

Hochschule Merseburg

Fachhochschule

Fachbereich Ingenieur- und Naturwissenschaften



Bachelorarbeit zum Thema:

Entwicklung und Umsetzung eines Produktionskonzeptes unter wirtschaftlichen und ökonomischen Gesichtspunkten für die Fertigung eines Bauteils unter Verwendung einer Fräs-Dreh-Einheit.

Zur Erlangung des Grades Bachelor of Engineering (B. Eng.)

Vorgelegt von:

Sascha Müller

████████████████████

████████████████

██

Matrikel: 18010

Fachsemester: 7

Studiengang: BA Ingenieurpädagogik

Abgabe: 26.04.2019

Erstgutachter: Prof. Dr. –Ing. Rolf Kademann

Zweitgutachter: Dipl. –Ing. (FH) Thomas Kirchhofer

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	III
Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	V
Eidesstattliche Versicherung	VIII
Abstract	IX
1. Einführung	1
1.1. Definition der Aufgabenstellung.....	2
2. Grundlagen	4
2.1. Trennen.....	4
2.1.1. Allgemeines.....	4
2.2. Spanende Fertigung.....	5
2.2.1. Werkzeugschneide.....	5
2.2.2. Geometrie am Schneidkeil.....	5
2.2.3. Anforderungen an Schneidkeile.....	6
2.2.4. Auswahl des Schneidstoffes.....	7
2.2.4.1. Allgemeines.....	7
2.2.4.2. Arten des Schneidstoffes.....	7
2.3. Bearbeitungsverfahren mit rotatorischer Hauptbewegung.....	9
2.3.1. Drehen.....	9
2.3.1.1. Allgemeines.....	9
2.3.1.2. Verfahrensvarianten des Drehens.....	11
2.3.1.2.1. Rundrehen.....	11
2.3.1.2.2. Plandrehen.....	12
2.3.1.2.3. Schraubdrehen.....	14

2.3.2. Fräsen.....	15
2.3.2.1. Allgemeines.....	15
2.3.2.2. Einteilung der Fräsverfahren.....	15
2.3.2.2.1. Stirnfräsen.....	17
2.3.2.2.2. Umfangsfräsen.....	18
2.3.3. Bohren.....	19
2.3.3.1. Allgemeines.....	19
3. Bauteilgestaltung.....	20
3.1. Bauteilgeometrie.....	22
3.2. Werkstoffwahl.....	25
3.2.1. Eigenschaften von Aluminium und Aluminiumlegierungen.....	27
3.3. Werkstoffrohling.....	28
4. Technische Merkmale einer NC/CNC-Fertigung.....	29
5. Flexible Fertigungssysteme und Arbeitsplatzstrukturen.....	32
5.1. Definition und Abgrenzung flexibler Fertigungssysteme.....	33
5.2. Fazit zu flexiblen Fertigungssystemen.....	34
6. Reihenfolge der Bearbeitung zur Fertigung des Anschlussstücks.....	35
6.1. Bearbeitungsschritte.....	36
7. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung.....	38
7.1. Betrachtung grundlegender Zeitanteile.....	39
7.1.1. Hauptzeiten.....	40
7.1.2. Nebenzeiten.....	48
7.1.3. Prozessbezogene Nebenzeiten.....	49
8. Fertigungskosten.....	53
9. Zusammenfassung.....	57
Quellenverzeichnis.....	X

Abkürzungsverzeichnis

CAD	Computer Aided Design	
CAM	Computer Aided Manufacturing	
CNC	Computerized Numerical Control	
Cu	Kupfer	
d.h.	das heißt	
DIN	Deutsches Institut für Normungen	
DM	Deutsche Mark	
engl.	englisch	
ff.	fortfolgende	
FFS	flexible Fertigungssysteme	
HSS	High-speed steel	
Jh.	Jahrhundert	
Mrd	Milliarden	
Mn	Mangan	
Mg	Magnesium	
NC	Numerical Control	
Si	Silizium	
Stck	Stück	
v. Chr.	vor Christi	
vgl.	vergleiche	
WS	Werkstück	
WSW	Werkstückwechsel	
WZ	Werkzeug	
WZW	Werkzeugwechsel	
z.B.	zum Beispiel	
€	Euro	
&	und	
2D	2-dimensional	
3D	3-dimensional	
π	Pi	
α	Freiwinkel	in Grad
β	Keilwinkel an der Schneide	in Grad
γ	Spanwinkel	in Grad
σ	Spitzenwinkel	in Grad

a _e	Eingriffsgröße	in mm
a _p	Schnitttiefe	in mm
A	kalkulatorische Abschreibungen	in €/a
d	Durchmesser	in mm
D	Dreh-, Fräs-, Bohrerdurchmesser	in mm
da	Außendurchmesser	in mm
di	Innendurchmesser	in mm
dwz	Werkzeughdurchmesser	in mm
E	Stromkosten	in €/a
f	Vorschub	in mm/U
f _z	Vorschub je Zahn	in mm/min
g	Gewindezahl	
i	Anzahl der Schnitte am Werkstück	
I	Instandhaltungskosten	in €/a
k _r	Einstellwinkel	in Grad
K _F	Fertigungskosten	in €
K _L	Lohnkosten	in €
K _{MA}	Maschinenkosten	in €
K _{RFG}	Restfertigungsgemeinkosten	in €
L	Dreh-, Fräs-, Bohrweg	in mm
l	Werkstücklänge/Werkstückdicke	in mm
l _a	Anlauf des Werkzeuges	in mm
l _u	Überlauf des Werkzeugs	in mm
M _G	maschinenabhängige Kosten	in €/a
M _{Stks}	Maschinenstundekostensatz	in €
n	Drehzahl	in 1/min
P	Steigung	in mm
R	Raumkosten	in €/a
t _a	Ausführungszeit	in min
T _{bB}	Maschinenbelegungszeit	in min
t _b	Brachzeit	in min
t _e	Stückzeit	in min
t _{eff}	Maschinennutzzeit	in h/a
t _{gB}	Gesamtgrundzeit Betriebsmittel	in min
t _h	Hauptzeit	in min
t _l	Gewindetiefe	in mm
t _n	Nebenzeit	in min
t _{rB}	Betriebsmittelrüstzeit	in min
t _{rgB}	Betriebsmittelgrundrüstzeit	in min
t _{vb}	Betriebsmittelverteilstzeit	in min
v _c	Schnittgeschwindigkeit	in m/min
v _e	Wirkgeschwindigkeit	in m/min
v _f	Vorschubgeschwindigkeit	in mm/min
W	Wartungskosten	in €/a
W _{bw}	Wiederbeschaffungswert	in €
Z	Zinssatz	in %
Za	Durchmesserzugabe	in mm
Zl	Längenzugabe	in mm

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildung 1 Flächen und Winkel am Schneidkeil.....	S.5
<i>Quelle:</i> Burmester J. , Dillinger J. , Escherich W. , Ignatowitz E. , Oesterle S. , Reißler L. , Stephan A. , Vetter R. , Wieneke F. : Fachkunde Metall. 55. Auflage Europa Lehrmittel, 2007, S. 112, Tabelle 1.	
Abbildung 2 Verfahrensmodifikationen beim Drehen.....	S.10
<i>Quelle:</i> Awiszus B. , Bast J. , Dürr H. , Matthes H.-J. : Grundlagen der Fertigungstechnik. 3. Auflage Hanser Verlag, 2016, S.146-149, Tabelle 4.10.	
Abbildung 3 Varianten des Runddrehens.....	S.12
<i>Quelle:</i> Klocke F. : Fertigungsverfahren 1. <i>Zerspanen mit geometrisch bestimmter Schneide.</i> 9.Auflage Springer Verlag, 2018	
Abbildung 4 Varianten des Plandrehens.....	S.13
<i>Quelle:</i> Klocke F. : Fertigungsverfahren 1. <i>Zerspanen mit geometrisch bestimmter Schneide.</i> 9.Auflage Springer Verlag, 2018	
Abbildung 5 Varianten des Schraubdrehens.....	S.14
<i>Quelle:</i> Klocke F. : Fertigungsverfahren 1. <i>Zerspanen mit geometrisch bestimmter Schneide.</i> 9.Auflage Springer Verlag, 2018	
Abbildung 6 Gegenüberstellung Stirn- und Umfangsfräsen.....	S.15
<i>Quelle:</i> Klocke F. , König W. : Fertigungsverfahren Drehen, Fräsen, Bohren Springer Verlag, 1997, S.337-338.	
Abbildung 7 Gegenlauf- und Gleichlaufräsen.....	S.16
<i>Quelle:</i> Klocke F. , König W. : Fertigungsverfahren Drehen, Fräsen, Bohren Springer Verlag, 1997, S.337-338.	
Abbildung 8 Kinematik beim Stirnfräsen.....	S.17
<i>Quelle:</i> Feldhusen J. , Grote K.-H. : Dubbel. <i>Taschenbuch für den Maschinenbau.</i> 21.Auflage. Springer Verlag., 2005, S49.	
Abbildung 9 Kinematik beim Umfangsfräsen.....	S.18
<i>Quelle:</i> Klocke F. : Fertigungsverfahren 1. <i>Zerspanen mit geometrisch bestimmter Schneide.</i> 9.Auflage Springer Verlag, 2018.	

Abbildung 10 Verfahrensvarianten beim Bohren..... S.19

Quelle: Klocke F., König W.: Fertigungsverfahren Drehen, Fräsen, Bohren Springer Verlag, 2008, S.452-453.

Abbildung 11 Technische Entwurfszeichnung Anschlussstück..... S.23

Quelle: Eigenentwurf

Abbildung 12 Isometrische Darstellung Anschlussstück..... S.24

Quelle: Eigenentwurf

Abbildung 13 Vereinfachtes Prinzip einer NC-WZM..... S.30

Quelle: Hirsch-Kreinsen: NC-Entwicklung als gesellschaftlicher Prozess. ISF München, 1993, S.55.

Abbildung 14 Vereinfachte Darstellung eines FFS..... S.33

Quelle: Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure für Maschinenbau und Metallbearbeitung. Nr. 15/16, 1979, S. 819.

Abbildung 15 Darstellung der Bearbeitungsflächen am WS..... S.36

Quelle: Eigenentwurf

Abbildung 16 Darstellung Gewindedrehverfahren..... S.36

Quelle: Orion Gewindedrehmeißel. <https://www.hahn-kolb.de/ORION-Gewindedrehmeissel-Aussen-60Grad-HM>
zuletzt geöffnet am: 11.04.19.

Abbildung 17 Darstellung Längsdrehverfahren..... S.37

Quelle: Sandvik.de

Abbildung 18 Darstellung Stirnfräsverfahren..... S.37

Quelle: http://www.christiani.de/pdf/77349_probe.pdf.Bild 1: Technologische Größen beim Stirnfräsen.
zuletzt geöffnet am 11.04.19

Abbildung 19 Darstellung der Bearbeitungsflächen am WS..... S.37

Quelle: Eigenentwurf

Abbildung 20 Bild mehrerer Gewindebohrer der Firma Etrion® S.38

Quelle: <https://etrion.de>
zuletzt geöffnet am 11.04.19

Abbildung 21 Vorschubweg und Bearbeitungszugabe am Drehteil S.41

Quelle: Degner **W.**, Lutze **H.**, Smejkal **E.**: Spanende Formung. *Theorie-Berechnung-Richtwerte*.
17. Auflage. Hanser Verlag, 2015 S.156 Bild 2.1.

Abbildung 22 Verfahrensdarstellung Inn-, Außenfräsen S.44

Quelle: <https://www.mimatic.de>
Zuletzt geöffnet am 11.04.19

Abbildung 23 Anschnitt und Überlauf beim mittigen Stirnen S.45

Quelle: Degner **W.**, Lutze **H.**, Smejkal **E.**: Spanende Formung. *Theorie-Berechnung-Richtwerte*.
17. Auflage. Hanser Verlag, 2015 S.183 Bild 2.24 u. 2.25.

Abbildung 24 Anlaufweg beim Aufbohren S.46

Quelle: Degner **W.**, Lutze **H.**, Smejkal **E.**: Spanende Formung. *Theorie-Berechnung-Richtwerte*.
17. Auflage. Hanser Verlag, 2015 S.201 Bild 2.36.

Abbildung 25 Schaubild der Bearbeitungsschritte und Nebenzeiten S.48

Quelle: Eigenentwurf

Tabelle 1 Technische Daten der CT6000er und CP6000er Reihe der Firma Heller GmbH S.40

Quelle: <https://www.heller.biz/produkte/5-achs-fraes-drehzentren-c/>
Zuletzt geöffnet am 11.04.19

Tabelle 2 Rohrgewindetabelle S.42

Quelle: Rohrgewindetabelle nach Whitworth Rohrgewinde DIN ISO 228

Tabelle 3 Zusammenfassung der Bearbeitungshauptzeiten S.47

Quelle: Eigenentwurf

Eidesstattliche Versicherung

Ich versichere, dass ich die nachstehende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe angefertigt und mich anderer als der in den beigefügten Verzeichnissen angegebenen Hilfsmittel nicht bedient habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Veröffentlichungen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Alle Quellen, die dem World Wide Web entnommen oder in einer digitalen Form verwendet wurden, sind der Arbeit beigefügt. Die eingereichte elektronische Fassung der Arbeit entspricht der eingereichten schriftlichen Fassung exakt.

Die Arbeit wurde bisher keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch nicht veröffentlicht. Ich bin mir bewusst, dass eine unwahre Erklärung rechtliche Folgen haben kann.

Ort, Datum

Unterschrift

Abstract

Diese Bachelorarbeit wurde im Rahmen des Bachelorstudiums an der Hochschule Merseburg im Studiengang Ingenieurpädagogik verfasst. Anfänglich war die Arbeit so konzipiert, diese als Partnerarbeit zu gestalten um die Thematik des Produktentwurfs und der Fertigungsumsetzung weitreichend abzudecken. Von diesem anfänglichen Gedanken losgelöst entstand die Umsetzung zweier Bachelorarbeiten mit der Untersuchung von unterschiedlichen Herangehensweisen bei der Fertigungsgestaltung eines Bauteils.

Diese Abschlussarbeit befasst sich daher mit der Planung und Umsetzung eines Fertigungskonzeptes unter Verwendung einer Fräs-Dreh-Einheit. Inhaltlich wird sich mit den Grundlagen der klassisch spanenden Fertigung und dem geschichtlichen Verlauf der Entwicklung von der konventionellen Fertigung bis hin zu numerisch gesteuerten Fertigungsabläufen beschäftigt.

Um das Fertigungskonzept weitreichend vergleichbar zu machen wird sich im Verlauf der Arbeit auf eine umfangreiche Wirtschaftlichkeitsbetrachtung gestützt. Bei der Betrachtung kommt es vorrangig zur Erfassung und Bewertung der anfallenden Haupt- und Nebenzeiten und der daraus sich ableitenden wichtigen Maschinenbelegungszeit sowie der resultierenden Fertigungskosten. Vorrangig geht es um die analytische Bewältigung des Problems der Fertigungsgestaltung und den Versuch diesen mit praktischem Bezug zu untermauern. Diese Bachelorarbeit richtet sich vor allem an Personen mit technischem Bezug und dem Interesse an der Konzipierung von Fertigungsabläufen.

1. Einführung

Schon in den frühen Anfängen der Menschheit konnten Steinwerkzeuge mit bewusst hergestellter Arbeitskante durch Veränderung der Schneidengeometrie an die unterschiedlichsten Bearbeitungsaufgaben angepasst werden. Einen großen Einschnitt in die Entwicklungsgeschichte der Werkstoff- und Fertigungstechnik nannten Klocke & König (2008) die Erfindung der Gewinnung von Metallen wie Kupfer, Zinn und Eisen (vgl. Klocke & König 2008: 1).

Ungefähr 700 v. Chr. wurde größtenteils Eisen als Hauptbestandteil der Werkzeugproduktion eingesetzt. Von 1601 bis 1700 kam es durch ständige Verbesserungen der Eisenverhüttung zu der bevorzugten Verwendung von Eisen und Stahl als Konstruktionswerkstoff gegenüber dem damals dominierenden Werkstoff Holz. Durch das starke Wachstum der Textilindustrie und dem technologischen Wandel, der mit der Erfindung der Dampfmaschine einherkommt, setzten ab Beginn des 19. Jh. verstärkt die fertigungstechnischen Untersuchungen ein. Diese frühen systematischen Untersuchungen führten erstmalig zu den spanenden Fertigungsverfahren und initiierten ein neues Forschungsgebiet der Zerspanungslehre (vgl. Klocke & König 2008: 1-2).

Die daraufhin folgenden Untersuchungen führten bis zum Anfang der 1900er zur Entdeckung und Entwicklung neuer Schneidstoffe. Der Amerikaner F.W. TAYLOR gelang um die Jahrhundertwende ein bedeutender Beitrag zur fertigungstechnischen Entwicklung. Ihm ist die Entstehung des Schnellarbeitsstahls, im engl. High-speed steel (HSS), zuzuschreiben. Die daraus entstandenen gesinterten Hartmetalle und die Schneidstoffe auf oxidkeramischer Basis sind eine kleine Auswahl, welche zu den weiteren Entwicklungen einer intensiven Forschung im Schneidstoffsektor zählen. Noch heute wird mit großem Interesse an der Verbesserung im Schneidstoffsektor der Fertigungstechnik gearbeitet, um die steigenden Anforderungen an die Werkstückqualität und die Wirtschaftlichkeit des Bearbeitungsprozesses zu erfüllen (vgl. Klocke & König 2008: 1-2).

Um diese zu erfüllen ist eine optimale Auslegung des Fertigungsprozesses sowie aller am Zerspanprozess wirkenden Größen wie Schnittbedingungen, Werkstoff, eventuelle Hilfsstoffe und die für die charakteristische Werkstückfertigung benötigte Schneidteilgeometrie erforderlich (vgl. Klocke & König 1997: 2)

Bis heute bildet der Schnittvorgang selbst den Kernpunkt des Zerspanprozesses. Um diesen verstehen zu können, ist ein kurzer Blick auf die Grundlagen der Fertigungsverfahren und deren unterschiedlichen Spezifikationen erforderlich. Grundlegend lassen sich die Fertigungsverfahren in fünf Verfahrensgruppen mit jeweils ähnlichen Wirkprinzipien aufteilen. Man unterscheidet diese in Verfahren mit geometrisch bestimmter und unbestimmter Schneide, in Abtragen und Generieren, dem Massivumformen und abschließend dem Verfahren der Blechbearbeitung (vgl. Klocke & König 1997: 5).

Nicht nur die Grundlagen der Fertigungsverfahren, sondern letztendlich auch die notwendige Relevanz der Aufgabenstellung sind Punkte die bei der Wahl des Bauteils eine gewichtete Rolle spielen. In diesem Zuge wird in den nächsten Abschnitten detaillierter auf die Aufgabenstellung eingegangen.

