



# Hochschule Merseburg

Fachbereich Ingenieur und Naturwissenschaften

## Bachelorarbeit

### Studiengang Mechatronik, Industrie- u. Physiktechnik

**Thema:** Dokumentation der Zusammenhänge zwischen Werkzeugwechselzeit und Werkzeugstandzeit in flexiblen Fertigungssystemen und Charakteristik ihrer jeweiligen Besonderheiten

**Erstbetreuer:** Prof. Dr.-Ing. Rolf Kademann

**Zweitbetreuer:** Dipl. -Ing. (FH) Thomas Kirchhofer

**Vorgelegt von:** Junkai Ren 19285

758981470@qq.com

**Abgabetermin:** 09.12.2015

# Inhaltsverzeichnis

<b>Danksagung</b> .....	<b>1</b>
<b>1. Einleitung</b> .....	<b>2</b>
<b>1.1 Aufgabenstellung</b> .....	<b>2</b>
<b>1.2 Hinweise zur Lösung der Aufgabenstellung</b> .....	<b>2</b>
<b>2. Grundlagen</b> .....	<b>3</b>
<b>2.1 Flexible Fertigungssysteme</b> .....	<b>3</b>
2.1.1 Bearbeitungszentren .....	3
2.1.2 Flexible Fertigungszelle .....	4
2.1.3 Flexible Fertigungsinsel .....	5
2.1.4 Flexible Fertigungssystem .....	6
2.1.5 Flexible Transferstraße .....	7
<b>2.2 Komponenten flexibler Fertigungssysteme</b> .....	<b>11</b>
2.2.1 Bearbeitungseinheiten .....	11
2.2.2 Materialflußsystem .....	11
2.2.3 Steuerungssystem .....	12
2.2.4 elektronisches Leit- und Informationssystem .....	12
2.2.5 Datenerfassungs- und übertragungssystemen .....	12
2.2.6 Meß-, Überwachungs- und Kontrollsystemen .....	13
2.2.7 Ver- und Entsorgungssysteme .....	13
<b>3. Werkzeugmaschinen</b> .....	<b>14</b>
<b>3.1 Werkzeugspeicher</b> .....	<b>14</b>
3.1.1 Mehrfachwerkzeugträger .....	15
3.1.2 Werkzeugmagazin .....	16
<b>3.2 Werkzeugwechsel</b> .....	<b>18</b>
3.2.1 Werkzeugwechsel .....	18
3.2.2 Werkzeugwechsler .....	20
<b>3.3 Werkzeugaustausch</b> .....	<b>24</b>
3.3.1 Vergleich von Werkzeugaustausch und Werkzeugwechsel .....	26
<b>3.4 Werkstückspeicher durch Wechseleinrichtung</b> .....	<b>26</b>
<b>4. Werkzeugverwaltung</b> .....	<b>30</b>
<b>4.1 Einführung</b> .....	<b>30</b>
<b>4.2 Anforderungen an die Werkzeugversorgung</b> .....	<b>31</b>
4.2.1 Maschinenseitige Anforderungen .....	32
4.2.2 Steuerungsseitige Anforderungen .....	32
4.2.3 Zusätzliche Aufgaben der Werkzeugverwaltung .....	33
<b>4.3 Werkzeugcodierung und –erkennung</b> .....	<b>34</b>
4.3.1 feste Platzcodierung .....	34
4.3.2 variable Platzcodierung .....	35
4.3.3 mechanische Werkzeugcodierung .....	35
4.3.4 elektronische Werkzeugcodierung .....	36
<b>4.4 Aufgaben der CNC zur Werkzeugverwaltung</b> .....	<b>38</b>
4.4.1 Die Vorausschauende Werkzeugverwaltung .....	38
4.4.2 Verwaltung von Schwesterwerkzeugen .....	39
4.4.3 Werkzeugstandzeit- und Werkzeugbruchüberwachung .....	39

<b>5. Zeitanteile</b> .....	<b>40</b>
<b>5.1 Zeitgliederung für die Belegungszeit</b> .....	<b>40</b>
<b>5.2 Zeitgliederung nach REFA</b> .....	<b>41</b>
<b>5.3 Werkzeugwechselzeit</b> .....	<b>42</b>
<b>6. Praktisches Beispiel</b> .....	<b>42</b>
<b>6.1 Bearbeitungszeichnung und Bearbeitungsanforderungen</b> .....	<b>42</b>
<b>6.2 3D-Ansicht und Projektionsansicht des Werkstückes</b> .....	<b>43</b>
6.2.1 Projektionsansicht vor Bearbeitung .....	43
6.2.2 Projektionsansicht nach Bearbeitung .....	43
<b>6.3 Bearbeitungsprogramm und Zeitanteile</b> .....	<b>44</b>
6.3.1 Anlage des Bearbeitungsprogramm .....	44
6.3.2 Programm und Zeitanteil des Anteil von Fräsen(Ausschnitt).....	44
<b>6.4 Werkzeuge</b> .....	<b>46</b>
6.4.1 Schafffräser .....	46
6.4.2 NC-Anbohrer .....	48
6.4.3 Spiralbohrer .....	49
6.4.4 Gewindebohrer .....	50
<b>6.5 Bearbeitungszentrum</b> .....	<b>51</b>
6.5.1 Besonderheit für Werkzeugwechsler .....	53
<b>6.6 Optimierung der CNC-Bearbeitung</b> .....	<b>53</b>
6.6.1 Vergleich zwischen nur ein Schafffräser und zwei Schafffräser .....	53
6.6.2 Optimierung von Gewindebohren .....	54
<b>Selbständigkeitserklärung zur Bachelorarbeit</b> .....	<b>56</b>
<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>57</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>57</b>

# Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denjenigen bedanken, die mich bei der Anfertigung dieser Bachelorarbeit unterstützt haben.

