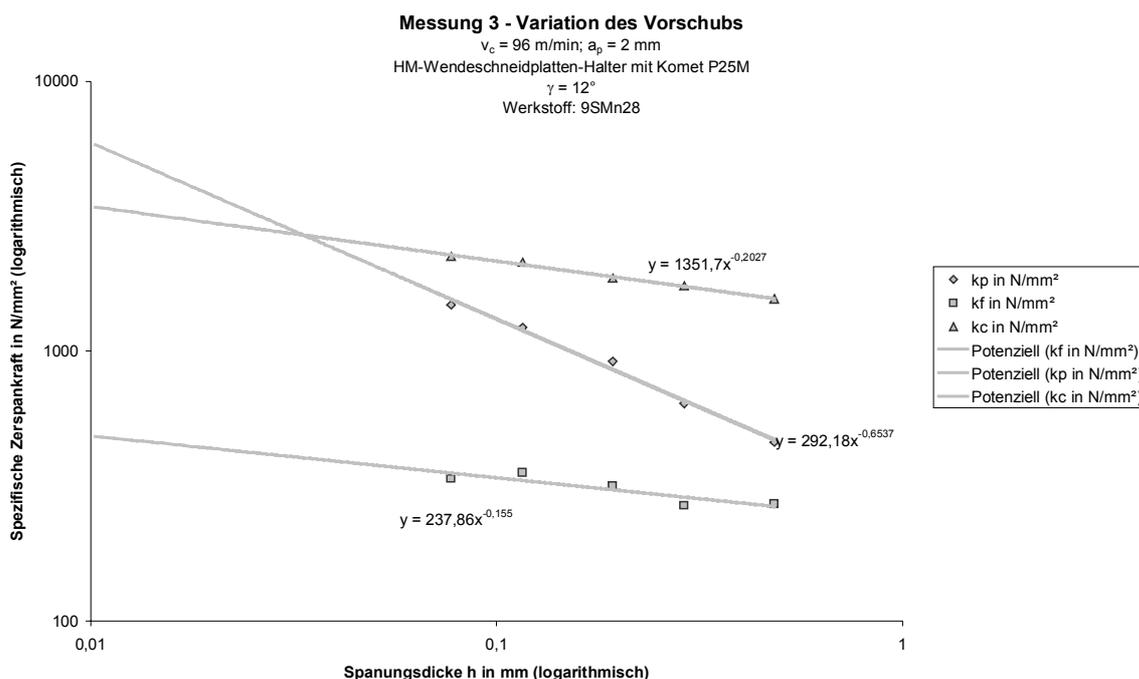
Für die Darstellung der Zerspankräfte über der Schnitttiefe (Messung 1) ergeben sich laut W. Degner: Spanende Formung, S. 82f. eigentlich Ursprungsgeraden. Zwar ist in unseren Diagrammen die lineare Proportionalität ebenfalls eindeutig erkennbar, jedoch erhalten wir hier Achsenabschnitte. Dies ist wohl darauf zurückzuführen, dass in den Literaturwerten, im Gegensatz zu unserer Messung, die Reibungskraft vom Werkzeug auf dem Werkstück sowie Auswirkungen der Oberflächenverfestigung herausgerechnet wurden. Noch deutlicher wird dieser Effekt bei der Betrachtung der spezifischen Zerspankräfte, denn dort hätten sich ja zwangsläufig waagerechte Geraden ergeben müssen. Stattdessen sind die Grafen besonders im unteren Bereich leicht abfallend.

Die Erhöhung des Einstellwinkels (2. Messung) führte bei der Passivkraft erwartungsgemäß zu einer fallenden Kurve, da die Passivkraft ja nur die radiale Komponente einer in der Schneidenebene senkrecht auf der Schneide stehenden Kraft (Reaktion auf die Normalkraft) ist. Auf die axiale Komponente, die Vorschubkraft, ist der Einfluss, ebenso wie auf die Schnittkraft dagegen eher gering, da der Spanungsquerschnitt ja konstant blieb. Geringfügige Veränderungen sind dabei mit den durchgeführten Messungen kaum zu klären.

Das Diagramm für Messung 3 zeigt, dass mit steigendem Vorschub die Zerspankraftzunahme geringer wird. Nach W. Degner: Spanende Formung, S. 85f. ist dies auf eine Erhöhung der Oberflächenverfestigung zurückzuführen, die bei konstant bleibendem (weil maximalem) Gesamtumformgrad im Werkstoff den Anteil der Spanumformung kleiner werden lässt. Bei der Darstellung der spezifischen Werte, welche ja den Tangentensteigungen der Kräfte entsprechen, hat das fallende Kurven zur Folge.