1.1 Definition der Aufgabenstellung

Hydranten dienen zuallererst der Feuerwehr, welche im Falle eines Brandes, zum Anschluss der Feuerwehrschräuche und somit zur Brandbekämpfung genutzt werden. Jedoch gibt es solche Wasseranschlüsse nicht nur im Freien, sondern auch in öffentlichen Gebäuden oder Industriehallen. Laut der Muster-Richtlinie über den baulichen Brandschutz im Industriebau ist es nötig, dass Betriebe über eine bestimmte Anzahl an Saugkupplungen verfügen, um bei einem Brandfall die Löschwasserversorgung sicherstellen zu können. Die Menge solcher Anschlüsse richtet sich im wesentlichen nach der Größe des Betriebes.

Diese Kupplungen, auch Storz genannt, gibt es in den verschiedensten Ausführungen und sind in Deutschland nach DIN 14301, 14303, 14321 oder 14323 genormt. Solche Anschlüsse bleiben im normalen Arbeitsalltag, ohne Brandzwischenfälle, völlig ungenutzt.

Durch diesen Ansatz kam letzten Endes die Idee, den Betrieben es zu ermöglichen die Leitungen auch im normalen Arbeitsalltag zu integrieren. Da handelsübliche Anschlüsse von Bewässerungsschläuchen nicht an die vorhandenen Saugkupplungen passen, wurde es zur Aufgabe gemacht ein Zwischenstück, an welches solche Schläuche angebracht werden können, zu entwickeln. Hiermit nutzt der Betrieb schon vorhandene und vorgeschriebene Einrichtungen nun auch für seine eigene Herstellung und muss nicht zusätzlich Kosten für die Installation neuer und kostspieliger Wasseranlagen ausgeben.

Ebenfalls soll es möglich sein durch einen Adapter bis zu drei Schläuche anschließen zu können, um eine noch höhere Wirksamkeit zu erzielen. Damit wird zusätzlich ermöglicht, dass mehrere unterschiedliche Tätigkeiten über diesen Anschluss bewältigt werden können. Der Schwerpunkt hierbei liegt bei der Konzeptionierung und Planung der Produktion eines solchen Anschlussstückes. Wichtig hierbei ist, dass dieses Anschlussstück unter ökonomischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten hergestellt werden soll, da es in der heutigen Zeit immer wichtiger wird eine hohe Stückzahl in geringer Zeit und mit weniger Kosten herzustellen. Um dies zu gewährleisten wird versucht, die bestmögliche Produktionsart für das Anschlussstück zu finden und das Ergebnis durch wissenschaftliche Dokumentation zu bekräftigen.

In dieser Bachelorarbeit ist ausschließlich die Bearbeitung mittels geometrisch bestimmter Schneide mit Vorzug zu betrachten. Die übrigen Fertigungsverfahren werden dabei nur beiläufig erwähnt.

2. Grundlagen

2.1 Trennen

2.1.1 Allgemeines

Das Bearbeiten mit geometrisch bestimmter Schneide lässt sich klassisch dem Fertigungsprozess des Trennens zuordnen. Als Trennen bezeichnet man demnach ein Verfahren zur Änderung der Form eines Festkörpers. Der damit einhergehende örtliche Stoffzusammenhalt wird hierbei grundlegend aufgehoben. Trennen lässt sich strikt in sechs Gruppen unterteilen: dem Zerlegen nach DIN 8591, Spanen mit und ohne geometrisch bestimmter Schneide nach DIN 8589/ Teil 0, das Abtragen nach DIN 8590, Zerteilen nach DIN 8588 und dem Reinigen nach DIN 8592. Die Verfahren Zerteilen und Spanen erfolgen unter mechanischer Einwirkung auf ein Werkstück mithilfe eines Werkzeugs. Das Trennen von ursprünglich gefügten Körpern, Entleeren oder Evakuieren von gasförmigen, flüssigen oder körnigen Stoffen aus Hohlkörpern werden dem Zerlegen zugeordnet. Beim Abtragen wiederum werden auf nicht mechanischen Weg Stoffteilchen von festen Körpern entfernt. Beim Entfernen von Stoffen oder Stoffteilchen, von einer Oberfläche eines Werkstückes, spricht man vom sogenannten Reinigen (vgl. Grote & Feldhusen 2005: S39).

Zu den bekanntesten Verfahren des Trennens mit geometrisch bestimmter Schneide gehören das Drehen, Fräsen und Bohren. Bei diesen Verfahren werden durch Schneiden eines Werkzeuges Stoffteile, auch Späne genannt, von einem Rohteil mechanisch getrennt. Sie unterscheiden sich durch die Schnittbewegung (Schnittgeschwindigkeit v_c), Vorschubbewegung (Vorschubgeschwindigkeit v_f) und die daraus folgende Wirkbewegung (Wirkgeschwindigkeit v_e). Im Gegensatz zum Spanen mit geometrisch unbestimmter Schneide sind in diesem Verfahren die Schneidenanzahl, Lage der Schneiden zum Werkstück und Form der Schneidkeile definiert (vgl. Grote & Feldhusen 2005: S39).

2.2 Spanende Fertigung

2.2.1 Werkzeugschneide

Wichtige Merkmale bei der Auswahl der Werkzeugschneide sind, die Verschleißfestigkeit die der Schneidstoff gegenüber dem Werkstoff aufweist, auftretende Temperaturen und Kräfte während der Bearbeitung, sowie die fertigungsbezogene Werkzeugschneidenform. Oft spricht man in der Fertigungsindustrie von so genannten Schneidkeilen. Der Schneidkeil beschreibt hierbei die Grundform aller Werkzeugschneiden (Fachkunde Metall 2007: 112).

2.2.2 Geometrie am Schneidkeil

Wie in **Abbildung 1** dargestellt bildet sich aus Span- und Freifläche der sogenannte Schneidkeil, welcher in das weichere Werkstück eindringt. Der sich daraus resultierende Winkel wird als Keilwinkel β bezeichnet. Die Größe dieses Winkels richtet sich im Wesentlichen nach dem zu bearbeitenden Werkstück.

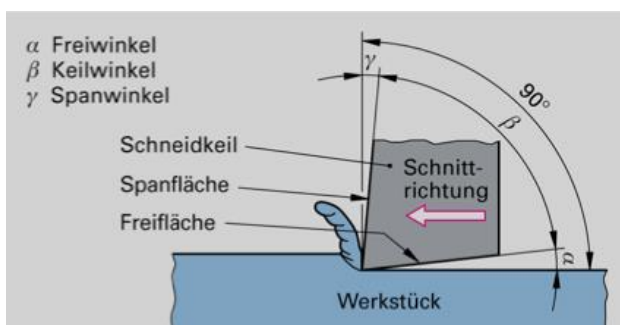


Abbildung 1 Flächen und Winkel am Schneidkeil

Je kleiner der Keilwinkel ausgebildet wird, umso leichter kann die Werkzeugschneide in das Material eindringen. Damit die Schneide, bei der Bearbeitung von Werkstoffen mit höherer Festigkeit, nicht ausbricht, muss ein genügender Keilwinkel gewählt werden. Zwischen Spanfläche und einem senkrecht zur Bearbeitungsfläche gewählten Bezugspunkt liegt der Spanwinkel γ . Dieser Winkel wird vergleichsmäßig groß gewählt, um die auftretenden Kräfte möglichst gering zu halten (Fachkunde Metall 2007: 112).

Bei der Bearbeitung von härteren Werkstoffen, unterbrochenen Schnitten und spröden Schneidstoffen wird dieser wiederum möglichst klein gewählt oder sogar negativ ausgebildet. Als weiterer wichtiger Winkel ist der Freiwinkel α näher zu betrachten, welcher sich zwischen der Freifläche und der zu bearbeitenden Fläche befindet. Dieser ist notwendig, um die Reibung zwischen Werkzeug und Werkstück möglichst gering zu halten. Der bedeutendste Winkel von allen aufgeführten ist der Spanwinkel. Dieser beeinflusst maßgeblich die Spanbildung, Standzeit und Schnittkraft (Fachkunde Metall 2007: 112).

2.2.3 Anforderungen an Schneidkeil

Um eine große Standzeit zu ermöglichen wird an die Schneide eine Vielzahl an Eigenschaften vorausgesetzt:

- eine große Wärmehärte, damit die Schneide bei hohen Bearbeitungstemperaturen eine genügend große Härte aufweist, um in den Werkstoff einzudringen,
- eine große Verschleißfestigkeit gegenüber mechanischem Abrieb, sowie chemische und physikalische Einwirkungen auf die Schneide,
- eine Warmwechselbeständigkeit, um bei sich rasch ändernden Wärmebedingungen während der Bearbeitung eine Rissbildung zu vermeiden,
- eine hohe Dauerfestigkeit, damit die Schneidkante nicht ausbröckelt oder verformt und
- eine ausreichende Zähigkeit und Biegefestigkeit gegenüber schlagartig auftretenden Beanspruchungen (Fachkunde Metall 2007: 113).

2.2.4 Auswahl des Schneidstoffes

2.2.4.1 Allgemeines

Die Auswahl eines geeigneten Schneidstoffes richtet sich nach der Wirtschaftlichkeit, dem zu zerspanenden Werkstoff und dem Fertigungsverfahren. Auch die Verschleißfestigkeit und Zähigkeit sind wichtige Eigenschaften nach dem ein Schneidstoff ausgewählt werden muss (Fachkunde Metall 2007: 113).

2.2.4.2 Arten des Schneidstoffes

Zu den gängigsten Schneidstoffen gehören der Schnellarbeitsstahl (**HSS**), Hartmetall und Schneidkeramik. Der Schnellarbeitsstahl ist ein hochlegierter Werkzeugstahl, welcher aus den Hauptlegierungselementen Wolfram, Molybdän, Vanadium und Kobalt besteht. Dieser Schneidstoff hat im Gegensatz zu den anderen die größte Zähigkeit, aber auch die geringste Härte. Die Schnittgeschwindigkeit und die Verschleißfestigkeit lassen sich hier durch jeweilige Beschichtungen deutlich verbessern. Wenn eine Reaktion zwischen Schneidstoff und Werkstoff vermieden werden soll und durch etwaige Spezifikationen eine hohe Wärmehärte verlangt wird, kommt hier die Schneidkeramik zum Einsatz. Oxidkeramiken sind bei starken Temperaturwechseln gesondert zu betrachten, weshalb hier auch ohne Kühlschmierung zerspannt werden sollte. Oxidkeramiken bestehen meist aus Aluminiumoxid und werden hauptsächlich zum zerspanen von Gusseisen verwendet. Mischkeramiken besitzen eine bessere Widerstandsfähigkeit gegen Temperaturwechsel. Hierbei wird das Aluminiumoxid mit Titancarbid versetzt. Für eine große Zähigkeit und Stabilität der Schneidkante versetzt man diese mit Siliziumnitrid. Siliziumnitride sind nicht oxidische Keramiken, sie ermöglichen es mit Spiralbohrern Bohrungen in Grauguss mit einer hohen Schnittgeschwindigkeit herzustellen. Hartmetalle hingegen bestehen aus Verbundwerkstoffen, welche durch Sintern aus pulverförmigen Grundstoffen hergestellt werden. Hierbei wird hartes Wolframkarbid mit dem weicheren Bindemittel Kobalt verbunden (Fachkunde Metall 2007: 114-115).

Um die Verschleißfestigkeit auch bei hohen Temperaturen zu verbessern helfen Anteile von Titan- und Tantalcarbide. Durch die Beteiligung der harten Metallkarbide im Hartmetall, welche etwa zwischen 80 und 95 Prozent betragen, sind sie nahezu für die Bearbeitung aller Werkstoffe geeignet. Je höher also der Anteil der Metallkarbide ist, umso höher ist auch die Verschleißfestigkeit (Fachkunde Metall 2007: 114-115).

Ist die Beteiligung des Bindemittels höher, führt dies unweigerlich zu einer hohen Zähigkeit. Auch mittels der Korngröße, die bis zu 10 μm betragen kann, ist es möglich die Härte und die Zähigkeit des Hartmetalls zu beeinflussen. Bei einer Korngröße kleiner als 2,5 μm , auch Feinkornhartmetall genannt, besitzt das Hartmetall eine große Kanten- und Verschleißfestigkeit. Diese werden für die Bearbeitung von gehärteten Werkstoffen eingesetzt. Durch das Beschichten mittels verschiedener Hartstoffe können Hartmetallen verschleißfestere Eigenschaften zugeordnet werden, wodurch die Zähigkeit des Grundwerkstoffes erhalten bleibt. Durch diesen großen Vorteil werden unbeschichtete Hartmetalle weitgehend vom Markt verdrängt. Hartmetalle werden allgemein in die Hauptgruppen **P**, **M** und **K** eingeteilt. **P** steht für langspanende Werkstoffe wie beispielsweise Stahl und Temperguss. Je nachdem welcher Werkstoff zerspanen soll, richtet sich auch die Auswahl der Hauptgruppe. **M** steht für lang- und kurzspanende Werkstoffe, wie rostfreier Stahl und Automatenstahl. **K** hingegen ist die Gruppe der kurzspanenden Werkstoffe, zum Beispiel Gusseisen, NE-Metalle und gehärtete Stähle.

Eine weitere Unterteilung erfolgt mittels einer Anhängenzahl. Diese gibt eine Auskunft über die geeigneten Einsätze des Hartmetalls von Schrubb- bis Schlichtbearbeitung. Je geringer die Anhängenzahl, desto größer ist die Verschleißfestigkeit. Bei einer hohen Anhängenzahl ist die Zähigkeit groß, daher besser für Schrubbearbeitung geeignet. Abschließend ist zu betrachten, dass sich die genaue Auswahl über die Hartmetallsorte nachdem zu spanenden Werkstoff, der Bearbeitung und der Sortenempfehlung der Hersteller richtet (Fachkunde Metall 2007: 114-115).

2.3 Bearbeitungsverfahren mit rotatorischer Hauptbewegung

Die spanabhebenden Verfahren mit geometrisch bestimmter Schneide lassen sich anhand der Art der Hauptbewegung klassifizieren. Man unterscheidet dabei in rotatorische und translatorische Hauptbewegungen. Um einen Exkurs über die einzelnen Verfahren zu geben werden nachstehend die Bearbeitungsverfahren Drehen, Fräsen und Bohren detaillierter betrachtet.

2.3.1 Drehen

2.3.1.1 Allgemeines

Zu einem der bedeutendsten Verfahren der spanenden Formgebung gehört das Drehen. In den frühen 90er Jahren, zur Hochzeit der Industrialisierung, betrug der Produktionswert für das Jahr 1994 aller Drehmaschinen in Deutschland etwa 1,131 Mrd. DM. Damit nahmen die Drehmaschinen in der Gruppe der spanenden Werkzeugmaschinen umsatzmäßig den ersten Platz ein. Dieser Betrag überstieg den Produktionswert der Fräsmaschinen um etwa 0,241 Mrd. DM und den der Bohrmaschinen sogar um 0,971 Mrd. DM. Auch heute ist der Einsatz von Drehmaschinen unumgänglich und als Bearbeitungsverfahren nicht vom Markt zu verdrängen (vgl. Klocke & König 1997: 325).

Drehen, im engl. Turning, ist nach DIN 8589 E T1 als Spanen mit einer meist geschlossenen, kreisförmigen Schnittbewegung und beliebiger Vorschubbewegung in einer zur Schnittrichtung senkrechten Ebene definiert. Dabei behält die Drehachse der Schnittbewegung, unabhängig von der Vorschubbewegung, ihre Lage zum Werkstück (vgl. Grote & Feldhusen 2005: S41).

Wie aus **Abbildung 2** hervorgeht, unterscheidet man das Drehverfahren allgemein in Runddrehen, Plandrehen, Gewindedrehen, Schraubdrehen, Profildrehen und Formdrehen je nach Art ihrer zu erzeugenden Fläche (vgl. Fachkunde Metall 2007: 134).

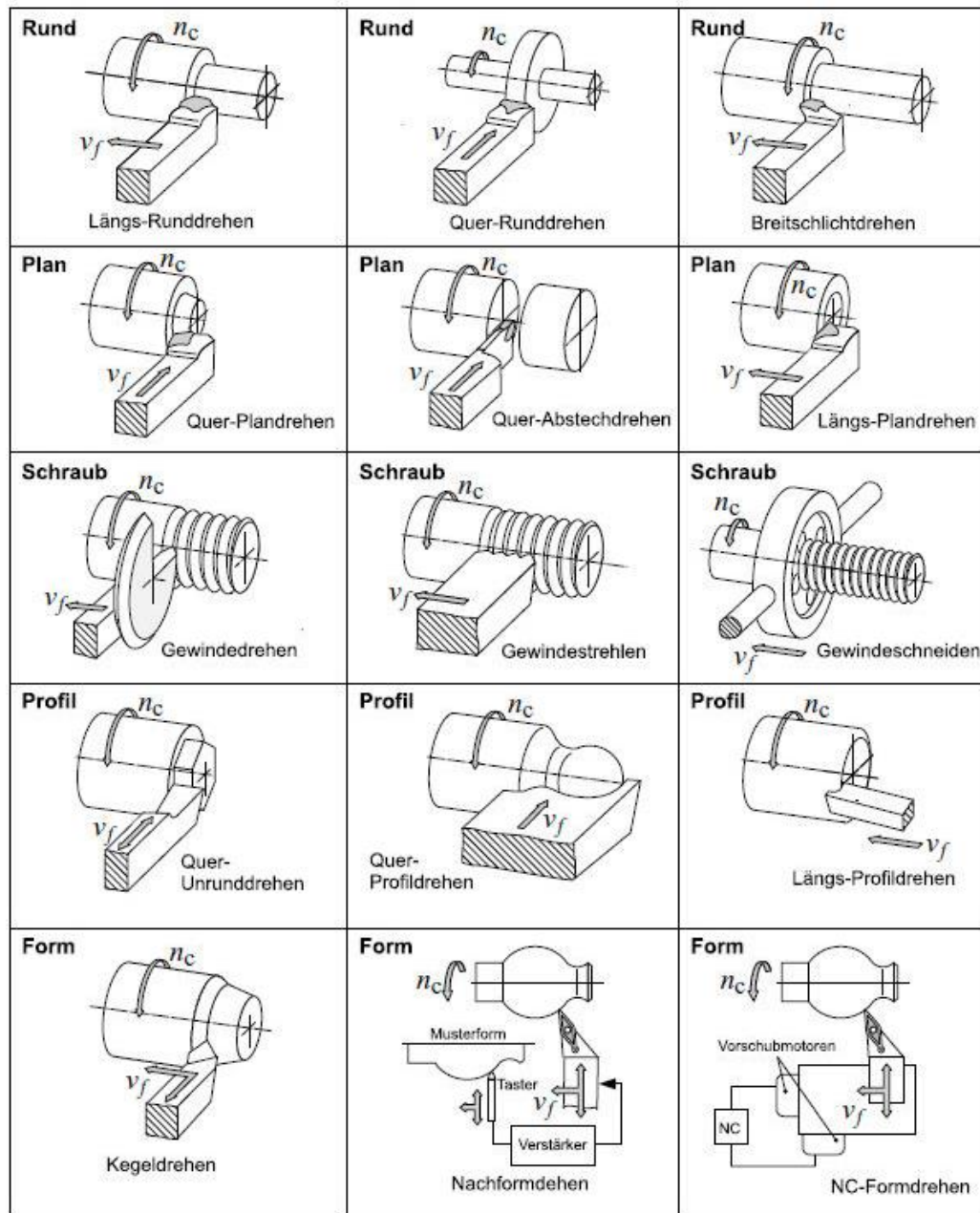


Abbildung 2 Verfahrensmodifikation beim Drehen

Eine weitere Unterteilung erfolgt durch die Richtung der Vorschubbewegung quer oder längs zur Drehachse. Durch die Lage der Bearbeitungsstelle am Werkstück lassen sich die Drehverfahren in Außen- und Innendrehen klassifizieren. Beim Innendrehen wird durch die Form des Werkstücks die Werkzeugwahl eingeschränkt. Gegenüber dem Innendrehen ist beim Außendrehen genügend Spielraum für die außenliegenden Drehwerkzeuge. Diese können daher so gewählt werden, dass es durch die auftretenden Schnittkräfte nicht zu einer Verdrängung der Schneide kommt (vgl. Fachkunde Metall 2007: 134).