Ein ganz besonderer Dank gilt meinen Betreuern, Herrn Prof. Dr.-Ing. Rolf Kademann und Herrn Dipl. -Ing. (FH) Thomas Kirchhofer für die Ermöglichung der Bachelorarbeit und für die hilfreichen Anregungen während der Bearbeitung des Themas.

Zu guter Letzt möchte ich meinen Eltern und meiner Familie danken, die mir das Studium und damit auch diese Bachelorarbeit erst ermöglicht haben.



# 1. Einleitung

## 1.1 Aufgabenstellung

Zunehmend gewinnt die Automatisierung in mannigfaltiger Form in der Produktionstechnik an Bedeutung, so dass es bei der Auslegung der einzusetzenden Fertigungstechnik eine Vielzahl an technischen und organisatorischen Rahmenbedingungen zu beachten gilt.

Im Rahmen der Bachelorarbeit gilt es, gemäß der o.g. Themenstellung, die erforderlichen Zeitanteile, die einen reibungslosen organisatorischen und technischen Ablauf gewährleisten zu dokumentieren, die ihnen eigene Bedeutung zu analysieren und die dabei entstehende Wechselwirkungen im Zusammenhang darzustellen.

## 1.2 Hinweise zur Lösung der Aufgabenstellung

1. Analyse des gegenwärtigen Standes bezüglich der Fertigungssystemauslegung unter Einbeziehung spanabhebender Werkzeugmaschinen
2. Dokumentation der einzelnen Bereiche im System, die relevante Zeitanteile erfordern
3. Analyse und Bewertung der prozesstechnischen und organisatorischen Besonderheiten für die Teilbereiche Werkzeughandhabung/-wechsel sowie Werkzeugaustausch- und Werkzeugtransport
4. Darstellung des zeitbezogenen Zusammenhangs zwischen den maschinenbaulichen und organisatorischen Gegebenheiten in einem flexiblen Fertigungssystem eigener Wahl

# 2. Grundlagen

## 2.1 Flexible Fertigungssysteme

Flexible Fertigungssysteme (abgekürzt FFS) sind eine Kombination bereits verfügbarer Maschinen mit mechanischen und elektronischen Zusatzeinrichtung zur automatischen Bearbeitung von Werkstücken.

### 2.1.1 Bearbeitungszentren

Bearbeitungszentren sind NC-Maschinen mit hohem Automatisierungsgrad und mit mindestens drei translatorischen, bahngesteuerten Maschinenachsen. Zur Erweiterung der Automatisierungsfunktionen können Werkzeugwechsler mit Werkzeugspeicher, Werkstückwechsler und Palettenwechsler vorgesehen werden. Arbeitsspindel beherrschen unterschiedliche Bearbeitungsverfahren, z.B. bohren, fräsen, ausdrehen, gewindeschneiden und reiben. Nach der Baurichtung der Arbeitsspindel werden Bearbeitungszentren (horizontale BAZ oder vertikale BAZ) unterschieden.



Abb. 1: CNC-Bearbeitungszentrum; Quelle: Internet

Vorteile der Bearbeitungszentren:

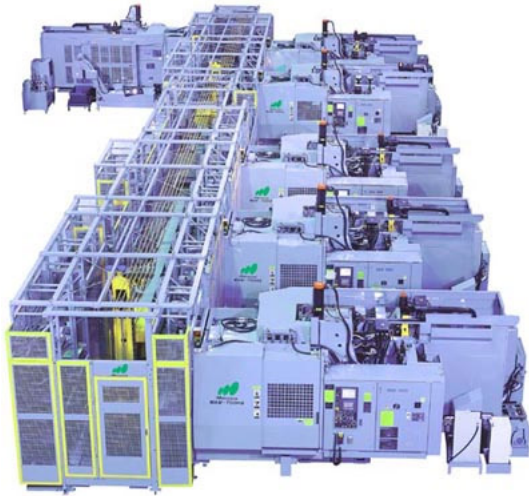
- hoch Flexibilität
- komplexe, aufwendige Geometrie der Werkstücken zu bearbeiten können
- größere Losgrößen bearbeitet werden können
- höhere Produktivität
- hohe Genauigkeit (0.001mm bis 0.1µm)

### **2.1.2 Flexible Fertigungszelle**

Flexible Fertigungszelle besteht aus drei Komponenten: einem Bearbeitungssystem, einem Materialflusssystem und einem Informationssystem.

- a.) Bearbeitungssystem: Bearbeitungszentren, meist Einmaschinensysteme oder Doppelmaschinensysteme. (Duplex-Zellen)
- b.) Materialflusssystem: Werkstückwechsel vom Werkstückspeicher zur Maschine erfolgt vollautomatisch, bis alle Teile bearbeitet sind.
- c.) Informationssystem: Die Programm in der CNC-interne Programmspeicher kann die Bearbeitung aller Teile aufnehmen. Die Funktionsbausteine sind integriert in der SPS/CNC, z.B. Werkzeugstandzeitüberwachung und Werkzeugbruchkontrolle durch eine Werkzeugverwaltung; Werkstück-Meßzyklen durch die gemessenen Daten nach Toleranzen und Fehlern und eine Prozeßüberwachung zum Schutz des gesamten Systems.

Flexible Drehzellen sind Maschinen zur Herstellung rotationssymmetrischer Werkstücke. Drehmaschinen, mit der Drehteile durch exzentrisches Bohren Fräsen mittels angetriebener Werkzeuge nachbearbeitet werden, sodaß fertig bearbeitete Teile die Maschine verlassen.