## 4 Grafische Ermittlung der spezifischen Kenngrößen bei Variation des Vorschubes

### 4.1 Logarithmische Darstellung



## 4.2 Ablesen der Kenngrößen der spezifischen Schnittkraft

Für die Gleichung der Ausgleichsgerade im logarithmischen Diagramm lesen wir ab:  $y = 1351,7x^{-0,2027}$

Darin ist:  $y = k_c(h)$  in  $\frac{N}{mm^2}$  und  $x = h$  in  $mm$

Die Funktion lautet also:  $k_c(h) = 1351,7 \frac{1}{h^{0,2027}}$

Somit erhalten wir für den Hauptwert:  $k_{c1.1} = k_c(h = 1mm) = \underline{\underline{1351,7 \frac{N}{mm^2}}}$

und für den Spannungsdickenexponent:  $m_c = -\log_h |k_c(h)| = \underline{\underline{0,2027}}$

## 4.3 Interpretation der Ergebnisse

Um die ermittelten Werte mit Tabellenwerten vergleichen zu können, müssen die maßgeblichen Schnittbedingungen ebenfalls gleich sein. Unsere Messungen wurden mit einem Spanwinkel  $\gamma = +12^\circ$  durchgeführt, die Tabelle im Tabellenbuch Metall, Verlag Europa-Lehrmittel, S. 274 weist jedoch nur Werte für  $\gamma = +6^\circ$  aus, sodass eine Korrektur der Ergebnisse vorgenommen werden muss.

Nun gilt nach W. Degner: Spanende Formung, S. 91, dass eine Erhöhung des Spanwinkels um  $1^\circ$  eine Zunahme der Schnittkraft um ca. 1,5% zur Folge hat, unsere Messergebnisse somit um rund 9% über dem theoretischen Vergleichswert liegen. Dieser beträgt für den Hauptwert  $k_{c1.1}$  demnach etwa  $1240N/mm^2$  und ist deutlich niedriger als der aus der Tabelle für 9SMn28 von  $1310N/mm^2$ . Auch der errechnete Spannungsdickenexponent  $m_c$  ist mit über 0,2 um mehr als 10% zu groß (Tab.: 0,18), d.h. die berechnete Ausgleichsgerade ist zu steil.

Hier zeigt sich die eingeschränkte Übertragbarkeit der Versuchsergebnisse auf andere Schnittbedingungen. Die Messungen wurden im Laborversuch für einen relativ schmalen Bereich ( $0,077mm \leq h \leq 0,483mm$ ) durchgeführt, die Ausgleichsgerade bei der Berechnung der Kenngrößen jedoch bis  $h = 1mm$  „verlängert“, sodass Messunsicherheiten leicht zu großen Abweichungen sowohl für den Hauptwert als auch für die Steigung führen können. Dazu passt, dass sich die Werte bei einer gedachten Drehung der Gerade gegen den Uhrzeigersinn in die „richtige“ Richtung bewegen. Dennoch werden im folgenden Berechnungsbeispiel unsere Messergebnisse zu Grunde gelegt.

# 5 Anwendung der spezifischen Kenngrößen am Beispiel

## 5.1 Randbedingungen

Vorgabewerte:

Schnittgeschwindigkeit:	$v_c = 3 \text{ m/s}$
Vorschub:	$f = 0,8 \text{ mm}$
Schnitttiefe:	$a_p = 8 \text{ mm}$
Wellendurchmesser:	$d = 500\text{mm}$
Spanwinkel:	$\gamma = -6^\circ$
Einstellwinkel:	$\chi = 75^\circ$

Messwerte:

Hauptwert der spezifischen Schnittkraft:	$k_{c1.1} = 1351,7 \text{ N/mm}^2$
Spannungsdickenexponent:	$m_c = 0,2027$

## 5.2 Berechnung der erforderlichen Schnittleistung

### 5.2.1 Berechnung der spezifischen Schnittkraft

$$h = f \cdot \sin \chi = 0,8 \text{ mm} \cdot \sin 75^\circ = 0,7727 \text{ mm}$$

$$k_c = 1351,7 \text{ N/mm}^2 \cdot h^{-0,2027}$$

$$\Rightarrow k_c = 1351,7 \text{ N/mm}^2 \cdot 0,7727^{-0,2027} = \underline{\underline{1424,23 \text{ N/mm}^2}}$$

### 5.2.2 Berechnung der Schnittkraft

$$F_c = b \cdot h^{1-m_c} \cdot k_{c1.1} \quad \text{mit:} \quad b = \frac{a_p}{\sin \chi} = \frac{8 \text{ mm}}{\sin 75^\circ} = \underline{\underline{8,28 \text{ mm}}}$$

$$\Rightarrow F_c = 8,28 \text{ mm} \cdot 0,77271^{1-0,2027} \cdot 1351,7 \text{ N/mm}^2 = \underline{\underline{9112,17 \text{ N}}}$$

### 5.2.3 Berechnung der Schnittleistung

$$P(+12^\circ) = F_c \cdot v_c = 9112,17 \text{ N} \cdot 3 \frac{\text{m}}{\text{s}} = \underline{\underline{27336,51 \text{ W}}}$$