Da die in **Abbildung 2** aufgeführten Drehverfahren zum Teil einer untergeordneten Bedeutung zugehörig sind, wird in den folgenden Abschnitten nur auf die wichtigsten Verfahrensvarianten eingegangen.

2.3.1.2 Verfahrensvarianten des Drehens

2.3.1.2.1 Runddrehen

Kennzeichen des Runddrehens ist die Erzeugung einer coaxialen, kreiszylindrischen Fläche unmittelbar zur Drehachse des Werkstücks. Das Runddrehen findet bei der Bearbeitung von Kleinstteilen z.B. in der Uhrenindustrie bis hin zur Schwerzerspannung seine Anwendung. Die häufigsten Runddrehvarianten sind das Längs-Runddrehen und das Schälldrehen. Hierbei ist das Längs-Runddrehen die am weitesten verbreitete Verfahrensvariante. An ihr werden häufig zerspanungstechnische Phänomene beispielhaft erläutert. Als Schälldrehen bezeichnet man das Längs-Runddrehen mit mehreren auf einem Werkzeug angeordneten Hauptschneiden. Wie in **Abbildung 3** zu erkennen, wird die Vorschubbewegung vom Werkstück ausgeführt. Die Rotationsbewegung erfolgt dabei seitens des Werkzeugs (vgl. Klocke & König 2008: 420-421).

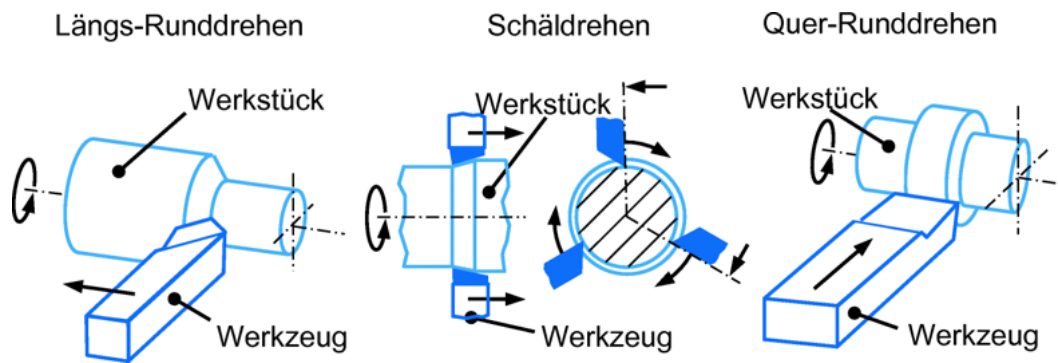


Abbildung 3 Varianten des Runddrehens

Durch diese Anordnung wird ein hohes Zeitspannungsvolumen erreicht. Diese Verfahrensvariante wird überwiegend angewendet, um Oberflächenrisse von Walz und Schmiederohlungen zu entfernen. Als Beispiel ist hier die Herstellung von Blankstahl zu nennen. Durch den Einsatz dieser Verfahrensvariante lassen sich die Oberflächengüten von Zwischenprodukten verbessern und dadurch unzulässige Formabweichungen vermeiden. In diesem Zusammenhang lassen sich Oberflächengüten von 2-10 μm realisieren. Letzten Endes ist zu sagen, dass das Schälndrehen gegenüber dem Längs-Runddrehen ein höheres Maß an Produktivität mit sich bringt. Auf Grund der hohen Oberflächengüte und Maßgenauigkeit reduzieren sich die anschließenden Bearbeitungsvorgänge drastisch (vgl. Klocke & König 2008: 420-421).

2.3.1.2.2 Plandrehen

Plandrehen ist das Drehen zum Erzeugen einer zur Drehachse des Werkstücks liegenden senkrechten, ebenen Fläche. Man unterscheidet unter anderem hierbei in das in **Abbildung 4** dargestellte Quer-Plandrehen und das Quer-Abstechdrehen. Diese Verfahrensvarianten nach DIN 8589-1 dienen zum Abtrennen von Werkstückteilen oder des gesamten Werkstücks, wie es z.B. bei der Verwendung von Stangenmaterial zur Anwendung kommt (vgl. Klocke & König 2008: 419-420).

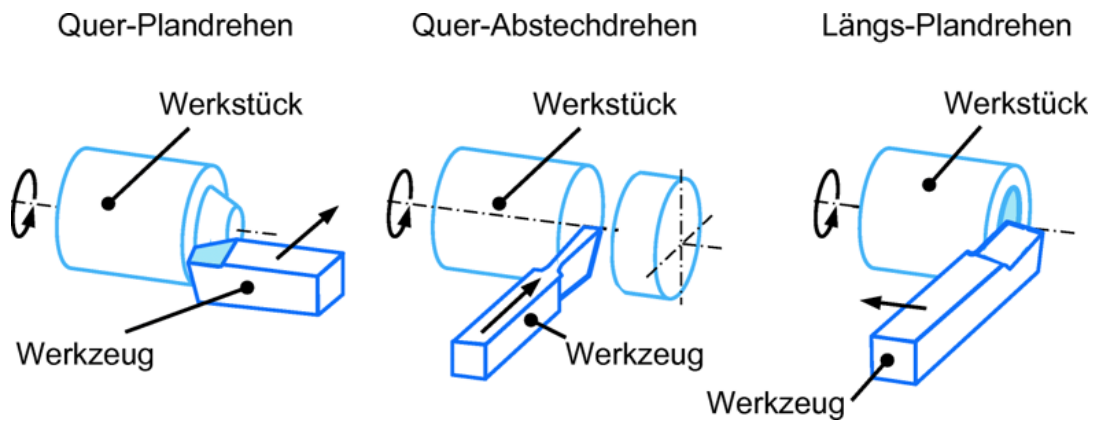


Abbildung 4 Varianten des Plandrehens

Der Schnittweg aller Quer-Plandrehvarianten liegt auf einer archimedischen Spirale. Bei den Längs-Plandrehvarianten liegt der Schnittweg hingegen auf einer wendelförmigen, meist schraubenlinienartigen Kreisbahn. Plandrehaufgaben werden häufig auf Drehautomaten durchgeführt.

Dies kommt insbesondere bei Kleinteilen, die von der Stange gefertigt werden müssen, vor. Beim Quer-Abstechdrehen sind die Werkzeuge schmal ausgeführt, um aus wirtschaftlicher Sicht den Materialverlust so gering wie möglich zu halten. Um ein Verklemmen des Werkzeugs zu vermeiden, werden die beiden Nebenschneiden so ausgelegt, dass sie sich zum Werkzeugschaft hin verjüngen. Durch die hohe Belastung, ausgehend ihrer geometrischen Form, neigen die Werkzeuge zum Schwingen, was meist als Rattern am Werkzeug auftritt. Bei Plandrehvorgängen ist daher zu beachten, dass sich die Schnittgeschwindigkeit bei konstanter Drehzahl mit dem Werkzeugdurchmesser ändert (vgl. Klocke & König 2008: 419-420).

2.3.1.2.3 Schraubdrehen

Als Schraubdrehen bezeichnet man das Drehen mit einem Profilwerkzeug zum Erzeugen von Schraubenflächen. Hierbei ist der Vorschub je Umdrehung gleich der Steigung der Schraube zu wählen. Unter diesen Oberbegriff lassen sich die Verfahrensvarianten Gewindedrehen, Gewindestrehlen und Gewindeschneiden nach DIN 8589-1 einordnen.

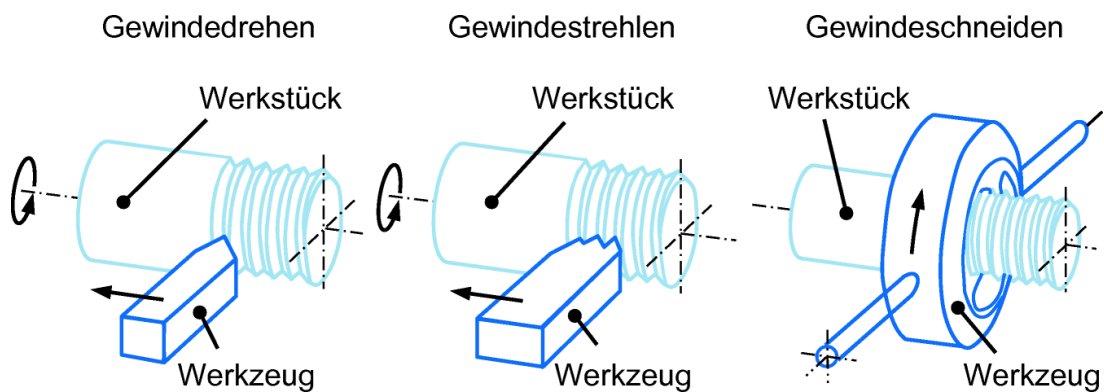


Abbildung 5 Varianten des Schraubdrehens

Wie in **Abbildung 5** näher verdeutlicht wird das Gewinde beim Gewindedrehen von nur einer profilierten Schneide gefertigt, bis die gewünschte Gewindetiefe erreicht ist. Ebenso wird verdeutlicht, dass die Gewindedrehwerkzeuge jeweils mit Teil- und Vollprofil angeboten werden. Teilprofilwerkzeuge kommen bei bereits geforderten Außendurchmessern zum Einsatz, da hier nur noch der Gewindegang geschnitten werden muss und keine äußere Bearbeitung von Nöten ist.

Vollprofilwerkzeuge hingegen werden so ausgeführt, dass die entsprechende Gewindetiefe direkt aus dem Werkstück geschnitten wird. Hierbei ist ein Vorbereiten des Ausgangswerkstücks nicht erforderlich (vgl. Klocke & König 2008: 421-22).

2.3.2 Fräsen

2.3.2.1 Allgemeines

Beim Fräsen, im engl. Milling, wird die notwendige Relativbewegung zwischen Werkzeug und Werkstück durch eine kreisförmige Schnittbewegung des Werkzeugs und eine senkrecht oder schräg zur Drehachse des Werkzeugs verlaufende Vorschubbewegung erzielt. Im Vergleich zu anderen Fertigungsverfahren ist die Schneide dabei nicht ständig im Eingriff.

Man unterteilt die Fräsverfahren nach DIN 8589 anhand ihrer Merkmale zur Art der erzeugten Werkstückoberfläche, dem Profil des Fräswerkzeugs und nach der Kinematik des Zerspanvorgangs. Ein besonderer Vorteil der dem Fräsen zuzuschreiben ist, ist die Tatsache, dass nahezu beliebige Werkstückoberflächen erzeugt und bearbeitet werden können (Grote & Feldhusen 2005: S47).

2.3.2.2 Einteilung der Fräsverfahren

Ein Kriterium zur Einteilung der Fräsverfahren besteht darin, welcher Schneidenteil die Werkzeugoberfläche erzeugt. Dabei unterscheidet man in Stirn- und Umfangsfräsen. **Abbildung 6** zeigt die bildliche Gegenüberstellung von Stirn- und Umfangsfräsen.

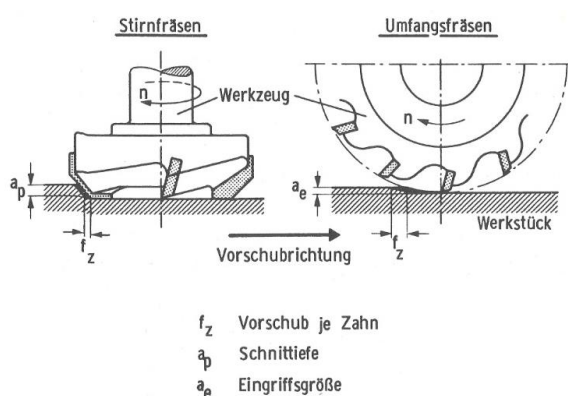


Abbildung 6 Gegenüberstellung Stirn- und Umfangsfräsen

Wird demnach die Werkstückoberfläche von der Stirnseite des Werkzeugs mit der Nebenschneide bearbeitet, spricht man hier vom Stirnfräsen. Wird wiederum die Werkstückoberfläche mit den Schneiden am Werkzeugumfang erzeugt, wird hier vom sogenannten Umfangsfräsen gesprochen (vgl. Klocke & König 1997: 337-338).

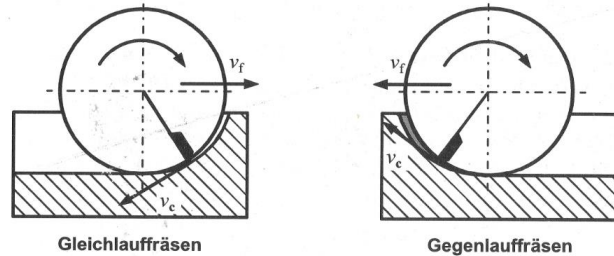


Abbildung 7 Gegenlauf- und Gleichlaufräsen

Je nach Vorschubrichtung und Werkzeugdrehrichtung unterscheidet man weiter in Gegenlaufräsen und Gleichlaufräsen was in **Abbildung 7** verdeutlicht gezeigt wird. Beim Gegenlaufräsen sind Vorschub- und Schnittbewegung gegeneinander gerichtet, wohingegen beim Gleichlaufräsen Vorschub- und Schnittbewegung in dieselbe Richtung weisen. Betrachtet man die Lage des Fräasers zum Werkstück, kann der Fräsprozess sowohl Anteile von Gegenlauf- und Gleichlaufräsen enthalten. Dies macht eine stringente Zuordnung nicht immer möglich (vgl. Klocke & König 1997: 337-338).

2.3.2.2.1 Stirnfräsen

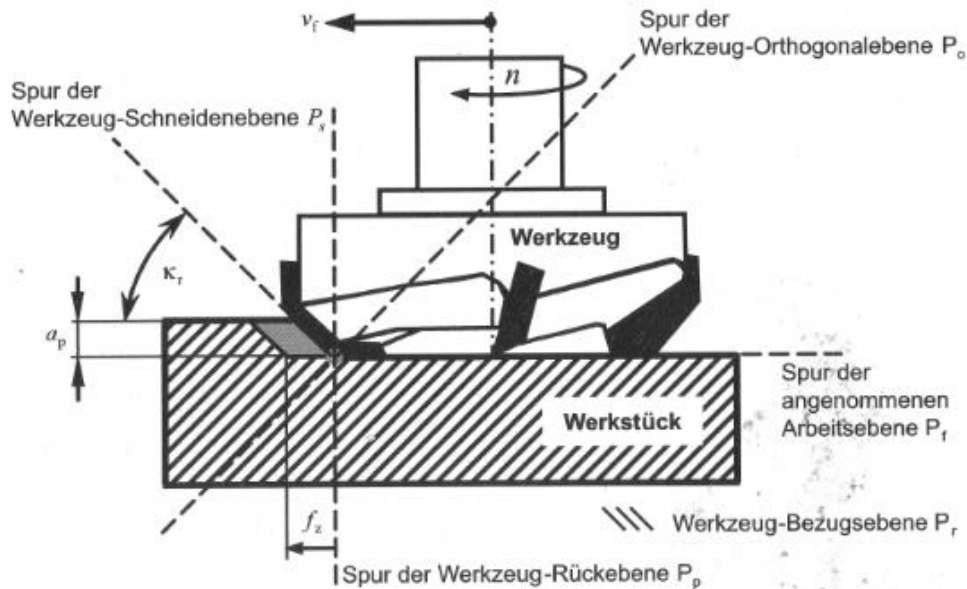


Abbildung 8 Kinematik beim Stirnfräsen

Beim Stirnfräsen ist die Eingriffsgröße a_e , wie in **Abbildung 8** dargestellt, wesentlich größer als die Schnitttiefe a_p . Bei einem Einstellwinkel von $\kappa_r = 90^\circ$ bezeichnet man diesen Vorgang als Eckfräsverfahren. Bei dieser Variante wird die Oberfläche sowohl mit der Nebenschneide, als auch mit der Hauptschneide erzeugt.

Im Normalfall beträgt der Einstellwinkel beim Stirnfräsen 45° bis 75° . Er beeinflusst im starken Maß die Größe der Aktiv- und Passivkräfte und die damit einhergehende Stabilität beim Fräsprozess. Diese Stabilität ist insbesondere bei der Bearbeitung dünnwandiger Teile von besonderer Bedeutung. Beim Stirnfräsen werden die Schnittbedingungen gegenüber dem Drehen in der Regel niedriger gewählt. Grund dafür ist, die dynamische Belastung der Schneidstoffe gering zu halten und ein Werkzeugausbrechen zu vermeiden. Stirnfräsen, samt seiner Verfahrensvarianten, wird sowohl zur Vorbearbeitung als auch zur Endbearbeitung eingesetzt. Da bei Fräsen gegenüber dem Drehen mit höheren Werkzeugkosten und Werkzeugwechselzeiten gearbeitet wird, sind die wirtschaftlichen Standzeiten der Werkzeuge deutlich länger (vgl. Grote & Feldhusen 2005: S49 ff.).