Flexible Fertigungszelle bestehend aus 6 horizontalen Bearbeitungszentren zur Fertigung von Aluminium-Druckgussteilen für Außenbordmotoren.

Die Teilefamilie umfasst 6 Varianten. Der Palettenspeicher nimmt insgesamt 49 Paletten auf. Der Ausbau erfolgte schrittweise parallel zur benötigten Kapazität.

*Abb. 2: Flexible Fertigungszelle; Quelle: Internet*

### **2.1.3 Flexible Fertigungsinsel**

Flexible Fertigungsinsel ist ein abgegrenzter Werkstattbereich mit mehreren Werkzeugmaschinen und anderen Einrichtungen, um die erforderlichen Arbeiten an einer begrenzten Auswahl von Werkstücken durchführen zu können. Diese Werkstücke sind fertigungstechnisch ähnlich. Eine Fertigungsinsel ist die räumliche und organisatorische Kombination der Maschinen und Fertigungsmittel zur vollständigen Bearbeitung dieser Teilefamilien. Die Mitarbeiter können die durchführenden Arbeiten selbst planen, entscheiden und kontrollieren. Alle anfallenden Arbeiten werden in der Gruppe disponiert und verteilt, die Termine überwacht und die Qualität kontrolliert.



Abb. 3: Fertigungsinseln im Automotive-Bereich; Quelle: Internet

Charakteristiken von den Fertigungsinseln:

- eine stärkere Motivation von Mitarbeiter, mehrere Tätigkeiten lernen und beherrschen
- Initiativen benötigen
- Flexibilität durch vielseitige Qualifikation
- ein starker Gruppengeist

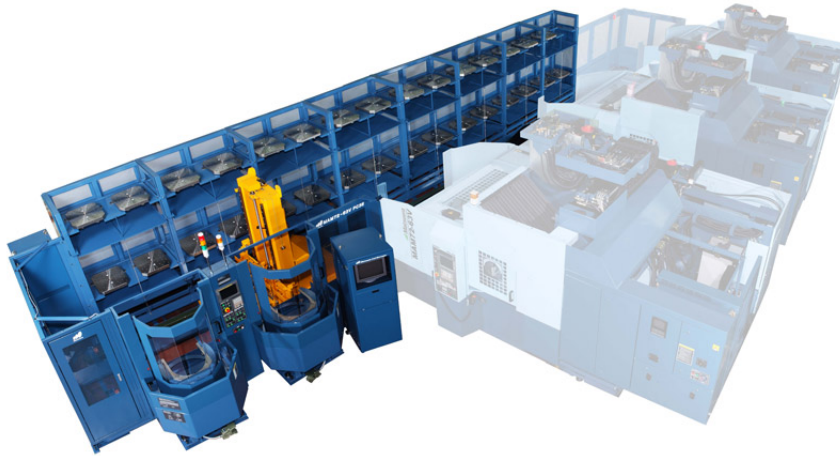
Wirtschaftliche Vorteile und Nachteile der Fertigungsinseln

Wirtschaftliche Vorteile der Fertigungsinseln:	Wirtschaftliche Nachteile der Fertigungsinseln:
1. Reduzierte Gemeinkosten	1. Maschinen-Überkapazität
2. weniger Papier	2. die vorhandenen Maschinen weniger genutzt werden
3. kürzere Entscheidungswege	
4. kein Planungsvorlauf	

Tabelle 1: Wirtschaftliche Vorteile und Nachteile der Fertigungsinseln

#### 2.1.4 Flexible Fertigungssystem

Das Flexible Fertigungssystem ist die höchste Automatisierungsstufe der flexiblen Fertigungskonzepte. Es besteht aus einer Gruppierung von mehreren dieser hoch automatisierten Maschinen, etwa 5-10, die unabhängig von einander gleiche oder ähnliche Werkstücke komplett bearbeiten. Diese automatisierten Maschinen sind durch ein gemeinsames, automatisches Werkstücktransport- und -zuführsystem miteinander verbunden, sowie an einen Leitreechner angeschlossen. Vor allem ist eine weitgehende Eigenüberwachung der Systemkomponenten erforderlich.



Flexibles  
Fertigungssystem  
aus drei  
5-Achsen-Vertikal-  
Bearbeitungszen-  
tr en mit 35 Paletten  
und Cell-Manager.

*Abb. 4: Flexibles Fertigungssystem; Quelle: Internet*

Funktionen bzw. Vorteile:

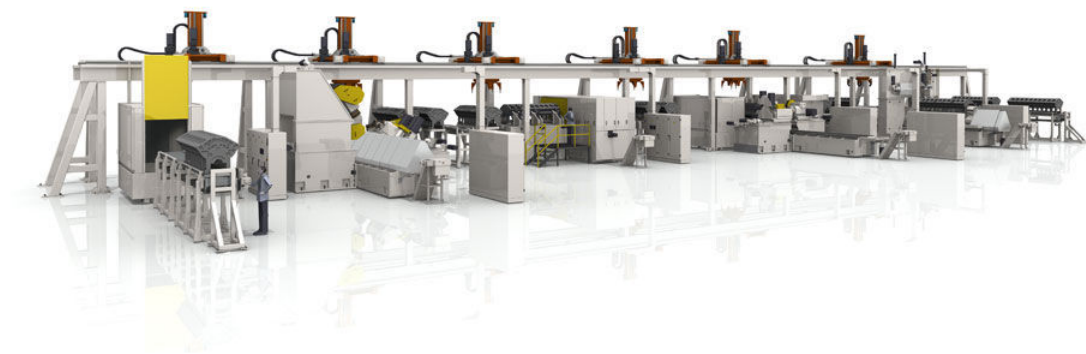
- eine automatische Fertigung stattfinden kann
- unterschiedliche Bearbeitungsaufgaben an Teilfamilien durchgeführt werden können
- wechselnde Losgrößen bearbeitet werden können
- keine Unterbrechung der Bearbeitungsfolge durch manuelle Eingriffe entsteht

### **2.1.5 Flexible Transferstraße**

Eine Flexible Transferstraße (FTS) ist eine Fertigungslinie in der industriellen Produktion. Die Flexible Transferstraße besteht aus einer werkstückseitigen Verknüpfung von mehreren NC-Maschinen und anderen Bearbeitungseinheiten nach dem Linienprinzip. Alle Teile durchlaufen die einzelnen Stationen in einer festen Reihenfolge und werden mit aufeinanderfolgenden, unterschiedlichen Programmen bearbeitet. Die Bearbeitungsvorgänge in den einzelnen Maschinen können durch das NC-Programm in Grenzen verändert werden.