### 5.2.4 Einfluss des Spanwinkels auf die Leistung

Pro Grad Zunahme des Spanwinkels reduziert sich P um 1,5% (vgl. W. Degner: Spanende Formung, S. 91). Somit wird:

$$P(-6^\circ) = P(+12^\circ) \cdot \left[ 1 + 0,015 \cdot \frac{12 - (-6)}{100} \right]$$

$$\Rightarrow P(-6^\circ) = 27336,51 \text{ W} \cdot 1,27 = \underline{\underline{34717,37 \text{ W}}}$$

## 5.3 Literaturvergleich

Literaturwerte für den Spanwinkel von +6°:

Hauptwert der spezifischen Schnittkraft:	$k_{c1.1} = 1310 \text{ N/mm}^2$
Spanungsdickenexponent:	$m_c = 0,18$

Berechnung der Schnittleistung:

$$F_c = b \cdot h^{1-m_c} \cdot k_{c1.1} \quad \text{mit:} \quad b = \frac{a_p}{\sin \chi} = \frac{8 \text{ mm}}{\sin 75^\circ} = \underline{\underline{8,28 \text{ mm}}}$$

$$\Rightarrow F_c = 8,28 \text{ mm} \cdot 0,77271^{1-0,18} \cdot 1310 \text{ N/mm}^2 = \underline{\underline{8780 \text{ N}}}$$

$$P(+6^\circ) = F_c \cdot v_c = 8780 \text{ N} \cdot 3 \frac{\text{m}}{\text{s}} = \underline{\underline{26340 \text{ W}}}$$

$$P(-6^\circ) = P(+6^\circ) \cdot \left[ 1 + 0,015 \cdot \frac{6 - (-6)}{100} \right]$$

$$\Rightarrow P(-6^\circ) = 26340 \text{ W} \cdot 1,18 = \underline{\underline{31081 \text{ W}}}$$

Abweichung:

$$\Delta P_{\%} = \frac{P' - P}{P} \cdot 100\% = \frac{34717,37W - 31081W}{31081W} \cdot 100\% = \underline{\underline{11,7\%}}$$

Wie bereits in Kapitel 4.3 ausgeführt, ist die enorme Abweichung von fast 12% vom Tabellenwert auf nicht vergleichbare Schnittbedingungen und große Messunsicherheiten zurückzuführen.

## 6 Abschließende Betrachtung

Der Versuch „Zerspankraftmessung“ konnte die Zusammenhänge zwischen den Schnittgrößen bei Variation einzelner Parameter recht gut verdeutlichen. Besonders die grafische Auswertung unter Zuhilfenahme der Fachliteratur trug zur Erhöhung des Verständnisses vom zugehörigen Vorlesungsstoff bei, während die Übertragung der Versuchsergebnisse auf ein wenig geeignetes Berechnungsbeispiel kaum für die Praxis sinnvolle Resultate erbrachte.

Leider hatte sich bei der Versuchsdurchführung im Labor offensichtlich ein systematischer Fehler bei den Messungen mit veränderlichem Vorschub eingeschlichen, dessen Ursache nicht mehr aufgeklärt werden konnte. Es waren in allen drei Messdurchläufen Messwerte mit nicht plausiblen Verlauf aufgenommen worden. Die Systematik ließ ein Problem bei der Vorschubeinstellung vermuten, ohne dass jedoch eine Erklärung dafür abgegeben werden konnte.

So mussten der Auswertung Daten aus einer anderen Versuchsreihe, jedoch mit identischen Parametern zugrundegelegt werden. Deshalb sind auch qualitative Aussagen direkt übertragbar: Es wurden überwiegend Reißspäne erzeugt, die bei Erhöhung des Vorschubs von zusammenhängend in gebrochen übergingen. Die gespannte Oberfläche muss selbst beim geringsten Vorschub als geschruppt, also eher rau, bezeichnet werden, was bei der eingestellten Schnitttiefe und Spanen ohne Kühlschmierung jedoch zu erwarten war. Eine Werkzeugabnutzung durch die Spanabnahme konnte im gesamten Versuchsverlauf nicht festgestellt werden.

Der Einfluss der veränderten Schnitteinstellungen auf die einzelnen Zerspankraftkomponenten wurde bereits im Kapitel 3 näher untersucht.

## 7 Verwendete Literatur

- Vorlesungsskript Fertigungsverfahren 2 und Versuchsbeschreibung  
Prof. Dr.-Ing. K. Peters  
Sommersemester 2003
- Tabellenbuch Metall  
Verlag: Europa- Lehrmittel  
41. Auflage, 1999
- W. Degner, H. Lutze, E. Smejkal: Spanende Formung  
Carl Hanser Verlag  
14., durchgesehene Auflage, 2000
- Fertigungstechnik 1  
Verlag: Handwerk und Technik