2.3.2.2.2 Umfangsfräsen

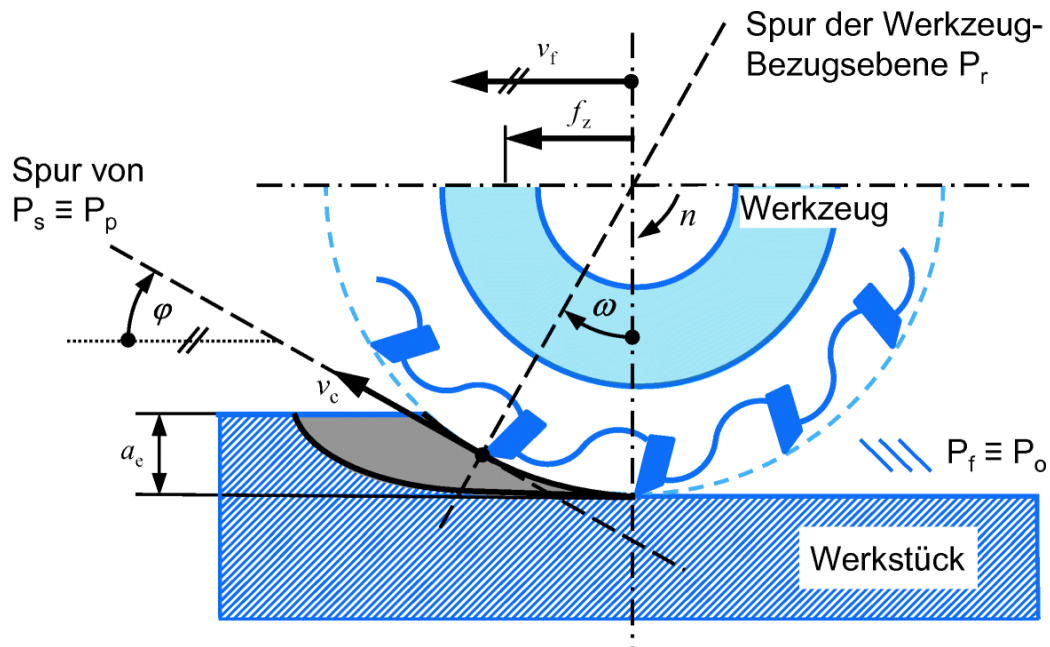


Abbildung 9 Kinematik beim Umfangsfräsen

Beim Umfangsfräsen ist entgegen dem Stirnfräsen die Schnitttiefe a_p wesentlich größer als die Eingriffsgröße a_e . Man unterscheidet hierbei in Gleichlauf-Umfangsfräsen und Gegenlauf-Umfangsfräsen. Beim Gleichlauf-Umfangsfräsen wirkt die Schnittkraft direkt auf das Werkstück, wohingegen sie beim Gegenlauf-Umfangsfräsen vom Werkstück weggerichtet ist. Labile Werkstücke, z.B. dünne Blechplatten, werden dabei von der Aufspannfläche abgehoben und somit wird ein Rattern begünstigt.

Um Schwingungen und Stöße zu vermeiden, wird beim Gleichlauf-Umfangsfräsen auf eine spielfreie Tischvorschubantriebseinrichtung gesetzt. Während beim Gleichlauf-Umfangsfräsen der Anschnitt mit nahezu vollem Spannungsquerschnitt erfolgt, wird beim Gegenlauf-Umfangsfräsen der Spannungsquerschnitt langsam aufgebaut. Dabei kann es zu Quetschungen am Werkstoff kommen und zur Ausbildung einer schlechten Oberfläche (vgl. Klocke & König 1997: 349-350).

2.3.3 Bohren

2.3.3.1 Allgemeines

Mit Bohren, im engl. Drilling genannt, werden spanende Verfahren mit einer rotatorischen Hauptbewegung bezeichnet. Die Werkzeuge beim Bohren erlauben nur eine Vorschubbewegung in Richtung der Drehachse. Die **Abbildung 10** zeigt eine Auswahl der wesentlichen Verfahrensvarianten des Bohrens nach DIN 8589.

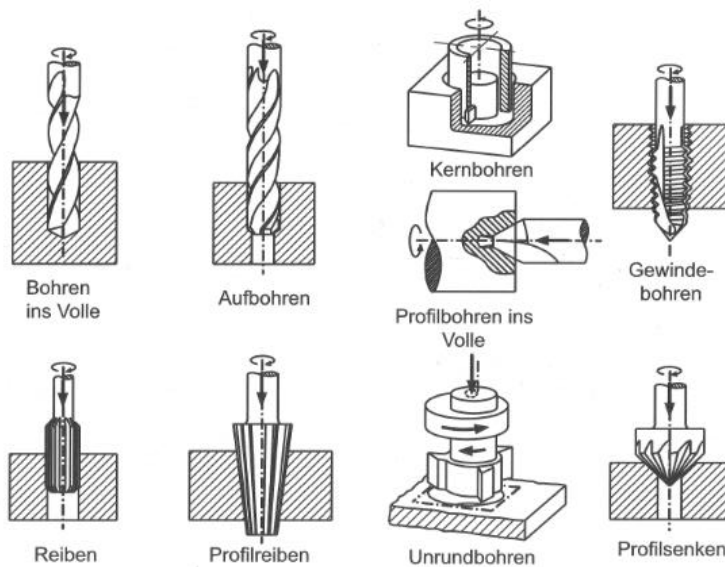


Abbildung 10 Verfahrensvarianten beim Bohren

Wichtige Besonderheiten die bei der Bohrbearbeitung auftreten sind:

- die abfallende Schnittgeschwindigkeit in der Bohrermitte,
- der erschwerte Abtransport der Späne,
- die ungünstige Verlagerung der Wärmeverteilung an der Schnittstelle,
- der erhöhte Verschleiß auf die Schneidenecke
und
- das Reiben der Führung an der Bohrungswand (vgl. Klocke & König 2008: 452-453).

Eine Reihe verschiedenster Zielsetzungen hinsichtlich Zerspanungsleistung, Bohrungstiefe, Maßgenauigkeit und der Oberflächengüte führten zur Entwicklung verschiedenster Bohrverfahren, auf die hier aber nicht weiter eingegangen werden (vgl. Klocke & König 2008: 452-453).

3. Bauteilgestaltung

Im Rahmen vieler methodischer Produktentwicklungen gilt es neben definierten Anforderungen insbesondere die Produktgestalt beeinflussende Restriktionen des Fertigungsverfahrens sowie des Konstruktionsprozesses zu berücksichtigen. So bestimmen die ausgewählten Fertigungsverfahren maßgeblich realisierbare Bauteilgeometrien sowie Funktionalitäten (vgl. Kranz J. 2017: 167).

Neben den oben genannten Restriktionen gelten bei der Bauteilgestaltungen klare Grundregeln, die bei allen Produktentwicklungen zur Anwendung kommen. So spricht man hier von eindeutigen, einfachen und sicheren Anweisungen zur Gestaltung von Bauteilen. Diese lassen sich aus den generellen Zielsetzungen ableiten (vgl. VDI-Richtlinie 2223).

Unter Eindeutigkeit der Gestaltung versteht man, dass Wirkung und Verhalten klar und gut erkennbar sein müssen mit Bezug auf die Erfüllung der technischen Funktionen. Einfach bedeutet übersichtlich, nicht zusammengesetzt und geringer Aufwand. In der Regel muss ein Kompromiss geschlossen werden, denn die Erfüllung der Funktion erfordert stets ein Mindestmaß an Komponenten oder Teilen. Eine wirtschaftliche Fertigung sieht sich oft der Notwendigkeit gegenüber, zwischen mehreren Teilen mit einfacher Form, aber mit größerem Bearbeitungsaufwand und zum Beispiel einem komplizierten Gussteil mit geringerem Bearbeitungsaufwand einschließlich des dann oft größeren Terminrisikos entscheiden zu müssen (Feldhusen & Grote 2005: F15).

Die Grundregel Sicherheit betrifft sowohl die zuverlässige Erfüllung einer technischen Funktion, als auch die Gefahrenminderung für Mensch und Umgebung. Grundsätzlich wird angestrebt, die Forderung nach Sicherheit durch die unmittelbare Sicherheitstechnik zu befriedigen, d.h. die Lösung so zu wählen, dass von vornherein und aus sich heraus eine Gefährdung überhaupt nicht besteht. Erst dann, wenn eine solche Möglichkeit nicht wahrgenommen werden kann, wird die mittelbare Sicherheitstechnik, d.h. der Aufbau von Schutzsystemen und die Anordnung von Schutzeinrichtungen ins Auge gefasst. Eine hinweisende Sicherheitstechnik die nur noch durch Gefahren warnen kann und durch Hinweise den Gefährdungsbereich kenntlich macht, soll vom Konstrukteur nicht als Mittel zur Lösung dieses Problems angesehen werden (Feldhusen & Grote 2005: F15).

Neben den Grundregeln der Bauteilgestaltung besitzen sowohl Gestaltungsprinzipien und Gestaltungsrichtlinien eine besondere Wichtung bei der Planung und Umsetzung neuer Konstrukte. Gestaltungsprinzipien stellen Strategien dar, die nicht total anwendbar sind. Um ein besseres Verständnis darüber zu bekommen werden nachstehend ein paar dieser Prinzipien aufgezählt. Das Prinzip der Aufgabenteilung befasst sich mit den zu erfüllenden Funktionen, die bei der Gestaltung berücksichtigt werden und stellt sich die Frage der zweckmäßigen Wahl und Zuordnung dieser Funktionen. Welche Teilfunktionen können gemeinsam mit nur einem Funktionsträger erfüllt werden und welche Teilfunktionen müssen mit einem jeweils zugeordneten Funktionsträger erfüllt werden? Vom Prinzip der Selbsthilfe spricht man, wenn versucht wird im System selbst eine sich gegenseitig unterstützende Wirkung zu erzielen. Diese Wirkung soll dabei helfen die Funktionen des Bauteils besser zu erfüllen und bei Überlast gezielt auftretende Schäden vermeiden. Eins der bedeutendsten Prinzipien beschreiben die Prinzipien der Sicherheitstechnik. Nach DIN 31000 unterscheidet man hier zwischen unmittelbarer, mittelbarer und hinweisender Sicherheitstechnik. Grundsätzlich wird bei allen Konstruktionen die unmittelbare Sicherheit angestrebt. Bei ihr geht man davon aus, dass von vornherein und aus sich heraus keine Gefährdung durch die Konstruktion besteht. Die mittelbare Sicherheit folgt mit dem Aufbau von Schutzsystemen und der Anordnung von Schutzeinrichtungen. Abschließend ist die hinweisende Sicherheitstechnik zu erwähnen, welche nur vor Gefahren warnen und den Gefahrenbereich kennzeichnen kann. Diese letzte genannte Möglichkeit löst keine Sicherheitsprobleme (vgl. Feldhusen & Groote 2005: F16).

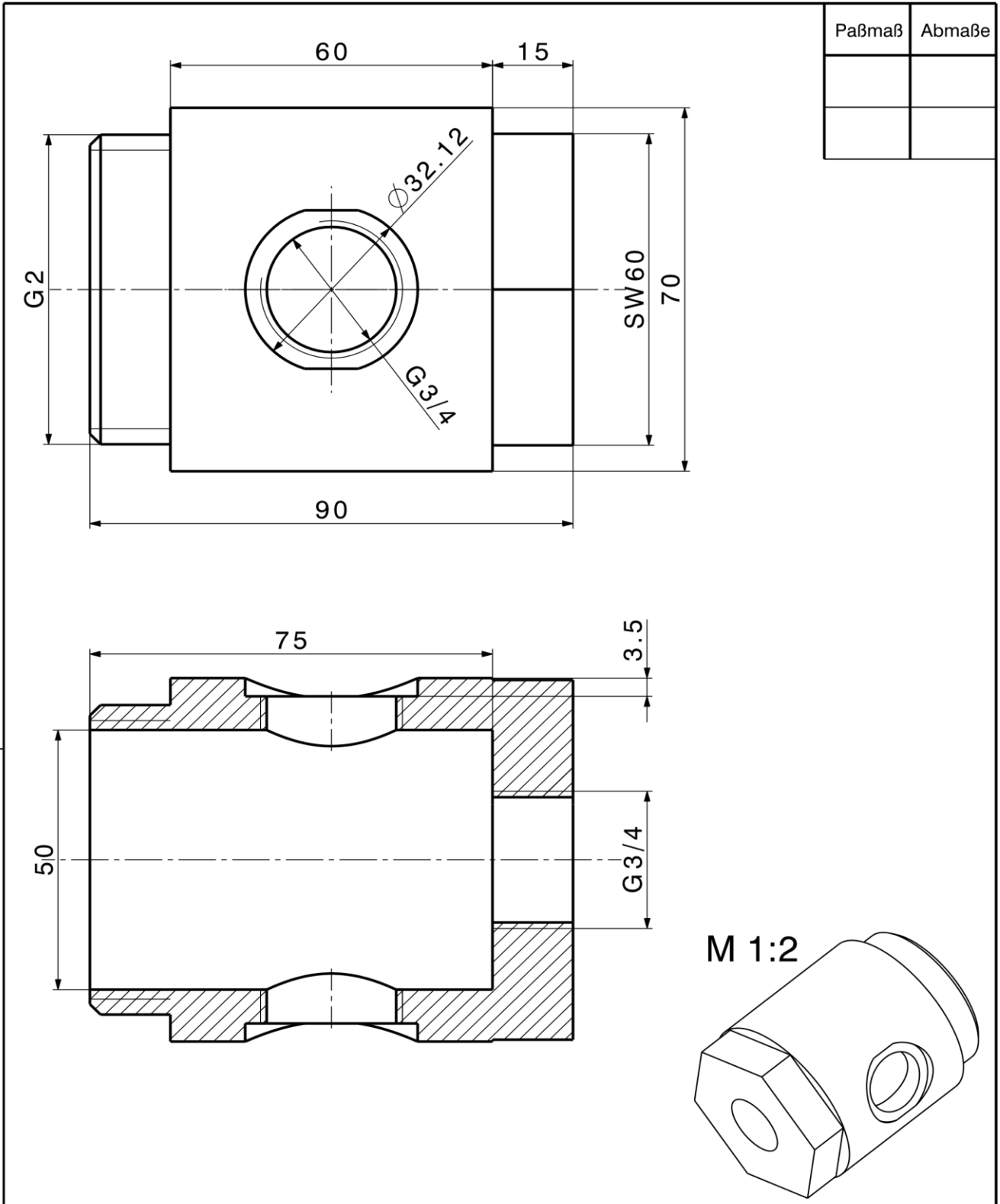
Im Gegensatz zu den Gestaltungsprinzipien ergeben sich die Gestaltungsrichtlinien aus allgemeinen Bedingungen, den Grundregeln der Gestaltung und letztendlich aus den Gesetzmäßigkeiten und Aussagen im Zusammenhang mit den Maschinenelementen. Hierunter zählen beispielsweise die beanspruchungsgerechte, formänderungsgerechte, stabilitäts- und resonanzgerechte, ausdehnungsgerechte und verschleißgerechte Gestaltung von Bauteilen. Die eben aufgezählten Richtlinien sind nur ein kleiner Auszug des breiten Spektrums den die Gestaltungsrichtlinien beinhaltet (vgl. Dangelmaier 2001: 3 ff.).

3.1 Bauteilgeometrie

Heute gängige Beschreibungen von Fertigungselementen sind im Aufbau und Inhalt vor allem von der Anwendung geprägt. So rückt z.B. das traditionelle rechnergestützte Konstruieren, im engl. Computer Aided Design (CAD), vor allem die Geometrie eines 2D- oder 3D-Modells in den Vordergrund (vgl. Dangelmaier 2001:33).

Aufgrund dieser Erkenntnis wird im Verlauf der nächsten Abschnitte auf diese Methode der Bauteilbeschreibung zurückgegriffen.

Durch die an der Aufgabenstellung gemessenen Anforderungen und die Restriktionen, die mit den Grundprinzipien der Bauteilgestaltung einhergehen, ergeben sich die Hauptabmessungen des Anschlussstücks welche aus dem technischen Entwurf, siehe **Abbildung 11**, entnommen werden können.



Paßmaß	Abmaße

		Zul. Abw. mittel DIN ISO 2768		Oberfl.	Maßstab 1:1 (1:2)	Gewicht ca. 420 g
					Werkstoff, Halbzeug Aluminium	
		2019 Datum Bearb. 26.02.		Name Müller	Benennung <h1>Anschlussstück</h1>	
		Gepr. Norm			Zeichnungsnummer <h1>1</h1>	
		Hochschule Merseburg			Blatt 1 1 Bl.	
Zust. Änderung	Datum	Name	Urspr. CATIA V5 R21		Ers. f.:	Ers. d.:

Abbildung 11 Technische Entwurfszeichnung Anschlussstück

Das Anschlussstück soll nach allen anfallenden Bearbeitungen einen zylindrischen Grundkörper besitzen. Mit einer maximalen Gesamtlänge von 90mm und einem Durchmesser von 70mm ist das Anschlussstück gerade noch groß genug um etwaigen Beanspruchungen standzuhalten. Durch die handliche Größe und dem an einem der beiden Enden befindlichen Sechskant ist eine einfache und zeitsparenden Montage möglich.

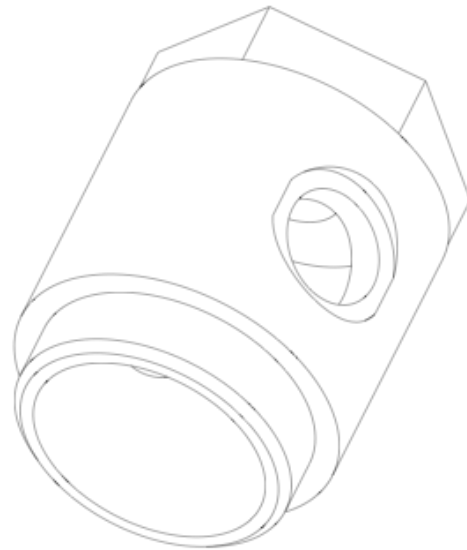


Abbildung 12 Isometrische Darstellung Anschlussstück

Um den Umfang verteilt befinden sich zwei gegenüberliegende Bohrungen, die jeweils mit einem G $\frac{3}{4}$ Zoll Innengewinde versehen sind. Um die Schlauchanschlüsse kontaktbündig installieren zu können wurde an beiden Anschlussstellen eine 3,5mm tiefe Kontaktfläche geschaffen, um die benötigte Dichtheit zu gewährleisten. Damit das Anschlussstück am Löschwasseranschluss montiert werden kann muss eine über das G 2 Zoll Außengewinde, welches sich am gegenüberliegenden Ende zum Sechskantanschluss befindet, befestigte Storzkupplung der Größe 75-B mit einem Knaggenabstand von 89mm zwischenmontiert werden. Um die Kosten der Fertigung gering zu halten wird auf die Einzelteilfertigungen der drei Schlauchanschlüsse sowie auf die Fertigung der Storzkupplung verzichtet.

3.2 Werkstoffwahl

Die Wahl des Werkstoffes ist von entscheidender Bedeutung für die Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit und Sicherheit eines Bauteils. Die aus der Funktionalität resultierende Anforderung an die konstruktive Gestaltung ist dabei nur eins der vielen möglichen Kriterien. Hinzu kommt mit dem einsetzbaren Fertigungsverfahren, die wesentlich von der Werkstoffwahl beeinflusst werden, ein sich in den Kosten auswirkenden Aspekt. Ein weiterer, heute besonders wichtiger Punkt, ist der Wartungs- und Reparaturaufwand der einen nicht zu unterschätzenden Anteil an den Betriebskosten ausmacht (vgl. Roos, E. 2017: 415).

Gründe, die für die Werkstoffwahl oder eine Änderung in Betracht kommen, sind vielfältig, einige wesentliche werden nachfolgend aufgeführt:

- Entwicklung eines neuen Produkts,
- Verbesserung eines bestehenden Produkts,
- Verbesserungsmaßnahmen nach einem Schadensfall,
- maßgebliche Änderungen an der Konstruktion,
- Änderung der betrieblichen Randbedingungen
und
- Gründe der Kostenreduktion.

Der häufigste Grund um eine Werkstoffauswahl zu treffen ist der, wenn ein neues Produkt oder die Weiterentwicklung eines Produktes ansteht. Als Grundlage dessen dienen die Anforderungen an das Bauteil, die im Lastenheft niedergelegt sind (vgl. Roos, E. 2017: 416 ff.).