Konventionelle Transferstraßen sind wesentlich produktiver als flexible Fertigungssysteme, sie sind aber als Einzweckmaschinen leider keine Alternativen für die Bearbeitung kleiner Losgrößen unterschiedlicher Werkstücke.

Bei einer flexiblen Transferstraße teilt man eine konventionelle Transferstraße in mehrere Teilstraßen auf und richtet Puffer zwischen den einzelnen Teilstraßen ein. Im Gegensatz zu einer konventionellen Transferstraße können bei einer FTS die einzelnen Teilstraßen separat für neue Werkstücke umgerüstet werden. Daher ermöglicht eine FTS kleinere Losgrößen durch verminderte Umrüstverluste. Die FTS eignet sich deshalb besser zur Produktion von verschiedenen aber ähnlichen Werkstücken.



*Abb. 5: Flexible Transferstraße; Quelle: Internet*

## Einsatzbereiche unterschiedlicher Fertigungskonzept

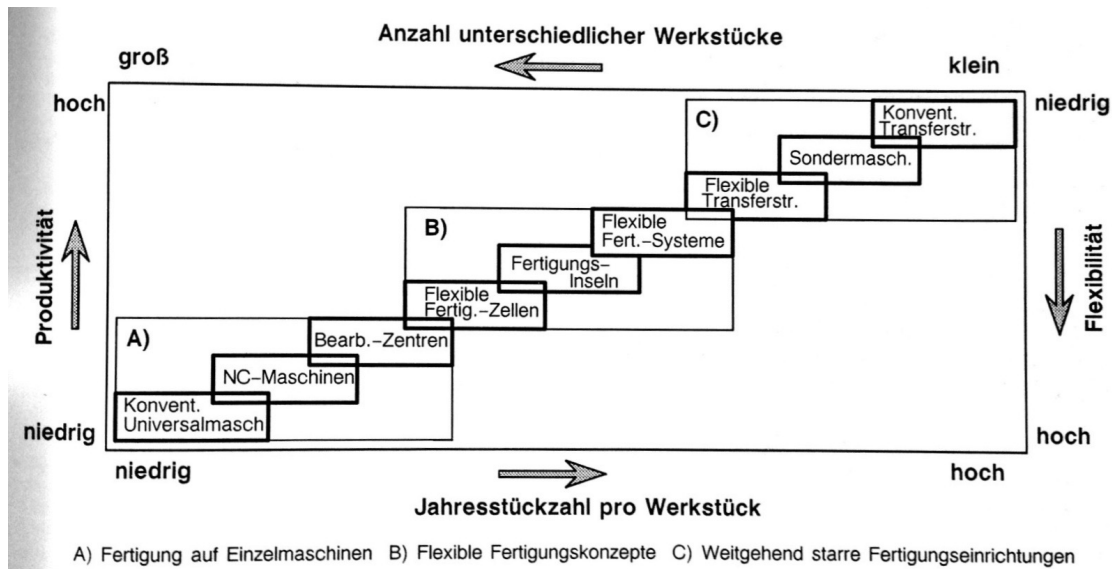


Abb. 6: Einsatzbereiche unterschiedlicher Fertigungskonzept; Quelle: Buch1

## Vergleich der 9 wichtigsten Fertigungskonzepte für die spanende Bearbeitung

Konzept	Einsatzgebiet	Maschinentyp	Steuerung	Werkstück-Handhabung
konventionelle Universalmaschinen	sehr vielseitig bei begrenzter Teile-Komplexität	verschiedene, je nach Aufgabe	keine, erfordert gute Fachkräfte	manuelle
einzelne, unverkettete NC-Maschinen	kleine Stückzahlen begrenzte Teilevielfalt	Fräsmaschinen Drehmaschinen Nibbelmaschine Bohrmaschinen	NC, CNC und SPS	manueller Werkstück- und Werkzeugwechsel
Bearbeitungszentren	Fertigbearbeitung in einer oder zwei Aufspannungen. Häufig wechselnde Teile	Schleifzentren Drehzentren Nibbelmaschine Bearbeitungszentren	CNC mit erweiterten Funktionen	automat. WstW. WzgW mittels Roboter, Palettenwechsler und Wzg.-Magazin