Nahezu jedes Einzelbauteil einer Maschine, Anlage oder Baugruppe arbeitet im Zusammenhang mit anderen Maschinenteilen. Dadurch wird es durch zahlreiche äußere Einflüsse beansprucht. Vor allem äußere Kräfte sind hierbei im Fokus, da sie für die Erzeugung von inneren Spannungen verantwortlich sind. Im konkreten Beispiel des Anschlussstücks ist der anliegende Wasserdruck im Löschwasseranschluss explizit zu berücksichtigen.

Das bauteilspezifische Anforderungsprofil ergibt sich aus den anliegenden Beanspruchungen an das Bauteil. Die Anforderungsprofile werden mithilfe anderer Fachgebiete, wie die Mechanik, Mathematik, Chemie und Physik ermittelt. Zusammengefasst können sich Anforderungsprofile nach Dahms M., Jaroschek C., Weißbach W. wie folgt ergeben:

- Festigkeitsbeanspruchung: Erzeugung innerer Kräfte (Spannungen), führen zu Verformungen und evtl. zum Bruch.
- Korrosionsbeanspruchung: Reaktion mit ungebunden Stoffen führen zu Rostbildung und unmittelbar zum Stoffverlust.
- Verschleißbeanspruchung: Reibung führt oft zum Verschleiß an sich bewegenden Teilen und zum Materialverlust an der Oberfläche.
- Thermische Beanspruchung: Abnahme der Festigkeit bei höheren Einsatztemperaturen oder Versprödung bei niedrigen Einsatztemperaturen.

Diesen Anforderungen muss der Werkstoff ohne weiteren Funktionsverlust widerstehen können. Die Werkstoffeigenschaften ergeben zusammen das Eigenschaftsprofil welches spezifisch für jeden Werkstoff zu erstellen ist (vgl. Dahms M., Jaroschek C., Weißbach W. 2015: 483-484).

Schon vor der Erstellung der optimalen Lösungsvariante des Anschlussstücks stellte sich die Frage über die Wahl eines geeigneten Werkstoffes. Aufgrund der Entscheidung die Storzkupplung als Verbindung zwischen Löschwasseranschluss und Anschlussstück mit einem genormten Fertigerzeugnis zu realisieren, erschloss sich die Wahl auf einen Werkstoff, der vom Anforderungsprofil ähnlich dem der Kupplung ist. Die gewählte Kupplung der Firma **ESSKA.de GmbH** besteht aus kaltgeschmiedetem Aluminium, welches im Vergleich zu anderen Werkstoffen, aufgrund der wirtschaftlichen Betrachtung in Bezug auf Werkstoffkosten, ohne Verluste der Steifigkeit gegenüber Edelstahl bevorzugt zu wählen ist. Um Kontaktkorrosionen zwischen Kupplung und Anschlussstück zu vermeiden wurde aus diesem Grund der Werkstoff Aluminium für das Anschlussstück gewählt. Ein weiterer Vorteil ist, dass ein Fressen der Gewindegänge zwischen Anschlussstück und Kupplung somit nicht begünstigt wird (vgl. ESSKA.de <https://www.esska.de/shop/Storz-Festkupplung-Baugroesse-75-B> zugriff am [11.04.2019]).

3.2.1 Eigenschaften von Aluminium und Aluminiumlegierungen

Aluminium besitzt mit $2,7 \text{ kg/dm}^3$ etwa nur einen Drittel der Dichte von Stahl. Durch seinen niedrigen Schmelzpunkt von rund 660°C gehört Aluminium zu den Vertretern der gut umformbaren, schweißbaren und gießbaren Werkstoffe in der Bauteilgestaltung. Durch die Vielzahl an Einsatzmöglichkeiten ergaben sich im Laufe der Zeit die unterschiedlichsten Werkstoffsorten. Knetlegierungen, wie Reinaluminium werden nur dort eingesetzt wo die gute elektrische Leitfähigkeit erforderlich ist, z.B. bei Hochspannungsfreileitungen. Automatenlegierungen werden mit Blei als Zusatzstoff veredelt um eine gute Zerspanbarkeit zu erreichen (vgl. Fachkunde Metall 2007: 268-269).

Aluminiumlegierungen mit Kupfer (**Cu**), Mangan (**Mn**), Magnesium (**Mg**) und Silizium (**Si**) ergeben besondere Eigenschaften wie gute Umformbarkeit, höhere Festigkeiten, gute Tiefziehbarkeit und eine besondere Witterungsbeständigkeit gegen äußere Einflüsse. Aluminiumgusslegierungen werden meist mit Silizium von bis zu 12% legiert. Dies bewirkt eine gute Gießbarkeit, so dass dünnwandige und Bauteile mit komplizierter Geometrie bei der Herstellung realisiert werden können. Dabei besitzen sie eine höhere Festigkeit und Korrosionsbeständigkeit (vgl. Fachkunde Metall 2007: 268-269).

3.3 Werkstoffrohling

Wenn man unter dem Gesichtspunkt der Wirtschaftlichkeit ein Produktionskonzept realisieren soll, kommt man nicht an der Frage über die Wahl eines geeigneten Werkstoffrohlings vorbei. Diese Frage stellte Dangelmaier 2001 in seiner Literatur der Fertigungsplanung. Weiter beschrieb er die Überlegungen über Sinnhaftigkeit einzelner Bearbeitungsschritte und deren Reihenfolge (vgl. Dangelmaier 2001:33 ff.).

Zu den am häufigsten verwendeten Rohlingen der spanenden Fertigung zählen das Stangenmaterial, welches oft auch als Arbeiten von Stange bezeichnet wird, der Vollmaterialrohling und die Bestückung durch Gussteile. Jeder dieser Arten besitzt mit ihnen einhergehende Vorteile der Bauteilfertigung. Betrachtet man nun die Form des Fertigerzeugnisses, fällt die Wahl für ein Vollmaterialrohling aufgrund von übermäßigen Materialverlust bei der Endfertigung aus wirtschaftlicher Sicht eher schlecht aus. Wie bei den Vollmaterialrohlingen ist das Arbeiten von Stange zwar in der Beschaffung des Rohlings durch Verwendung von genormten Rohrprofilen kostengünstig, aber in der späteren Bearbeitung durch kompliziertes Umspannen in der Fertigungseinheit weniger geeignet.

Schlussendlich ist die Wahl über die Art des Rohlings auf die Verwendung von Gussteilen gefallen, da sie aus wirtschaftlicher und ökonomischer Sicht am besten geeignet sind. Typische Verfahren bei der Herstellung von Gussteilen sind unter anderem das Schwerkraftkockillengießen, bei dem das flüssige Metall mit Hilfe der Schwerkraft in die Form gefüllt wird. Beim Druckguss wird das flüssige Metall unter hohem Druck und großer Geschwindigkeit in die Dauerform gepresst.

Infolge dessen können dünnwandige Bauteile sowie Bauteile mit komplizierten Geometrien hergestellt werden. Vorwiegend verwendete Materialien für das Druckgießen sind Aluminium-, Magnesium-Zink- und diverse Zinnlegierungen sowie in geringen Maß Kupferlegierungen. Speziell der Aluminiumdruckguss ist durch die rasche Fertigungsfolge und die Möglichkeit der Serienfertigung für eine wirtschaftliche Produktion recht attraktiv (vgl. Bast 2016: 17ff.).

4. Technische Merkmale einer NC/CNC gesteuerte Fertigung

Der Begriff NC (Numerical Control) bezeichnet im Wesentlichen die automatische Steuerung von Werkzeugmaschinen. Damit wird die direkte Handsteuerung ersetzt, wie sie an konventionellen Werkzeugmaschinen über die verschiedensten mechanischen und elektrischen Bedienungselementen erforderlich ist. Durch die Automatisierung dieses Arbeitsvorgangs der Maschinensteuerung müssen die Informationen der Teilprogramme in entsprechende Maschinenbewegungen und Operationen von Werkzeugen umgesetzt werden (vgl. Hirsch-Kreinsen 1993: 53).

Obwohl auf den ersten Blick nur schwer erkennbar, kann als wichtiges Unterscheidungsmerkmal zwischen konventioneller und NC/CNC gesteuerter Fertigung die Flexibilität der Datenspeicher angesehen werden. Darunter zählen die konventionellen Datenträger wie Schablonen, Bohrlehren, Modell und Kurvenscheiben. Diese zeichnen sich darin aus, dass sie starr, schwer veränderbar und somit bei geringer Veränderung der Werkstückparameter oft eine langwierige und komplizierte Anpassung oder sogar Neuerstellung der konventionellen Datenträger mit sich bringen (vgl. Hirsch-Kreinsen 1993: 55 ff.).

Mit diesen Veränderungen der Werkstückparameter hingegen, können die digitalen Datenspeicher der NC/CNC-Technik weit flexibler, d.h. leichter, schneller und vor allem partieller angepasst werden ohne eine aufwendige Neugestaltung dieser.

Ein auf dieser Basis erstelltes Bearbeitungsprogramm umfasst zum einen Daten, die die Geometrie des Werkstücks und somit die Werkzeugoperationen beschreiben und zum anderen umfasst es technologische Daten wie Maschinendrehzahl, Vorschubgeschwindigkeit oder eventuell erforderliche Kühlmittelschaltungen. Häufig sind ergänzende Daten zur Anpassung eines Bearbeitungsprogrammes erforderlich. Hier spricht man von den sogenannten Korrekturwerten wie Koordinaten und Werkzeugvoreinstellungen. Vorzugsweise geht es bei der bloßen Korrektur von Programmen häufig nur um die Änderung der letzten Daten und einiger technologischer Werte, wobei es wiederum bei der vollständigen Programmerstellung um die Festlegung der Bearbeitungswege und Teilegeometrie handelt. D.h. die wirtschaftliche Festlegung des Weges den das Werkzeug bei der Bearbeitung von Prozessschritten in einer bestimmten Reihenfolge zurücklegen muss (vgl. Hirsch-Kreinsen 1993: 55 ff.).

Klassisch lässt sich eine NC-Steuerung anhand prinzipiell unterschiedlicher Funktionszusammenhänge erklären. **Abbildung 13** verdeutlicht diese und unterteilt sie in drei Gruppen. In die Erstellung des Steuerungsprogramms, in die Speicherung der Programmdateien und letztendlich in die Umsetzung der Programmdateien in sogenannte Impulse für Maschinenbewegungen (vgl. Hirsch-Kreinsen 1993: 55 ff.).

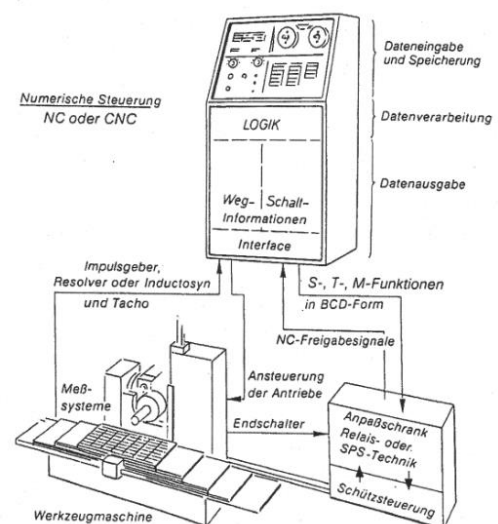


Abbildung 13 Vereinfachtes Prinzip einer NC-WZM

Aus dieser Erkenntnis ergeben sich weitreichende Folgen für die Auslegung und Konstruktion von Werkzeugmaschinen. Erforderlich für einen reibungsfreien Informationsfluss müssen Wegmesssysteme, mit denen die Positionen und Fahrwege der Maschinenkomponente gemessen werden, installiert werden. Hierbei geht es vorzugsweise um Wege der Werkzeugschlitten und/oder die Bestimmung von Winkellage der Antriebe und Maschinentische. Antriebssysteme müssen den geänderten Steuerungsanforderungen angepasst werden um Anweisungen genau und störungsfrei in Maschinenbewegungen umzusetzen. Hauptsächlich geht es um die Hauptantriebe der Werkzeugmaschine und insbesondere um die Vorschubantriebe, welche die Relativbewegung zwischen Werkstück und Werkzeug regulieren (vgl. Hirsch-Kreinsen 1993: 56).

Für die konkrete Bewältigung der Aufgabenstellung sowie die Endfertigung des Anschlussstücks kommt aufgrund der hohen Fräs- und Drehanteile eine CNC gesteuerten Fräs-Drehmaschine zur Anwendung. Auf die einzelnen Bearbeitungsanteile sowie Arbeitsschritte während der Fertigung wird im Punkt 6 „Reihenfolge der Bearbeitungsschritte zur Fertigung des Anschlussstücks“ detaillierter eingegangen. Da im Zuge der CNC-Steuerung häufig die Rede von schneller, besser und günstiger ist, wird im nachfolgenden Punkt kurz und informativ auf die Einrichtung und Wirkung von installierten Fertigungssystemen eingegangen. Ein besonderer Schwerpunkt liegt hierbei auf der Flexibilität und der Integration von CNC-Maschinen in solche Fertigungssysteme.

5. Flexible Fertigungssysteme und Arbeitsplatzstrukturen

„Die Automatisierung der mechanischen und technischen Fertigung hat eine lange Tradition“ schrieben Dostal, Kamp, Lahner und Seessle in ihrem Schlussbericht im Auftrag des Bundesministeriums für Forschung und Technologie. In den letzten zwei Jahrhunderten ist die Handarbeit am Produkt gegenüber der maschinellen Bearbeitung zurückgetreten. Arbeitsinhalte für Beschäftigte tendieren zunehmend zu Bedienungs- und Überwachungsaufgaben. Die klassische Wechselwirkung zwischen konventionellen Werkzeugmaschinen und Bedienungspersonen mit Facharbeiterausbildung bestehen schon sehr lange. Selbst durch Änderungen der Maschinenteknik hat sich diese kaum verändert. Eine Vollautomatisierung aller Bedienungsfunktionen von Werkzeugmaschinen durch automatische Steuerungen und Regelungen haben sich vorwiegend nur in Fertigungen mit hohen Stückzahlen durchgesetzt (vgl. Dostal W., Kamp A.-W., Lahner M. & Seessle W. 1982: 182).

Durch Ergänzung vorhandener Werkzeugmaschinen durch informationsverarbeitende Systeme, sind in der technischen Fertigung neue Produktionsablaufstrukturen entstanden. Die numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen hielten Einzug in die moderne Fertigung. Sie erlauben es, kleine Stückzahlen oder Kleinserien ähnlich wirtschaftlich wie Großserien von Werkstücken abzarbeiten.

Klauder, Mertens und Ulrich stellten die Theorie auf, dass numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen durch fehlende Integration von Fertigungssystemen nicht den vorhergesagten schnellen Durchbruch erhielten. Die Verbesserung und Planung NC-adäquater Produktionsstrukturen, aus dem engl. Numeric Control, wurde seither immer weiter verbessert. Ein Beispiel für die Entwicklung in diese Richtung ist das computergestützte Konstruieren und die computerunterstützte Produktion, aus dem engl. CAM für Computer aided manufacturing (vgl. Klauder W., Mertens E. & Ulrich E. 1969: 599-603).

Die sich daraus schöpfenden Möglichkeiten der Prozesssteuerung und -automatisierung mit Computern, die Fortschritte in der Gestaltung von Werkzeugmaschinen und die Entwicklung von Bearbeitungszentren erlauben es nun, integrierte Systeme für die Fertigung von Werkstückvarianten aufzubauen. Diese Systeme werden als flexible Fertigungssysteme (FFS) bezeichnet.

5.1 Definition und Abgrenzung flexibler Fertigungssysteme

Der in der **Abbildung 14** vereinfacht dargestellte Aufbau eines flexiblen Fertigungssystems veranschaulicht die vier grundlegenden Basiselemente:

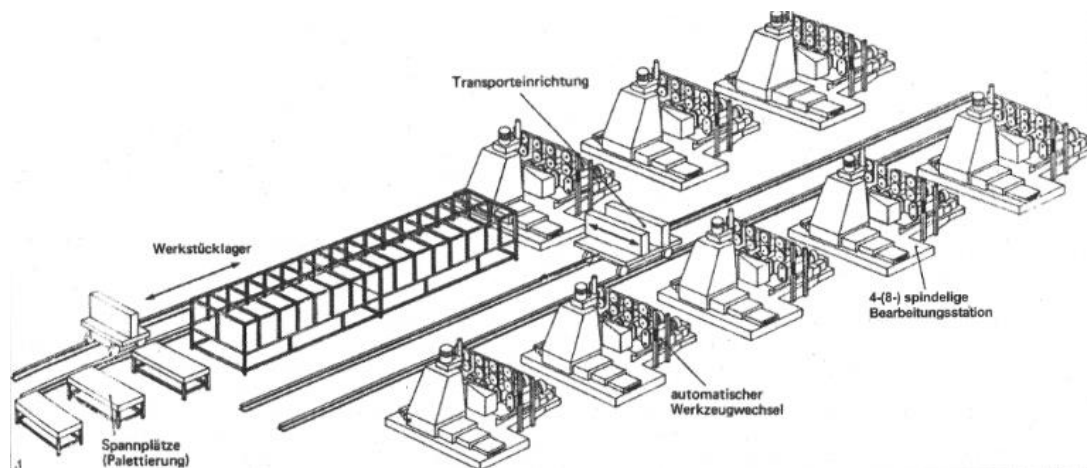


Abbildung 14 vereinfachte Darstellung eines FFS

- Werkzeugmaschinen mit NC-Steuerung, mit Werkzeugmagazin und mit Aufspanntischen für automatisierte Beschickung,
- Transportsystem für Paletten,
- Ein überlagertes Informationssystem, das sowohl Maschinen als auch Transportsysteme steuert und überwacht,
- Arbeitsplätze im System für personelle, nicht vollautomatisch lösbare Aufgaben (vgl. Dostal W., Kamp A.-W., Lahner M. & Seessle W. 1982: 184).

Die Flexibilität eines derartigen Systems ergibt sich daraus, dass unterschiedlich gestaltete Werkstücke an den einzelnen Maschinen mit unterschiedlichen Bearbeitungsverfahren hergestellt werden können. Die Flexibilität ist grundlegend durch bestimmte geometrische Formen begrenzt.

So unterscheidet man flexible Fertigungssysteme für prismatische Teile sowie für rotationsymmetrische Bauteile mit bestimmten Werkstückabmessungen. Mit der Einrichtung von flexiblen Fertigungssystemen kann einerseits eine Automatisierung der personellen Werkstattfertigung erfolgen oder bereits automatisierte Fertigungen flexibilisiert werden (vgl. Dostal W., Kamp A.-W., Lahner M. & Seessle W. 1982: 184).