Flexible Fertigungs-Zelle	Serienfertig. Bei mittl. Losgrößen für ein begrenztes Teilespektrum	WZM mit vergröß. Wst.-Speicher und erweitertem Werkzeug-Speicher	CNC mit großem Programmspeicher und Überwachungseinrichtungen	Palettenbahnho f oder sortierter Wst-Vorrat
Flexible Fertigungs-in sel	Versch. Maschinen zur Bearbeitung von Wst. ähnlicher Geometrie	Unterschiedliche , vorwiegend sich ergänzende Maschinen	manuelle und gesteuerte Maschinen nach Bedarf	manuelle oder mit einfachen Transportmitteln
Flexible Fertigungs-Systeme	Teilefamilien in mittleren Stückzahlen und großer Vielfalt	Mehrere gleiche oder unterschiedl. WZM zur Komplettbearbeitung in 1 oder 2 Aufspann.	CNC + DNC + Leitrechner + Planungsrechner	Wst. Transport-System, ungetaktete Fertigung, minimaler Personalbedarf
Flexible Transferstraße	größere Serien mit vielen Varianten	Sondermaschinen und NC-Maschinen kombiniert und verkettet	SPS CNC Leitsystem	getakteter Durchlauf mit der Möglichk. Maschinen zu umgehen
Sondermaschinen (Einzweckmaschinen)	größerer Serien, keine oder nur geringe Varianten, spezielle Bearbeitungen	Speziell ausgelegte Maschinen mit mechan, Automatisierungszusätzen	SPS, evtl. mit speziellen Sensoren	Prinzip der Rundtaktmaschine mit automatischem WstW

Konventionelle Transferstraße	Großserien, seltener Auftragswechsel, Produkte mit langem Lebenszyklus	meistens Sondermaschinen, Einzweckmaschinen und Spezialmaschinen	SPS mit Überwachungseinrichtungen	gemeins. getaktete, starre Transporteinrichtung ohne Umgehungsmöglichkeit
-------------------------------	--	--	-----------------------------------	---

*Tabelle 2: Vergleich der 9 wichtigsten Fertigungskonzepte für die spanende Bearbeitung; Quelle: Buch1*

## 2.2 Komponenten flexibler Fertigungssysteme

**Flexible Fertigungssysteme** sind keine neuen Maschinen, sondern eine Kombination bereits vorhandener Komponenten:

- Mehrere NC-Maschinen
- mechanische Automatisierungseinrichtungen
- elektronische Steuer- und Überwachungseinrichtungen
- Rechner mit Software

### 2.2.1 Bearbeitungseinheiten

Die Bearbeitungseinheiten sind meistens CNC-Bearbeitungszentren oder Drehzentren, aber auch Schleifmaschinen oder Sondermaschinen oder automatische Montagestationen. Diese Maschinen sind mit allen mechanischen Automatisierungszusätzen ausgerüstet, wie Werkzeugwechsel, Werkstückwechsel oder Handhabungssystemen.

### 2.2.2 Materialflußsystem

Das Materialflußsystem besteht aus schienengebundenen Transportwagen oder schienenlosen, induktionsgeführten Transportwagen, oder einem Paletten-Umlaufsystem, oder Robotern, mit deren Hilfe die zu bearbeitenden Teile und evtl. die Werkzeug zu den einzelnen Stationen und zurück transportiert werden.

### **2.2.3 Steuerungssystem**

Das Steuerungssystem besteht aus mehreren, leistungsfähigen CNC's und SPS zur automatischen Steuerung der Maschinen und Einrichtung über werkstückspezifische Ablauf- und Bearbeitungsprogramme, meistens durch entsprechende Fertigungsvorgaben von übergeordneten Leitsystemen und einer zentralen Programmversorgung über DNC.

### **2.2.4 elektronisches Leit- und Informationssystem**

Das elektronische Leit- und Informationssystem nach Größe des FFS besteht aus mehreren, hierarchisch gegliederten Rechnern mit Softwarepaketen für unterschiedliche Aufgaben.

**CAD** für Konstruktion und Berechnung der Werkstücke mit integrierter oder nachfolgender Programmierung der NC-Teilprogramme.

**PPS** zur Planung der Maschinenbelegung, der Materialvorräte und des Fertigungsablaufes mit Zeitwirtschaft.

**DNC** zur automatischen Datenversorgung der einzelnen CNC's und SPS's.

**MDE/BDE** zur automatischen Erfassung der Betriebszustände und Ausfallursachen aller im FFS integrierten Komponenten.

**MIS** (Management-Informationen-System) zur ständigen Meldung des Einzel- und Gesamtzustandes der Anlagenkomponenten an die Fertigungs-, Betriebs- und Firmenleitung.

### **2.2.5 Datenerfassungs- und Übertragungssystemen**

Die Aufgabe von Datenerfassungs- und Übertragungssystemen ist, den in einem FFS erforderlichen Datenverkehr schnell und sicher auszuführen. Dazu müssen einheitliche Datenschnittstelle an allen anzuschließenden Komponenten vorhanden sein. Für den Datenaustausch stehen verschiedene Übertragungssysteme zur Verfügung, wie Stern- oder Ringleitungen mit unterschiedlichen Software-Prozeduren.

Zur automatischen Erfassung von Daten, wie beispielweise Werkstückcodierungen oder Werkzeugdaten, haben sich Barcodeleser und

mechanische oder magnetische Codiereinrichtungen am besten bewährt. Aufgrund der zunehmenden Datenmenge werden immer mehr elektronische Datenspeicher mit kontaktloser Übertragung eingesetzt.

Die Vernetzung der einzelnen Rechner erfolgt durch dafür geeignete BUS-Systeme, dem sogen. Werks- oder Fabrikbus.