5.2 Fazit zu flexiblen Fertigungssystemen

Es gibt durchaus Gründe, die gegen flexible Fertigungssysteme sprechen. Hoher Kapitaleinsatz, sich schnell entwickelnde Technologien, lange und schwierige Anlaufphasen, zweifelhafte Wirtschaftlichkeit nach herkömmlichen Berechnungsmethoden, Jobkiller, die Notwendigkeit einschneidender organisatorischer Änderungen quer durch das Unternehmen. Trotz alledem nimmt nicht nur das Interesse an flexiblen Fertigungssystemen rapide zu, auch die Zahl der in Planung und Realisierung befindlichen Systeme steigt ständig an (vgl. Holz B. F. 1985).

Die Wirtschaftlichkeit flexibler Fertigungssysteme leitet sich vor allem aus Eigenschaften wie:

- drastische Reduzierung der Reaktionszeiten auf Marktänderungen,
- drastische Verkürzung von Lieferzeiten,
- Senkung der Herstellungskosten
 - Bestandskosten,
 - Personalstückkosten,
 - Qualitätskosten,
 - Kapazitätsstückkosten ab (vgl. Holz B. F. 1985).

Aus dieser Aufzählung wird ersichtlich, dass herkömmliche Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen nicht alle relevanten Größen erfassen können. Zusätzlich kommt hinzu, dass die hier einfließenden Bewertungen der Bestandskosten ebenso kritisch zu betrachten sind.

6. Reihenfolge der Bearbeitungsschritte zur Fertigung des Anschlusstücks

Wie unter Punkt 3.3 der Bachelorarbeit bereits erwähnt, wird die Fertigung des Rohlings mittels Aluminium Druckgussverfahren realisiert. In erster Linie sollte jedes Gussteil das Ziel haben komplett ohne jegliche Nachbearbeitungen auszukommen. Durch die Verwendung von Kalt-, bzw. Warmkammern während des Druckgussverfahrens und durch das Einpressen des Materials in alle Konturen kommt es oft zu Gratbildung am Werkstück. Hinzu kommen die sogenannten Steiger und Überlaufbohlen, welche benötigt werden um die Luft aus der Kavität aufzunehmen. Durch diese Besonderheiten und den Materialaufschlag von 1mm an allen Segmenten des Werkstücks wird eine Nachbearbeitung des Gussteils für die Endfertigung erforderlich (vgl. Sander Präzisionsdruckguss <https://sander-druckguss.de/leistungen/aluminiumdruckguss> zugriff am [11.04.2019]).

Die Aufgabe des Konstrukteurs ist es nun, eine zeitsparende und kosteneffiziente Lösung der Nachbearbeitung zu planen. Hierzu werden alle anfallenden Bearbeitungsschritte zusammengefasst und mit einer priorisierten Reihenfolge versehen.

Betrachtet man die Endfertigung unter Berücksichtigung der geforderten Verwendung einer Fräs-Dreh-Maschine, muss das Bauteil über einen wesentlich höheren Fräsanteil verfügen um den Einsatz einer automatisierten NC-Maschine zu rechtfertigen. Hier im Beispiel des Anschlussstücks würden Bearbeitungen an den Innen-, und Außengewinden, der Kontaktflächen an den Schlauchanschlüssen, die Feinarbeit am Sechskant und die Oberflächenbearbeitung des gesamten Werkstücks anfallen. Auf die Bearbeitung der Innenflächen des Anschlussstücks wird dahingehend verzichtet, da die Qualität der Oberflächenbeschaffenheiten des Innenraums für die geplante Anwendung keine Relevanz haben.

6.1 Bearbeitungsschritte

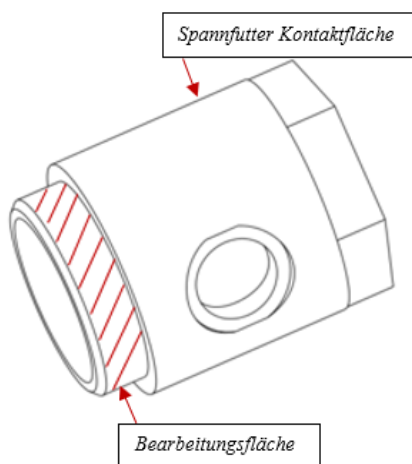


Abbildung 15 Darstellung der Bearbeitungsflächen am WS

Um teure Umspannzeiten und Werkzeugwechsel zu reduzieren wird im ersten Schritt der Nachbearbeitung das G2 Zoll Außengewinde realisiert. Um dies fertigungstechnisch zu bewältigen wird das Werkstück rechtsseitig wie in **Abbildung 15** dargestellt durch ein Dreibackenspannfutter in der Maschine fixiert. Das Spannfutter wird auf die zylindrische Mantelfläche des Bauteils angesetzt um genug Stabilität bei der Bearbeitung zu gewährleisten. Die Fertigung des Außengewindes wird durch einen geeigneten Gewindeaußendrehmeißel realisiert. Dieser schneidet sich mit einer der Drehzahl

angepassten Vorschubgeschwindigkeit, Gewindegang für Gewindegang durch das Bauteil (**Abbildung 16**). Dank der Genauigkeiten, die beim Druckguss erreicht werden können ist ein vorheriges Bearbeiten der Fläche für das dort entstehende Außengewinde, sofern im Toleranzbereich liegend, nicht von Nöten da es beim Gewindedrehen zum Aufbäumen und anschließendem Abtragen von überschüssigem Material kommt.

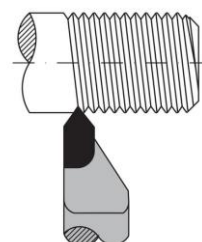


Abbildung 16 Darstellung Gewindedrehverfahren

Im nächsten Bearbeitungsschritt wird das Werkstück linksseitig auf einen Spanndorn aufgeschoben. Das linksseitige Einspannen hat zur Folge, dass ab diesem Zeitpunkt sämtliche anfallenden Bearbeitungsschritte ohne weitere Umspannarbeiten zu realisieren sind. Nun wird mit einem Längsdrehmeißel die 60mm lange Mantelfläche bearbeitet um Grate, die während des Gießvorganges entstanden sind zu entfernen und eine glatte Oberfläche zu generieren.

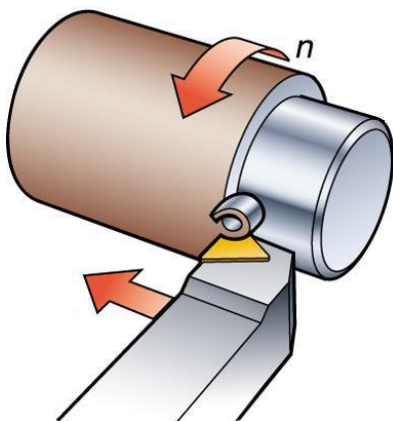


Abbildung 17 Darstellung Längsdrehverfahren

Um die Kontaktflächen der Schlauchanschlüsse sowie die Kontur und Stirnfläche des Sechskants zu bilden, wird ein Stirn-/Planfräser wie **Abbildung 18** verwendet. Die in **Abbildung 19** dargestellten Ansichten zeigen die jeweiligen Bearbeitungsflächen am Anschlussstück.

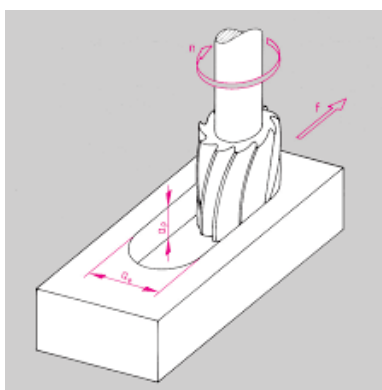
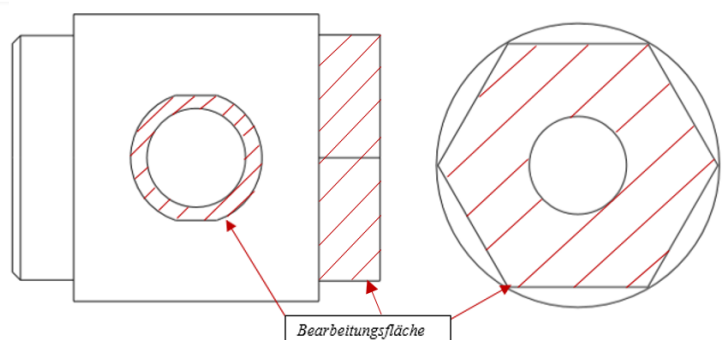


Abbildung 18 Darstellung Stirnfräsverfahren

Abbildung 19 Darstellung der Bearbeitungsflächen am WS



Im letzten Schritt der Bearbeitung werden die drei Innengewinde für die Schlauchanschlüsse mit einem G $\frac{3}{4}$ Zoll Maschinengewindebohrer gefertigt (**Abbildung 20**). Da die einzelnen Löcher schon in der Gussform berücksichtigt worden sind, ist ein vorheriges Bohren für den Kernlochdurchmesser nicht erforderlich. Nach diesem Schritt kann das Bauteil für die Endverpackung aus der Maschine entnommen werden und ist bereit für die Montage. Dank der Werkzeugmagazinspeicher, die häufig in der NC-Fertigung ihren Einsatz finden, sind schnelle und unkomplizierte Werkzeugwechsel kein Problem mehr.



Abbildung 20
*Bild mehrerer Gewindebohrer
der Firma Etrion®*

7. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen kommen häufig dann zum Einsatz, wenn für die Herstellung eines Teils mehrere Fertigungsfolgen in Frage kommen, die bezüglich der technologischen Eigenschaften aufgrund gestellter Anforderungen gleichwertige Ergebnisse liefern (vgl. Szentmihalyi V. 1994: 134).

Hinzu kommt der Einfluss auf die Entscheidungsfindung für kostenintensive Investitionsvorhaben im Bereich der NC-Technik für Unternehmen. Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für Investitionsprojekte im Bereich der Fertigung waren bisher im Wesentlichen auf Faktoren wie Abschreibungen, Zinsen, Finanzbedarf, Energie, Hilfs- und Betriebsstoffe, Raumkosten, Wartungs- und Instandhaltungskosten, Lohnkosten, Fertigungsgemeinkosten, Werkzeugkosten, Logistikkosten und eine Vielzahl weiterer Faktoren beschränkt (vgl. Maier C. 1986: 95).

Die ausschließliche Betrachtung dieser Faktoren ist für eine langfristige Investitionsentscheidung nicht ausreichend. Durch den Einsatz von flexiblen Automatisierungen von Fertigungstätigkeiten durch NC-Technik werden eine Reihe weiterer Nutzen für das Unternehmen ersichtlich. Um die strategischen Unternehmensziele zu erreichen, kann die NC-Technik zur langfristigen Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit angesehen werden. Neben der Erhöhung von Produktivität und Qualität sind unter anderem die Steigerung der Flexibilität, die Auswirkungen auf die Humanisierung der Arbeit sowie die Verbesserung des Firmen-Images wichtige Punkte die eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung unabdingbar machen (vgl. Maier C. 1986: 95).

7.1 Betrachtung grundlegender Zeitanteile

Die Betrachtung grundlegender Zeitanteile wie Hauptzeiten, Nebenzeiten, Hilfszeiten, Rüstzeiten und Stückzeiten sind wesentlicher Bestandteil der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung. So wird zum Beispiel aus der Summe der Haupt- und Nebenzeiten die Gesamtzeit zusammengesetzt. Als Gesamtzeit bezeichnet man die Zeit, die für den zeitlichen Aufwand des gesamten Arbeitsprozesses benötigt wird. Für die Berechnung der einzelnen Zeitanteile werden die Bearbeitungsschritte des Anschlussstückes aus Punkt 6 erneut aufgegriffen.

Um die Betrachtung anschaulicher zu gestalten, wird für die Ermittlung der maschinenbezogenen Daten auf ein 5-Achs-Bearbeitungszentrum für Fräs- und Drehaufgaben der Firma **HELLER GmbH** zurückgegriffen. Die Fertigungsmaschine der Baureihe C verfügt über Combined Processing, d. h. Fräsen und Drehen mit nur einer Maschine. In der nachstehenden **Tabelle 1** können die Technischen Daten zweier Baureihen-Varianten entnommen werden. Für die Berechnung werden ausschließlich die Werte der CT6000er Baureihe genommen. Hierbei handelt es sich um eine Dreh-Fräs-Maschine mit Tischbeladung (Heller GmbH <https://www.heller.biz/produkte/5-achs-fraes-drehzentren-c> zugriff am [11.04.2019]).

Produktauswahl	CT 6000 ▼	CP 6000 ▼
Arbeitsraum (X/Y/Z)	1.000 x 1.000 x 1.300 mm	1.000 x 1.000 x 1.300 mm
Beladung Palette/Tisch max.	1.400 kg	1.400 kg
Beschleunigung (Power/Speed)	4 m/s ²	4 m/s ²
Eilgang	65 m/min	65 m/min
NC-Rundtisch, Drehzahl (DDT)	700 1/min	700 1/min
Palettengröße/Tischgröße	Durchm. 1.000 mm	630 x 630 mm
Span-zu-Span-Zeit	5,9 s	5,9 s
Spindeln	12.500 1/min, 80 kW, 350 Nm 6.000 1/min, 43 kW, 822 Nm 8.000 1/min, 60 kW, 1.146 Nm 12.500 1/min, 80 kW, 350 Nm	12.500 1/min, 80 kW, 350 Nm 6.000 1/min, 43 kW, 822 Nm 8.000 1/min, 60 kW, 1.146 Nm 12.500 1/min, 80 kW, 350 Nm
Werkstückhöhe max.	1.200 mm	1.200 mm
Werkzeugschaft	100 HSK-T	100 HSK-T

Table 1 Technische Daten der CT6000er und CP6000er Reihe der Firma HELLER GmbH

Für die Schnittdaten-Richtwerte wurde sich maßgeblich auf Erfahrungswerte gestützt. Beim Drehen und Fräsen von Aluminium ist die Wahl der Schnittgeschwindigkeiten besonders wichtig. Je nach Siliziumanteil verändert sich der Schmelzpunkt des Werkstoffes und somit auch die Neigung zum „Schmieren“. Technisch betrachtet ergibt sich das die Schnittgeschwindigkeit mit abnehmenden Siliziumanteil steigt. Bei einer Schnitttiefe von 1 mm gilt daher:

Schnittgeschwindigkeit: $v_c = 100 \text{ m/min}$

Vorschub: $f = 0,1 \text{ mm/U}$

Für das Gewindedrehen und -bohren werden häufig bis zu 20%-30% verringerte Schnittgeschwindigkeiten angenommen.

7.1.1 Hauptzeit

Die Gestaltung von Fertigungsprozessen zur Minimierung von Hauptzeiten ist die klassische Kernaufgabe der Fertigungstechnik. Für den ersten Bearbeitungsschritt, das Gewindedrehen für die Aufnahme der Storzkupplung, ergibt sich die Berechnung der Hauptzeit ähnlich der des Langdrehens. Die Hauptzeit (t_h) für das Langdrehen ergibt sich aus dem Produkt zwischen Drehweg und der Anzahl der Schnitte dividiert durch das Produkt zwischen Drehzahl und Vorschub.

Mathematisch setzt sich die Gleichung wie folgt zusammen:

$$t_h = \frac{L \cdot i}{f \cdot n} \quad \text{in min} \quad [\text{Gl.1}]$$

Setzt man in diese Gleichung,

$$v_c = \frac{D \cdot \pi \cdot n}{1000} \quad [\text{Gl.1.2}] \quad \text{für} \quad n = \frac{v_c \cdot 1000}{D \cdot \pi} \quad [\text{Gl.1.3}] \quad \text{ein, so}$$

wird daraus:

$$t_h = \frac{L \cdot D \cdot \pi \cdot i}{f \cdot v_c \cdot 1000} \quad \text{in min} \quad [\text{Gl.1.4}]$$

L	Drehweg	in mm
l_a	Anlauf des WZ	in mm
l	Werkstücklänge	in mm
l_u	Überlauf des Werkzeugs	in mm
Z_l	Längenzugabe	in mm
Z_a	Durchmesserzugabe	in mm
D	Drehdurchmesser	in mm
n	Drehzahl	in U/min
f	Vorschub	in mm/U
v_f	Vorschubgeschwindigkeit	in mm/min
v_c	Schnittgeschwindigkeit	in m/min
i	Anzahl der Schnitte	
d	Fertigdurchmesser	in mm

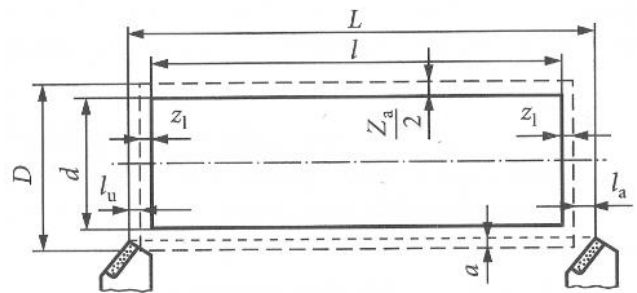


Abbildung 21 Vorschubweg und Bearbeitungszugabe am Drehteil

So ergibt sich die Hauptzeit (**t_{hG}**) für das Gewindedrehen zu:

$$t_{hG} = \frac{L \cdot d \cdot \pi \cdot i \cdot g}{f \cdot v_c \cdot 1000} \quad \text{in min} \quad [\text{Gl.2}]$$

mit **g** für die Gewindegangzahl und die Steigung des Gewindes **P** ersetzt den Vorschub **f**.

Daraus folgt:

$$t_{hG} = \frac{L \cdot d \cdot \pi \cdot i \cdot g}{P \cdot v_c \cdot 1000} \text{ in min} \quad [\text{Gl.2.1}]$$

Für das Anschlussstück ergibt sich damit eine rechnerische Hauptzeit für das Gewindedrehen von:

$$t_{hG} = \frac{L \cdot d \cdot \pi \cdot i \cdot g}{P \cdot v_c \cdot 1000} \quad t_{hG} = \frac{20\text{mm} \cdot 59,61\text{mm} \cdot \pi \cdot 1,21 \cdot 6,5}{2,309\text{mm} \cdot \left(100 \frac{\text{m}}{\text{min}} \cdot 70\%\right) \cdot 1000} = 0,182 \text{ min}$$

mit $L = l + 2 \cdot Z_l + l_a + l_u$ [Gl.1.5]
 $L = 15\text{mm} + (2 \cdot 1\text{mm}) + 1\text{mm} + 1\text{mm}$
 $L = 19\text{mm} \approx 20\text{mm}$

und $i = \frac{\text{Gewindetiefe } (t_1)}{\text{Schnitttiefe } (a_p)}$ [Gl.1.6]

wobei $a_p \approx \sqrt{\frac{\text{Gewindeaußendurchmesser } (d_a)}{40}}$ ist. [Gl.1.7]

$$i = \frac{1,48\text{mm}}{\sqrt{\frac{59,61\text{mm}}{40}}} = 1,21$$

Spezifisch für das G2 und G ¾ Zoll Rohrgewinde gelten folgenden Werte.