### 2.2.6 Meß-, Überwachungs- und Kontrollsystemen

Meß-, Überwachungs- und Kontrollsystemen sind zur Sicherstellung und Überwachung der ständigen Maschinenverfügbarkeit, der Qualität und des Bearbeitungsablaufes

durch Kontroll-Messungen an den bearbeiteten Werkstücken,

durch Überwachung der Werkzeug,

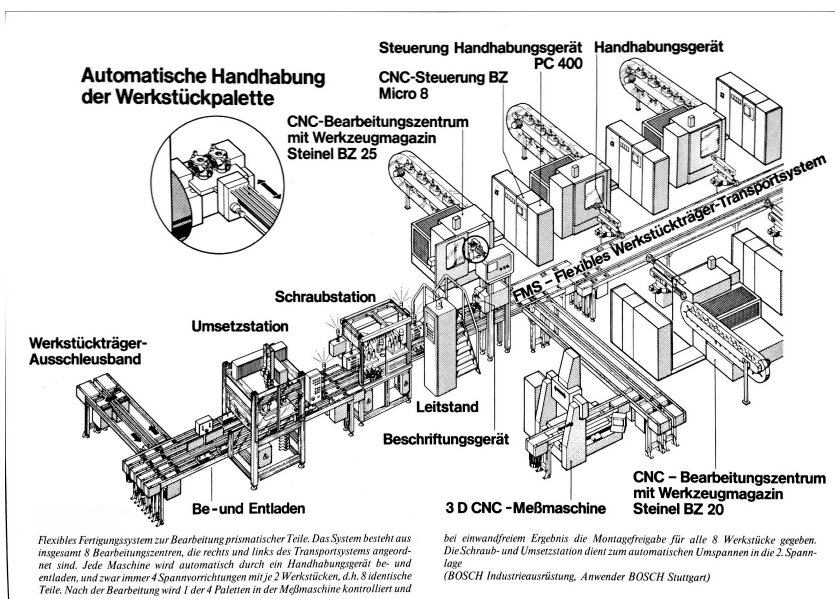
durch automatisches Einstellen und Nachführen der Werkzeugkorrekturen,

durch Überwachung des Werkstücktransportes zur Vermeidung von Kollisionen,

durch rechtzeitige Warnungen vor aufkommenden Störungen und Meldung der Fehlerursachen bei Störungen und Ausfällen.

### 2.2.7 Ver- und Entsorgungssysteme

Ver- und Entsorgungssysteme sind für Kühlmittel und Späne, die in großen Mengen unterbrechungslos zu bewältigen sind.



## 3. Werkzeugmaschinen

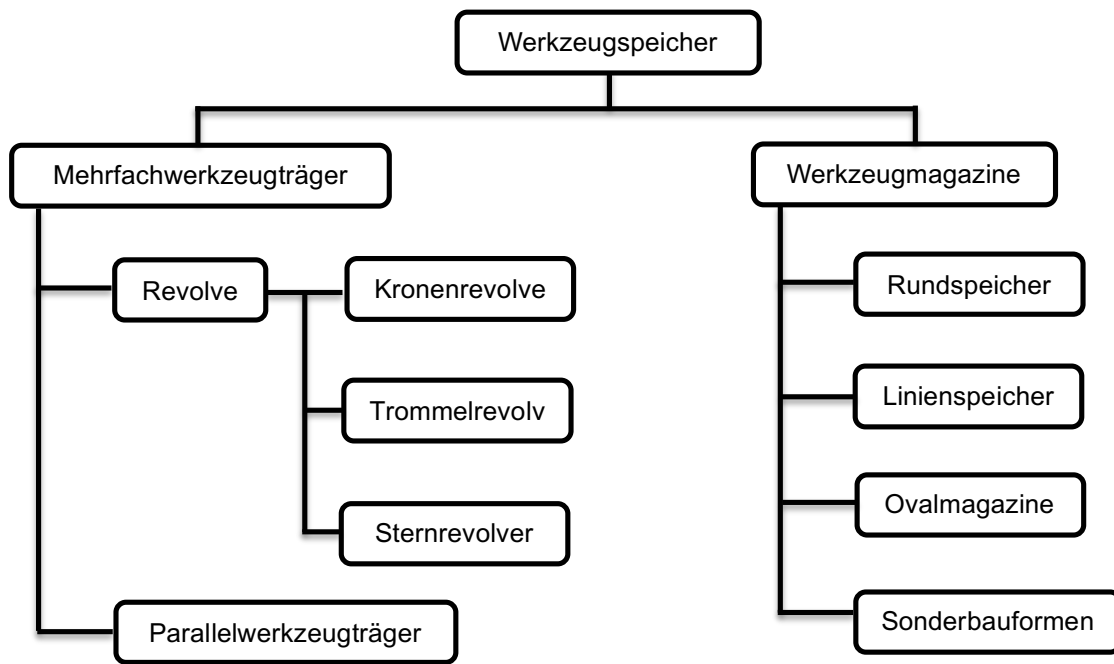
### 3.1 Werkzeugspeicher

Die Werkzeuge kann man nach ihrer Art in 3 Gruppen unterscheiden:

1. Standardwerkzeuge mit genormten Abmessungen
2. Serienwerkzeuge, die nur für bestimmte Serien von Werkstücken gebraucht werden
3. Sonderwerkzeuge, die nur gelegentlich benötigt werden(z.B. Stufenwerkzeuge) oder solche für die Erzielung höchster Genauigkeiten( Rollier-, Diamantwerkzeuge)

Die Werkzeuggröße sind ein wichtiger Einflussfaktor. Man kann Werkzeugspeicher grob in Mehrfachwerkzeugträger und Werkzeugmagazine unterscheiden.

Bei Mehrfachwerkzeugträger sind Speicher und Werkzeugwechsler zu einer baulichen Einheit zusammengefasst. Für die Handhabung der Werkzeuge aus Magazinen sind immer gesonderte Wechseinrichtungen erforderlich.



### 3.1.1 Mehrfachwerkzeugträger

Mehrfachwerkzeugträger sind für Bearbeitungsautomaten typisch, bei denen kaum Flexibilität erforderlich ist. Besonders bei Drehoperationen kann damit ein Werkstück in einer Einspannung fertiggestellt werden.