Gewindekennung	Durchmesser Inch	Durchmesser aussen mm	Durchmesser Mutter mm	Durchmesser Kernloch mm	Gänge je Inch	Steigung mm
G 1/8"	1/8	9,73	8,85	8,80	28	0,907
G 1/4"	1/4	13,16	11,89	11,80	19	1,337
G 3/8"	3/8	16,66	15,39	15,25	19	1,337
G 1/2"	1/2	20,95	19,17	19,00	14	1,814
G 5/8"	5/8	22,91	21,13	21,00	14	1,814
G 3/4"	3/4	26,44	24,66	24,50	14	1,814
G 7/8"	7/8	30,20	28,42	28,25	14	1,814
G 1"	1	33,25	30,93	30,75	11	2,309
G 1 1/8"	1 1/8	37,90	35,58	35,30	11	2,309
G 1 1/4"	1 1/4	41,91	39,59	39,25	11	2,309
G 1 3/8"	1 3/8	44,32	42,00	41,70	11	2,309
G 1 1/2"	1 1/2	47,80	45,48	45,25	11	2,309
G 1 3/4"	1 3/4	53,74	51,43	51,10	11	2,309
G 2"	2	59,61	57,29	57,00	11	2,309

Tabelle 2 Rohrgewindetabelle

Im zweiten Bearbeitungsschritt erfolgt das Langdrehen der Außenkontur. Für diesen Arbeitsschritt setzt sich die Hauptzeit (t_{hLD}) wie folgt zusammen.

$$t_{hLD} = \frac{L \cdot D \cdot \pi \cdot i}{f \cdot v_c \cdot 1000} \quad [\text{Gl.1.8}] \quad \text{mit} \quad L = l + 2 \cdot Z_l + l_a + l_u \quad [\text{Gl.1.5}]$$

$$t_{hLD} = \frac{65\text{mm} \cdot 71\text{mm} \cdot \pi \cdot i}{0,1 \frac{\text{mm}}{\text{U}} \cdot 100 \frac{\text{m}}{\text{min}} \cdot 1000} \quad L = 60\text{mm} + (2 \cdot 1\text{mm}) + 1\text{mm} + 1\text{mm}$$

$$t_{hLD} = 1,45 \text{ min} \quad L = 64\text{mm} \approx 65\text{mm}$$

Anschließend wird die Stirnseite des Sechskantes plangedreht. Da die Fläche des Sechskantes durch die beim Gießen berücksichtigte Lochbohrung für den späteren Schlauchanschluss ähnlich der eines Planrings ist, ergibt sich die Hauptzeit für das Planringdrehen mit konstanter Drehzahl (t_{hPRD}) aus:

$$t_{hPRD} = \frac{L \cdot i}{f \cdot n} \quad \text{in min} \quad [\text{Gl.3}]$$

mit

$$L = \frac{D_a - D_i}{2} + l_a + l_u \quad [\text{Gl.3.1}]$$

und ($v_c = \text{konst.}$)

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{D_a \cdot \pi} \quad [\text{Gl.1.3}] \quad \text{ergibt sich}$$

$$t_{hPRD} = \frac{(D_a^2 - D_i^2) \cdot \pi \cdot i}{f \cdot v_c \cdot 4000}$$

$$t_{hPRD} = \frac{(61\text{mm}^2 - 24,50\text{mm}^2) \cdot \pi \cdot i}{0,1 \frac{\text{mm}}{\text{U}} \cdot 100 \frac{\text{m}}{\text{min}} \cdot 4000} = 0,302 \text{ min}$$

Für das Fräsen der Kontaktflächen an den Schlauchanschlüssen wird ein Schafffräser ($d_{wz}=15\text{mm}$) gewählt. Um beim Innenfräsen einen ruhigeren Werkzeugverlauf zu erzielen, ist das Verhältnis zwischen Bohrung und Werkzeug mit etwa 2:1 bevorzugt zu wählen. Da der Durchmesser der Kontaktfläche bei $>30\text{mm}$ liegt, ist die Wahl für einen solchen Fräser fertigungstechnisch am idealsten.

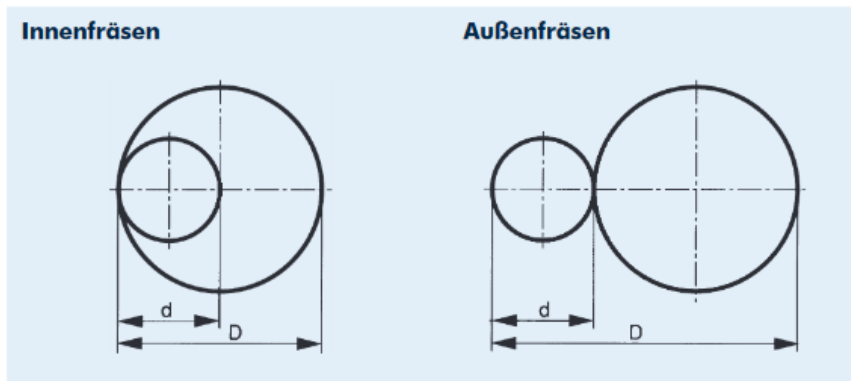


Abbildung 22 Verfahrensdarstellung Innen-, Außenfräsen

Allgemein gilt für das Stirnfräsen:

$$t_h = \frac{L \cdot l}{v_f} \quad \text{in min} \quad [\text{Gl.4}]$$

Die Verhältnisse des mittigen Stirnens (Fräsermittelpunkt auf Werkstückmitte) zeigt das nachstehende Bild. Für den Fräsweg gilt daher:

$$L = l + 2 \cdot Z_l + l_a + l_u \quad [\text{Gl.1.5}]$$

$$\text{mit } l_a = 1,5 + \frac{D}{2} - 0,5 \cdot \sqrt{D^2 - a_e^2} \quad [\text{Gl.4.1}]$$

und $l_u = 1,5\text{mm}$.

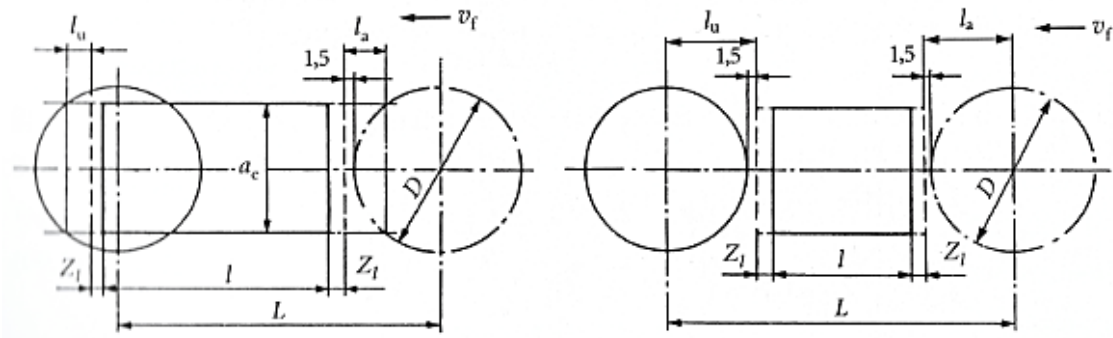


Abbildung 23 Anschnitt und Überlauf beim mittigen Stirnen (Schruppen links-Schlichten rechts)

L	Fräslänge	in mm
i	Anzahl der Schnitte	
v_f	Vorschubgeschwindigkeit	in mm/min
l	Werkstücklänge	in mm
Z_l	Bearbeitungszugabe	in mm
l_a	Anlaufweg des Fräasers	in mm
l_u	Überlaufweg des Fräasers	in mm
a_e	Arbeitseingriff	in mm
D	Fräserdurchmesser	in mm

Für die Hauptzeit einer Kontaktfläche des Anschlussstücks ergibt sich:

für $L=106,6\text{mm} \approx 107\text{mm}$

und

$$n_{wz} = \frac{v_c * 1000}{D_{wz} * \pi} = \frac{100 \frac{m}{min} * 1000}{15\text{mm} * \pi} = 2122,07 \frac{U}{min} \quad [Gl.1.3]$$

für

$$v_f = f_z * z * n_{wz} = 0,1 \frac{mm}{U} * 4 * 2122,07 \frac{U}{min} = 848,828 \frac{mm}{min} \quad [Gl.5.1]$$

$$t_{hKF} = \frac{L * i}{v_f} \text{ in min} \quad [Gl.5]$$

$$t_{hKF} = \frac{107\text{mm} * 1}{848,828 \frac{mm}{min}}$$

$$t_{hKF} = 0,126\text{min}$$

Nach dem Bearbeitungsschritt an den Kontaktflächen werden die Flanken am Sechskant fein bearbeitet um zu gewährleisten, dass das für die Montage erforderliche Werkzeug auch verwendet werden kann. Für die Fräsaufgabe der Flanken wird derselbe Schaftfräser ($d_{wz}=15\text{mm}$) wie auch bei der Bearbeitung der Kontaktflächen verwendet. Daraus ergibt sich die Hauptzeit für eine Flanke (t_{hFL}) aus:

$$t_{hFL} = \frac{L \cdot i}{v_f} \text{ in min} \quad [\text{Gl.6}]$$

mit

$$L = 42,5\text{mm} \quad [\text{Gl.1.5}] \quad \text{und} \quad v_f = 848,828 \frac{\text{mm}}{\text{min}} \quad [\text{Gl.5.1}]$$

$$t_{hFL} = \frac{42,5\text{mm} \cdot 1}{848,828 \frac{\text{mm}}{\text{min}}} = 0,05\text{min}$$

Im letzten Schritt wird die Hauptzeit (t_{hGB}) für die Erzeugung Gewindebohrungen betrachtet. Allgemein gilt bei der Berechnung der Hauptzeiten für das Gewindebohren die gleiche Herangehensweise wie für das Bohren und Aufbohren. Daraus ergibt sich:

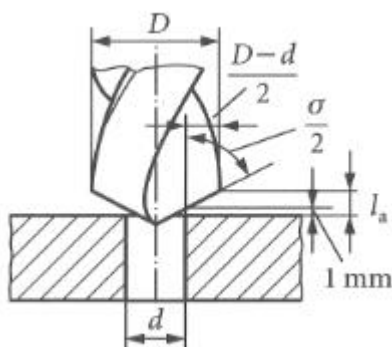
$$t_{hGB} = \frac{L}{f \cdot n_{wz}} \text{ in min} \quad [\text{Gl.7}]$$

mit

$$L = l_a + l_u + l \text{ in mm} \quad [\text{Gl.7.1}]$$

und

$$l_a = 1 + \frac{D-d}{2 \cdot \tan \frac{\sigma}{2}} \text{ in mm} \quad [\text{Gl.7.2}]$$



D	Bohrerdurchmesser	in mm
σ	Spitzenwinkel	in Grad
n	Bohrerdrehzahl	in U/min
f	Vorschub	in mm/U
L	Gesamtbohrweg	in mm
l	Werkstückdicke	in mm
l_a	Anlaufweg	in mm
l_u	Überlaufweg	in mm

Abbildung 24 Anlaufweg beim Aufbohren

Für die Gewindebohrung am Sechskant mit $L=16\text{mm}$ $n_{wz}=842,727$ 1/min:

$$t_{hGB1} = \frac{L}{f \cdot n_{wz}} \quad \text{in min} \quad [\text{Gl.7.3}]$$

$$t_{hGB1} = \frac{16\text{mm}}{0,1 \frac{\text{mm}}{\text{U}} \cdot 842,727 \frac{\text{U}}{\text{min}}} = 0,19\text{min}$$

und für die beiden seitlichen Gewindebohrungen mit $L=6,5\text{mm}$ und $n_{wz}=842,727$ 1/min:

$$t_{hGB2} = \frac{L}{f \cdot n_{wz}} \quad \text{in min} \quad [\text{Gl.7.4}]$$

$$t_{hGB2} = \frac{6,5\text{mm}}{0,1 \frac{\text{mm}}{\text{U}} \cdot 842,727 \frac{\text{U}}{\text{min}}} = 0,077\text{min}$$

Aus den Einzelbetrachtungen der Hauptzeiten setzt sich die Gesamtbearbeitungszeit (t_{hges}) zusammen. Zur besseren Übersicht sind die einzelnen Schritte mit ihren Hauptzeiten in der nachfolgenden Tabelle aufgeschlüsselt dargestellt.

Bearbeitungsvorgang	Hauptzeit t_h in [min]
G2 Zoll Gewindedrehen	0,182
Langdrehen	1,45
Planringdrehen (Sechskant)	0,302
Konturfräsen (Kontaktfläche)	0,126 x 2
Konturfräsen (Sechskant)	0,05 x 6
G ¾ Zoll Gewindebohren (Sechskant)	0,19
G ¾ Zoll Gewindebohren (Seitenflächen)	0,077 x 2
Summe t_{hges}	$\Sigma = 2,83$

Tabelle 3 Zusammenfassung der Bearbeitungshauptzeiten

Für die Endfertigung des Anschlussstücks aus seiner Grundform heraus, ist eine Bearbeitungsgesamtzeit von rund 2,83min einzuräumen.

7.1.2 Nebenzeiten

Um einen genauen Überblick zu haben wie lange ein Werkstück eine Maschine besetzt, ist die Betrachtung der Nebenzeiten genauso relevant. Um zu verstehen wie sich die Nebenzeiten zusammensetzen, muss man die Frage klären was Nebenzeiten sind. Unter Nebenzeiten versteht man die Echtzeiten in der Maschine die durch Einsatzbewegungen der Achsen hervorgerufen werden (vgl. Maier C. 1986: 95).

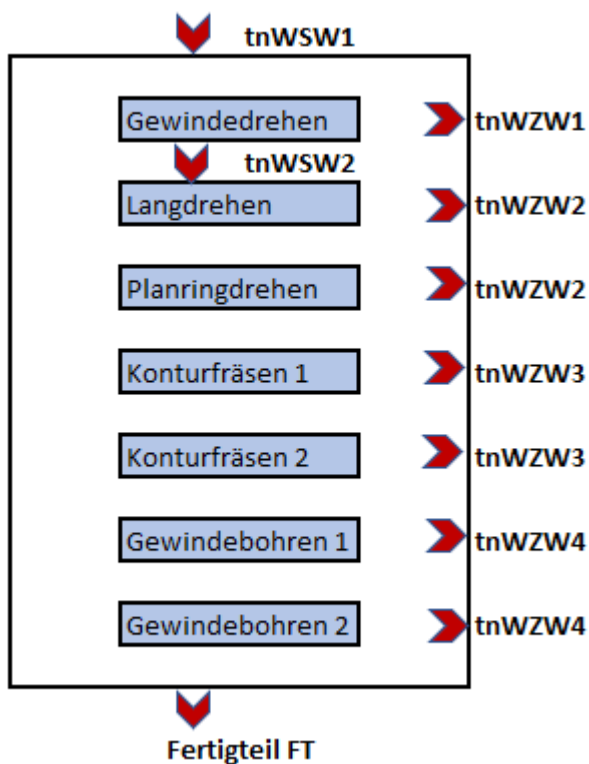


Abbildung 25 Schaubild der Bearbeitungsschritte und Nebenzeiten

Das schematisch vereinfachte Schaubild zeigt die verschiedensten Bearbeitungsschritte in der Maschine. Für die Erfassung der Nebenzeiten ist die Clusterung der Werkstückwechselzeiten (t_{nWSW1} und t_{nWSW2}) erforderlich.

Für t_{nsw1} ergeben sich folgende Schritte:

1. **Schritt:** Maschinentür öffnen
2. **Schritt:** Spannfutter öffnen
3. **Schritt:** Grundformbauteil positionieren
4. **Schritt:** Spannfutter schließen
5. **Schritt:** Maschinentür schließen

Für t_{nsw2} ergeben sich folgende Schritte:

1. **Schritt:** Maschinentür öffnen
2. **Schritt:** Greiferarm einfahren
3. **Schritt:** Greifen des Werkstücks
4. **Schritt:** Spannfutter öffnen
5. **Schritt:** Einlegen des Werkstücks in Gegenspindelspanndorn
6. **Schritt:** Spannfutter vom Spanndorn öffnen
7. **Schritt:** Greifer öffnen
8. **Schritt:** Greiferarm zurückziehen
9. **Schritt:** Tür schließen

Die Gesamtnebenzeit, die sich aus den einzelnen Schritten ableiten lässt, wird in diesem Beispiel des Anschlussstücks auf 2,20 min geschätzt. Daraus ergibt sich die Gesamtgrundzeit des Betriebsmittels für ein Werkstück.

$$[t_{gB} = \sum t_{hges} + \sum t_{nges}] = 2,83min + 2,20min = 5,03min \quad [Gl.8]$$

Ziel ist es, die Nebenzeiten zu minimieren in dem man sie versucht mit den Hauptzeiten zu überlagern.

7.1.3 Prozessbezogene Nebenzeiten

Zu den prozessbezogenen Nebenzeiten, anders auch Zusatzzeitanteile genannt, gehören die Brachzeit (t_b in [min]) und die Betriebsmittelverteilszeit (t_{vb} in [min]). Die Brachzeit ist ein fertigungsbedingter Zeitanteil bei der in der Bearbeitungsstation keine weiteren Tätigkeiten erfolgen können, die die geometrischen Veränderungen betreffen. Klassische Beispiele für diese Nebenzeit sind der Stangenvorschub, inklusive des Stangennachsetzens.

In diesem konkreten Beispiel beziehen sich die Brachzeiten auf das Bestücken der Maschine und auf das Umspannen des Werkstücks in der Maschine. Betriebsmittelverteilszeiten hingegen sind Zeitanteile für Überwachungs- und Austauschvorgänge, die in der Regel nicht vorhersehbar sind. Diese werden dennoch mit geplant auch wenn sie nicht gebraucht werden. Typische Vertreter sind Maschinenüberlastungen, Werkstück- und Werkzeugbruch.

Um die Fertigung des Anschlussstücks vergleichbar zu machen wird die Annahme getroffen, dass die fertigungsbedingten Zeitanteile (Brachzeiten) 1,5 min betragen sollen. Aus rechnerischer Sicht sind die Betriebsmittelverteilszeiten mit 10% der Grundzeit des Betriebsmittels zuzüglich der fertigungsbedingten Zeitanteile zu kalkulieren.

$$t_{vB} = 10\% \text{ von } (t_{gB} + t_b) \quad [\text{Gl.9}]$$

$$t_{vB} = 10\% \text{ von } (5,03\text{min} + 1,5\text{min})$$

$$t_{vB} = 0,653\text{min}$$

Aus diesen Daten lässt sich die Stückzeit (t_e), ist die Zeit pro Einheit, ableiten.

$$t_e = t_{gB} + t_b + t_{vB} \quad [\text{Gl.10}]$$

$$t_e = 5,03\text{min} + 1,5\text{min} + 0,653\text{min}$$

$$t_e = 7,183 \text{ min}$$

Für die Kalkulation der Ausführungszeit (t_a) wird ein Los von 120 Stck angenommen. So setzt sich die Ausführungszeit wie folgt zusammen.

$$t_a = t_e * m \quad [\text{Gl.11}]$$

$$t_a = 7,183\text{min} * 120\text{Stk}$$

$$t_a = 861,96 \text{ min pro Los}$$

Die Ausführungszeit ist die Summe aller anfallenden Bearbeitungsschritte, des Werkstücktransports, der Werkstückhandhabung, des Werkzeugwechsels, des Messens in der Maschine und die Aktualisierung des NC-Programms.

Um final die Maschinenbelegungszeit für die Fertigung des Anschlussstücks unter Berücksichtigung aller bisherigen Zeitanteile zu ermitteln, ist eine weitere Größe die der Betriebsmittelgrundrüstzeit erforderlich. Die Betriebsmittelgrundrüstzeit (t_{rgB}) fasst alle Zeitanteile zusammen die für eine einmalige, technische und organisatorische Einrichtung der Bearbeitungsstation erforderlich sind. Für die folgende Betrachtung der Betriebsmittelgrundrüstzeit werden pauschalisierte Erfahrungswerte für die einzelnen Aufgaben verwendet.

Für das hier verwendete Beispiel des Anschlussstücks soll sich aus:

- | | |
|--|--------------|
| 1. Auftrag + Zeichnung lesen | etwa 4,5min |
| 2. Werkzeug + Messmittel bereitlegen | etwa 3,6 min |
| 3. Werkzeug + Messmittel ein- und ausspannen | etwa 3 min |
| 4. Werkzeug + Messmittel einmessen | etwa 5,4min |
| 5. Maschine einrichten + Programm einlesen | etwa 2,8min |

eine Betriebsmittelrüstgrundzeit von $\Sigma 19,3\text{min}$ ergeben.

Aus der Betriebsmittelgrundrüstzeit lässt sich wie bei der Betrachtung der Betriebsmittelverteizeit auch eine Betriebsmittelrüstverteizeit (t_{rvB}) ableiten. Diese beträgt ebenfalls 10% der Betriebsmittelrüstgrundzeit.

$$t_{rvB} = 10\% \text{ von } t_{rgB} \quad [\text{Gl.12}]$$

$$t_{rvB} = 10\% \text{ von } 19,3 \text{ min}$$

$$t_{rvB} = 1,93\text{min}$$

Aus diesen beiden Zeitanteilen lässt sich nun die Betriebsmittelrüstzeit (t_{rB}) erfassen welche aufgrund der Handarbeiten auf volle Minuten zu runden ist.

$$t_{rB} = t_{rgB} + t_{rvB} \quad [\text{Gl.13}]$$

$$t_{rB} = 19,3\text{min} + 1,93\text{min}$$

$$t_{rB} = 21,23\text{min} \approx 22\text{min}$$

Abschließend lässt sich daraus die wichtige Maschinenbelegungszeit (T_{bB}) ableiten.

$$T_{bB} = t_{rB} + t_a \quad [\text{Gl.14}]$$

$$T_{bB} = 22\text{min} + 861,96\text{min}$$

$$T_{bB} = 883,96\text{min} = 14,73\text{h} \approx 15\text{h}$$

Die somit ermittelte Maschinenbelegungszeit von 15h pro Los gibt Aufschluss darüber, wie lange die Maschine mit dem Los belegt ist. Mit diesem Wert liegt es nun am Unternehmen wie lange es für die Bearbeitung der Fertigungsaufgabe benötigen will. Würde die Maschine im 8h Schichtbetrieb betrieben, würde eine Bearbeitungsdauer von 1,875 Tagen von Nöten sein. Letztlich könnte man die Bearbeitungsdauer zur Fertigung von 120 Anschlussstücken pro Los im 16h Betrieb auf unter 1 Tag reduzieren.

8. Fertigungskosten

Die ermittelte Maschinenbelegungszeit ist für die Kalkulation eines reibungslosen Arbeitsablaufes innerhalb eines Betriebes unabdingbar. Aus dieser Maschinenbelegungszeit kann aber direkt keine Information über die Fertigungskosten eines Bauteils entnommen werden. Um einen Aufschluss über die spezifischen Fertigungskosten zu erlangen sind ein paar Vorbemerkungen über anfallende Fertigungskosten zu treffen. Grob zusammengefasst sind Fertigungskosten die Differenz von Materialkosten und Betriebsmittelkosten.

Um diese aber detaillierter zu erfassen ist eine Unterteilung in Grund- und Gemeinkosten zu treffen. Zu den Grundkosten gehören die eindeutig zuordenbaren Materialkosten, welche aus diversen Stücklisten entnommen werden können, die direkt zurechenbaren Lohnkosten und Lohnnebenkosten welche wiederum aus Arbeitsplänen erhoben werden können und schlussendlich die erzeugnisspezifischen Werkzeugkosten.

Gemeinkosten einer Fertigung setzen sich aus Instandhaltungskosten, Kosten für Ausschuss, Materialverschleißkosten und die nicht zu vernachlässigbaren Stromkosten zusammen. All diese Kosten lassen sich demnach in variable und fixe Kosten einordnen. Wohingegen variable Kosten mit der zu produzierten Menge steigen, sind fixe Kosten unabhängig von der zu produzierenden Menge und stetig gleich.

Fertigungskosten (K_F) sind wesentliche Bestandteile der Produktion und aus technischer Sicht eine relevante Größe bei der wirtschaftlichen Betrachtung. Mathematisch lassen sich die Fertigungskosten darstellen als:

$$K_F = K_{MA} + K_L + K_{RFG} \quad [Gl.15]$$

K_F	Fertigungskosten
K_{MA}	Maschinenkosten
K_L	Lohnkosten
K_{RFG}	Restfertigungsgemeinkosten

Eine weitere wichtige Größe die eingeführt werden muss ist der Maschinenstundensatz (M_{Stks}). Maschinenstundensatz sind Kosten die eine Werkzeugmaschine verursacht, wenn sie eine Stunde im Betrieb läuft. Zur Erfassung dieses Wertes sind die kalkulatorischen Abschreibungskosten (A) und der Wiederbeschaffungswert (W_{bw}) einer Maschine erforderlich. Unter den kalkulatorischen Abschreibungskosten versteht man die technisch-, wirtschaftliche Wertminderung einer Werkzeugmaschine pro Jahr. Der Wiederbeschaffungswert hingegen ist die Summe aller Kosten bis zur Inbetriebnahme der Maschine am vorhergesehenen Ort. Um den Maschinenstundensatz für die im Beispiel des Anschlussstückes verwendete 5-Achs-Frä-Dreh-Maschine zu ermitteln, wurde aufgrund fehlender konkreter Daten auf plausible Näherungswerte zurückgegriffen. Demnach ergibt sich:

- Wiederbeschaffungswert der Maschine etwa 75.000 €
- Benötigter Stellfläche etwa 25m²
- Raumkosten etwa 180 €/m²*pro Jahr (entsprechen 15 €/m²)
- Leistung für Maschine nach Herstellerkatalog etwa 13 kW (beim Schrumpfen)
- Stromkosten etwa 0,3 €/kWh (Durschnitt der Stromkosten im Jahr 2018)
- Druckluft für Maschine nach Herstellerkatalog etwa 1 m³/h
- Druckluftkosten etwa 0,03 €/m³
- Angestrebte Nutzungsdauer der Maschine etwa 10 Jahre
- Maschineneinsatzzeit etwa 1500 h/Jahr (entsprechen etwa 30 h/Woche)
- Zinssatz etwa 6%

Der Maschinenstundensatz setzt sich zusammen aus:

$$M_{Stks} = \frac{\text{maschinenabhängige Kosten } (M_G)}{\text{Maschineneinsatzzeit } (t_{eff})} \quad \text{in} \quad \frac{\text{€}}{h} \quad [Gl.16]$$

$$\text{mit } M_G = A + Z + R + E_{ges} + (I + W) \quad \text{in} \quad \frac{\text{€}}{a} \quad [Gl.17]$$

A	kalk. Abschreibungen
Z	Zinssatz
R	Raumkosten
E _{ges}	Gesamtenergiekosten
I	Instandhaltungskosten
W	Wartungskosten

Die in Gleichung 17 benötigten Kosten setzen sich zusammen aus:

$$A = \frac{W_{bw}}{\text{Nutzungsdauer}} = \frac{75.000\text{€}}{10\text{Jahre}} = 7500 \frac{\text{€}}{\text{a}} \quad [\text{Gl.18}]$$

$$Z = \frac{W_{bw} * \text{Zinssatz in \%}}{2 * 100\%} = \frac{75.000\text{€} * 6\%}{2 * 100\%} = 2250 \frac{\text{€}}{\text{a}} \quad [\text{Gl.19}]$$

$$R = \text{Raumkosten} * \text{benötigte Stellfläche} = 180 \frac{\text{€}}{\text{m}^2 * \text{a}} * 25\text{m}^2 = 4500 \frac{\text{€}}{\text{a}} \quad [\text{Gl.20}]$$

$$E_{ges} = E_{Strom} + E_{Druckluft} = 5850 \frac{\text{€}}{\text{a}} + 45 \frac{\text{€}}{\text{a}} = 5895 \frac{\text{€}}{\text{a}} \quad [\text{Gl.21}]$$

$$E_{Strom} = \text{Anschlussleistung} * \text{Stromkosten} * \text{Maschineneinsatzzeit} \quad [\text{Gl.21.1}]$$

$$E_{Strom} = 13\text{kW} * 0,3 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} * 1500 \frac{\text{h}}{\text{a}} = 5850 \frac{\text{€}}{\text{a}}$$

$$E_{Druckluft} = \text{Druckluftverbrauch} * \text{Druckluftkosten} * \text{Maschineneinsatzzeit} \quad [\text{Gl.21.2}]$$

$$E_{Druckluft} = 1 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} * 0,03 \frac{\text{€}}{\text{m}^3} * 1500 \frac{\text{h}}{\text{a}} = 45 \frac{\text{€}}{\text{a}}$$

$$(I + W) = \text{kalk. Abschreibungen} * \text{Reparaturfaktor} = 7500 \frac{\text{€}}{\text{a}} * 0,6 = 4500 \frac{\text{€}}{\text{a}} \quad [\text{Gl.22}]$$

Daraus ergeben sich maschinenabhängige Kosten von:

$$M_G = 7500 \frac{\text{€}}{\text{a}} + 2250 \frac{\text{€}}{\text{a}} + 4500 \frac{\text{€}}{\text{a}} + 5895 \frac{\text{€}}{\text{a}} + 4500 \frac{\text{€}}{\text{a}} = 24645 \frac{\text{€}}{\text{a}}$$

Aus diesen Kosten und der Maschineneinsatzzeit lässt sich nun der Maschinenstundensatz für die verwendete Maschine berechnen.

$$M_{Stks} = \frac{\text{maschinenabhängige Kosten } (M_G)}{\text{Maschineneinsatzzeit } (t_{eff})} = \frac{24645 \frac{\text{€}}{\text{a}}}{1500 \frac{\text{h}}{\text{a}}} = 16,43 \frac{\text{€}}{\text{h}}$$

Mit den bereits ermittelten Werten der Maschinenstundenkosten und zusammen mit der aus Gleichung 15 gewonnenen Werte lassen sich nun die Fertigungskosten des Anschlussstücks erfassen. Für die Fertigungskosten ergibt sich somit:

$$K_F = K_{MA} + K_L + K_{RFG}$$

mit

$$K_{MA} = M_{Stks} * t_{bB} \quad \text{in €} \quad [Gl.15.1]$$

$$K_{MA} = 16,43 \frac{\text{€}}{h} * 14,73h = 242,014\text{€} \text{ für ein Los}$$

$$K_L = L_{Stks} * t_{bB} \quad \text{in €} \quad \text{mit einem Lohnstundesatz von } 50 \frac{\text{€}}{h} \quad [Gl.15.2]$$

$$K_L = 50 \frac{\text{€}}{h} * 14,73h = 736,50\text{€} \text{ für ein Los}$$

$$K_{RFG} = 120\% * K_L \quad \text{in €} \quad [Gl.15.3]$$

$$K_{RFG} = 120\% * 736,50\text{€} = 883,80\text{€}$$

$$K_F = K_{MA} + K_L + K_{RFG}$$

$$K_F = 242,014\text{€} + 736,50\text{€} + 883,80\text{€}$$

$$K_F = 1862,314\text{€}$$

Für Fertigung von einem Los von 120Stck der Anschlussstücke müssen 1862,314€ veranschlagt werden. Dies entspricht in etwa 16,00€ pro Anschlussstück.

Ab diesem Punkt könnte ein Kostenvergleich angesetzt werden um eine eventuelle Fertigungsalternative zu finden. Auf diesen Kostenvergleich wurde bewusst in dieser Bachelorarbeit verzichtet.

9. Zusammenfassung

Abschließend ist zu sagen das der Fokus einer jeden Produktenwicklung auf die Rentabilität des jeweiligen Produktes zurückzuführen ist. In Zeiten in denen die Konkurrenz nicht schläft und man nur durch schnellere und kostengünstigere Verfahren am Markt bestehen kann, ist eine wirtschaftliche Denkweise für jedes Unternehmen besonders wichtig. Die gesammelten Daten, welche im Rahmen dieser Bachelorarbeit und zur Bewältigung der Aufgabenstellung zusammengetragen wurden, sollten einen Überblick darüber verschaffen wie weitreichend und essentiell eine kritische Betrachtungen bei der Einführung von neuen Produkten und Entwürfen in der heutigen Industrie ist. Nachstehend wird auf die Durchführung der Produktionsumsetzung, welche in dieser Bachelorarbeit dokumentiert wurde, zusammenfassend eingegangen.

Bevor ein Konzeptentwurf entstehen kann muss eine Problemstellung dieser Anfrage vorausgehen. In diesem Beispiel war es die Idee die Löschwasseranschlüsse zweckdienlich in ein Unternehmen einfließen zu lassen, ohne diese im Gefahrenfall zu blockieren. Unter diesen Kriterien entstand der Konstruktionsentwurf des Anschlussstücks mit den beiden G $\frac{3}{4}$ Zoll Gewindeanschlüssen am Umfang und dem G $\frac{3}{4}$ Zoll Anschluss an der Stirnfläche des Sechskants für mögliche Schlauchanschlussadapter. Bei der Wahl des Materials für das Anschlussstück wurden die möglichen Anschlusskomponenten berücksichtigt. Um Kontaktkorrosionen zu vermeiden wurde das Material dem der Storzkupplung angepasst. Von der Frage über die Wahl des optimalen Materials kam die Überlegung den Werkstückrohling im ersten Fertigungsschritt durch Aluminiumdruckguss zu realisieren. Mit dem Einsatz von Gussteilen als Werkstückrohling konnten anhand dieser Entscheidung die weiterführenden Bearbeitungsschritte geplant werden. Anhand der Vorgabe zur Verwendung einer Fräs-Dreh-Einheit entstanden die nötigen Bearbeitungsschritte für die Endfertigung des Anschlussstücks.

Für die einzelnen Bearbeitungsschritte wurden anschließend die jeweiligen Hauptzeiten ermittelt. Zusammen mit den maschinenspezifischen Nebenzeiten wurde die Betriebsmittelrüstzeit der Maschine erfasst und detailliert dargestellt. Um die wirtschaftliche Betrachtung abzuschließen und die Fertigung des Anschlussstückes vergleichbar zu machen wurde eine Fertigungskostenanalyse anhand der Maschineneinsatzzeit und der Annahme plausibler Näherungswerte für diverse auf die Maschine bezogenen Daten durchgeführt.

Mittels dieser Annahmen konnte eine grobe Schätzung der anfallenden Fertigungskosten für das Anschlussstück getroffen werden. Bei der Durchführung der einzelnen Berechnungen wurde sich auf das Wissen, welches sich mit der Zeit des Studiums gebildet hatte, gestützt. Mit der Dokumentation der gesammelten und ausgewerteten Daten in dieser Bachelorarbeit wurden mit bestem Wissen und Gewissen die durch die Aufgabenstellung erwarteten Ansprüche erfüllt und wissenschaftlich dargestellt.

Quellenverzeichnis

Awiszus, B., Bast, J., Dürr, H. & Mayr, P. (2016) Grundlagen der Fertigungstechnik. 6. aktualisierte Auflage. München Fachbuchverlag. Leipzig im Carl Hanser Verlag. (S. 17 ff.).

Burmester, J., Dillinger, J., Escherich, W., Ignatowitz, E., Oesterle, S., Reißler L., Stephan A., Vetter R. & Wieneke F. (2007) Fachkunde Metall. Haan-Gruiten. 55. Auflage Europa Lehrmittel.

Dahms, M., Jaroschek, C. & Weißbach, W. (2015) Werkstoffkunde. *Überlegungen zur Werkstoffwahl*. Wiesbaden. Springer Fachmedien. (S. 483-495).

Dangelmaier, W. (2001) Fertigungsplanung. *Planung von Aufbau und Ablauf der Fertigung*. 2. Auflage. Berlin. Springer Verlag.

Degner, W., Lutze, H. & Smejkal, E. (2015). Spanende Formung. Theorie-Berechnung-Richtwert. 17. aktualisierte Auflage. München. Hanser Verlag.

DIN 8589-1: 2003-09, Fertigungsverfahren Spanen- Teil1: Drehen, Einordnung, Unterteilung, Begriffe.

Dostal, W., Kamp, A.-W., Lahner, M. & Seessle, W. P. (15.Jg./1982). Mitteilungen aus der Arbeitsmarkt- und Berufsforschung. *Flexible Fertigungssysteme und Arbeitsplatzstrukturen*.

Feldhusen, J. & Grote, K.-H. (2005) Dubbel Taschenbuch für den Maschinenbau. 21. neubearbeitete und erweiterte Auflage. Berlin. Springer Verlag.

Hirsch-Kreinsen. (1993) NC-Entwicklung als gesellschaftlicher Prozess. *Entwicklungspfade der NC-Technik*. ISF München. (S.53-57).

Holz, B. F. (1985) Flexible Fertigungssysteme. *Warum flexible Fertigungssysteme?* Berlin. Springer Verlag. (S. 11-12).

Klocke, F. & König, W. (1997) Fertigungsverfahren Drehen, Fräsen, Bohren 5. überarbeitete Auflage. Berlin. Springer Verlag.

Klocke, F. & König, W. (2008) Fertigungsverfahren Drehen, Fräsen, Bohren 8. neubearbeitete Auflage. Berlin. Springer Verlag.

Kranz, J. (2017) Methodik und Richtlinien für die Konstruktion von laseradditiv gefertigten Leichtbaustrukturen. *Entwicklung einer Methodik zur Bauteilgestaltung*. 1.Auflage. Berlin. Springer Verlag.

Maier, C. (1986). Montageautomatisierung am Beispiel des Schraubens mit Industrierobotern. *Erweiterte Wirtschaftlichkeitsbetrachtung und Nutzenrechnung*. Berlin. Springer Verlag. (S.95-96).

Roos, E. (2017) Werkstoffkunde für Ingenieure *Kriterien zur Werkstoffwahl*. Berlin. Springer Verlag (S. 415-416).

VDI 2229:1979-06, Metallkleben. Hinweise für Konstruktion und Fertigung.

Internetquellen

ESSKA.de

<https://www.esska.de/shop/Storz-Festkupplung-Baugroesse-75-B-16-bar-mit-Innengewinde>
zugriff am [11.04.2019].

HELLER GmbH

<https://www.heller.biz/produkte/5-achs-fraes-drehzentren-c>
zugriff am [11.04.2019].

Sander Präzisionsdruckguss

<https://sander-druckguss.de/leistungen/aluminiumdruckguss>
zugriff am [11.04.2019].