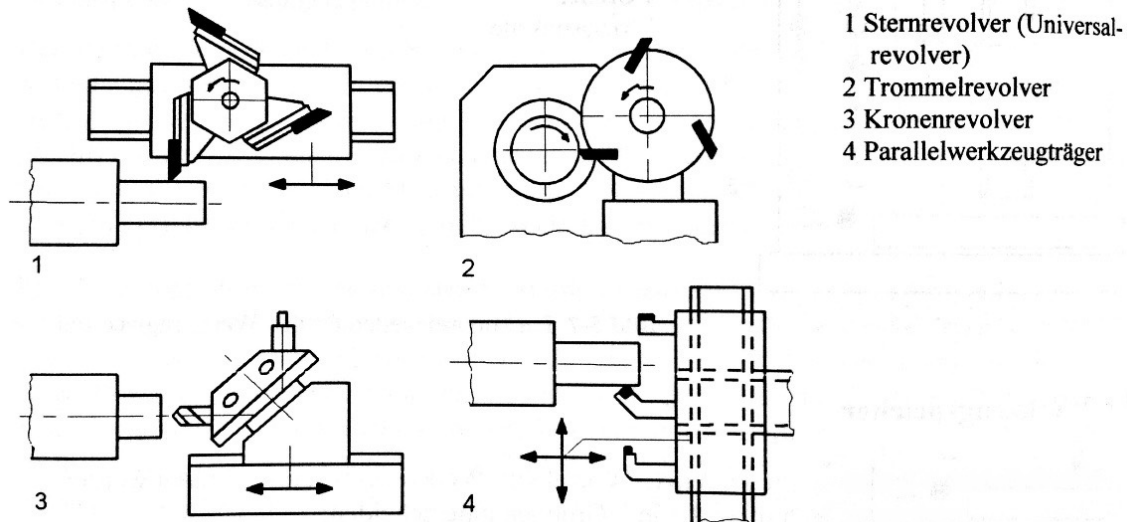


Abb. 8: Mehrfachwerkzeugträger; Quelle: Buch2

## 1. Revolver

Der Revolverkopf wird auch im modernen Werkzeugmaschinenbau noch angewendet. Er hat einen einfachen Aufbau, kann die unterschiedlichsten Werkzeuge speichern und garantiert eine hinreichende Positioniergenauigkeit der Werkzeuge.

Die Anzahl der in einem Werkzeugrevolver unterzubringenden Werkzeuge ist sehr begrenzt, da mit der Anzahl der Werkzeuge auch die Abmessungen des Revolvers zunehmen. Außerdem treten dann gegenseitige Behinderungen ein. Meist werden 6-fach- oder 8-fach- Revolver verwendet. Es werden aber auch solche mit 12, 16 und 18 Werkzeugaufnahmen gebaut. Aus der Lage der Revolverachse und der Werkzeuge lassen sich Aussagen über den Raumbedarf und mögliche Einschränkungen des Arbeitsraumes ableiten.

Der Werkzeugwechsel kommt dadurch zustande, dass der Revolverkopf aus Kollisionsgründen außerhalb der Wirkzone (am sogenannten Werkzeugwechsellpunkt) um einen bestimmten Betrag gedreht wird, damit das

folgende Werkzeug beim Heranfahen an das Werkstück zum Eingriff kommt. Dazu sind folgende Bewegungen beim Revolverkopf erforderlich:

Entspannen → Entriegeln → Teilen → Verriegeln → Spannen

Dafür sind entsprechende Arretierungs- und eine Spanneinrichtung notwendig. Antriebe und Steuerung werden oft mit hydraulischen Bauelementen verwirklicht.

## **2. Parallelwerkzeugträger**

Mehrfachwerkzeugträger vereinigen Werkzeug, Magazin und Vorschubschlitten. Beim Parallelwerkzeugträger befinden sich die Werkzeuge hintereinander auf einem Schlitten. Die Werkzeuganzahl ist gering, weil die Werkzeuge genügend Abstand zueinander haben müssen.

### **3.1.2 Werkzeugmagazin**

Bei den Werkzeugmagazinen geht es vor allem um die Speicherung von Schaftwerkzeugen mit Kegelaufnahme mit einer Masse bis zu mehreren Kilogramm. Es können auch Werkzeugköpfe sein, mit einer Masse von nur wenigen hundert Gramm. Verschiedene Massen und Größe müssen im Magazin nebeneinander speicherbar sein, ohne dass eventuell Speicherplätze wegen des Werkzeugvolumens frei bleiben müssen. Für die Handhabung müssen in Form einer Griffrihle einheitliche Handhabungsbedingungen vorhanden sein.

Die Werkzeugmagazine können im Vergleich mit den Mehrfachwerkzeugträger wesentlich mehr Werkzeuge bereithalten.

An die Werkzeugmagazine werden 3 Grundforderungen gestellt:

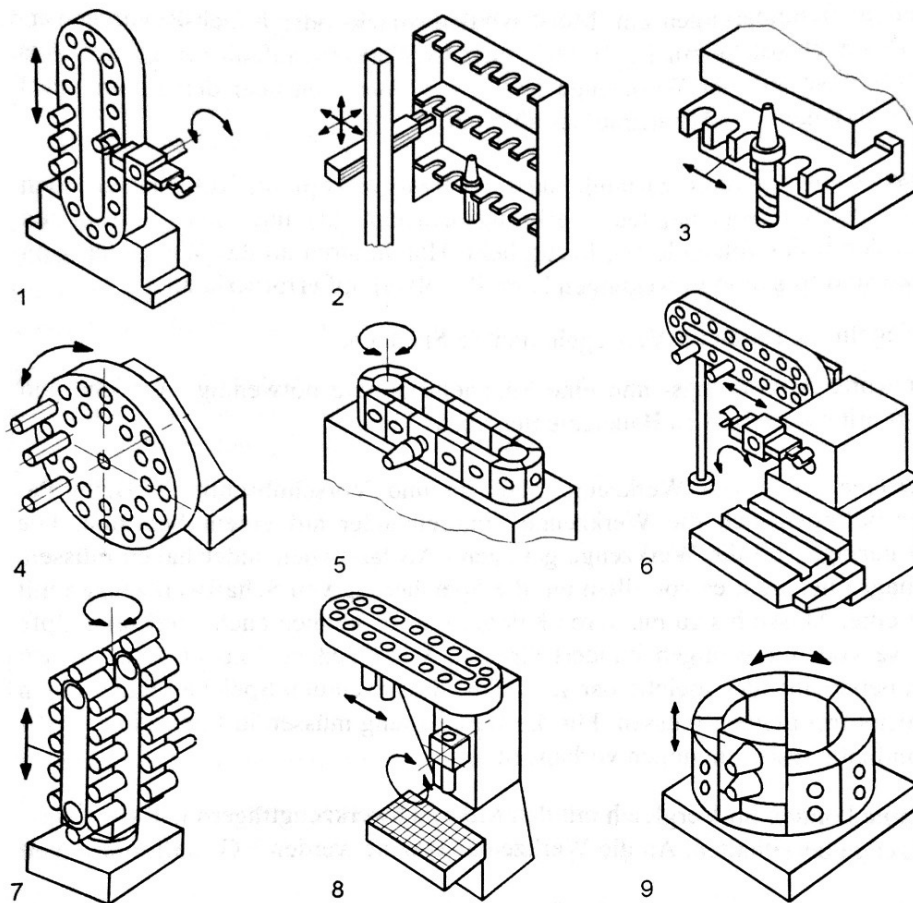
1. Die Speicherkapazität muss groß sein.
2. Die Wechselzeit soll möglichst klein sein.
3. Die Wechselgenauigkeit muss hoch sein.

Die Speicherkapazität der Werkzeugmagazine liegt in folgenden Größenordnungen:

Revolverkopf	4 bis 6 Werkzeuge
Kettenmagazine	40 bis 120 Werkzeuge

Scheibenmagazine	bis 120 Werkzeuge
Werkzeugregale	bis 200 Werkzeuge
segmentierte Magazine	über 200 Werkzeug

Konstruktive Prinzip für Werkzeugmagazine:



1 senkrechte Speicherkette, 2 Regalmagazin, 3 Linearmagazin, 4 mehrreihiger Scheibenspeicher, 5 Speicherkette, 6 hochgesetzte Speicherkette, 7 Doppelkettenspeicher, 8 Ovalmagazin, 9 Hubdrehmagazin für Werkzeugkassetten

Abb. 9: Bauformen von Werkzeugmagazinen; Quelle: Buch2

Segmentierte Magazinkassetten sind Doppelreihenmagazine auf einem separaten Ständer, die zum einen Bestandteil des maschinenintegrierten Werkzeugmagazins sind, zum anderen aber auch als Transportmittel zwischen Werkzeugbereitstellung und Maschine dienen. Es gibt Kassetten mit z.B. 25, 36,



oder 48 Magazinplätzen, die sich miteinander kombinieren lassen. Die Kassetten sind codiert, sodass sie in automatischen Abläufe erkannt und vom Werkzeugzubringer richtig bereitgestellt werden können.

Große Scheibenspeicher mit waagerechter Drehasche nehmen zwar viele Werkzeuge auf, sind aber sperrig und drehen sich relativ langsam. Kleine Magazinscheiben mit senkrechter Drehachse lassen sich dagegen recht und links zur Hauptspindel anbringen und auch als Mehretagen- Scheibenspeicher gestalten. Bei Universal- Bohr- und Fräswerken hat man auch Karussellspeicher für z.B. 30 Werkzeuge direkt auf den Spindelstock aufgesetzt. Konstruktiv vielfältig sind Speicher mit Magazinketten. Hochgelegte Speicherketten befinden sich über der Maschine im arbeitsfreien Raum und belegen damit keine Produktionsgrundfläche. Doppelkettensysteme haben den Vorteil, dass man sie parallel zur laufenden Bearbeitung bereits wieder mit einem neuen Satz Werkzeuge bestücken kann. An spanenden automatischen Werkzeugmaschinen mit umlaufenden Werkzeugen werden je Produktionseinheit und Schicht etwa 60 bis 180 verschiedene Werkzeuge eingesetzt. Große Werkzeugspeicher in der Art von Reihenmagazinen(Kassetten) können beträchtliche Flächen in Anspruch nehmen. Deshalb haben sich besonders die Kettenspeicher durchgesetzt. Sie sind kompakt und können viele Werkzeuge aufnehmen. Man kann ihre Speicherkapazität auch vergrößern, was bei anderen Magazinen nicht geht. Im Betrieb unterliegt die Kette aber dem Verschleiß und kann durchhängen. Das kann zu Positionierfehlern führen. Deshalb sind zusätzliche Fixiereinrichtungen nötig.

## **3.2 Werkzeugwechsel**

### **3.2.1 Werkzeugwechsel**

Wechseln eines Werkzeug gegen ein anderes infolge des Arbeitsfortschrittes, also aus technologischen Gründen. Der Wechsel findet grundsätzlich zwischen Hauptspindel und Werkzeugmagazin statt.

Der Werkzeugwechsel ist an das reibungslose Zusammenspiel dreier Funktionseinheiten gebunden. Das sind Werkzeugspeicher, Wechseinrichtung und Werkzeugaufnahme (Werkzeug) als Handhabungsobjekt. Das Aufbau einer Wechseinrichtung richtet sich hauptsächlich nach der Art des Werkzeugmagazins.

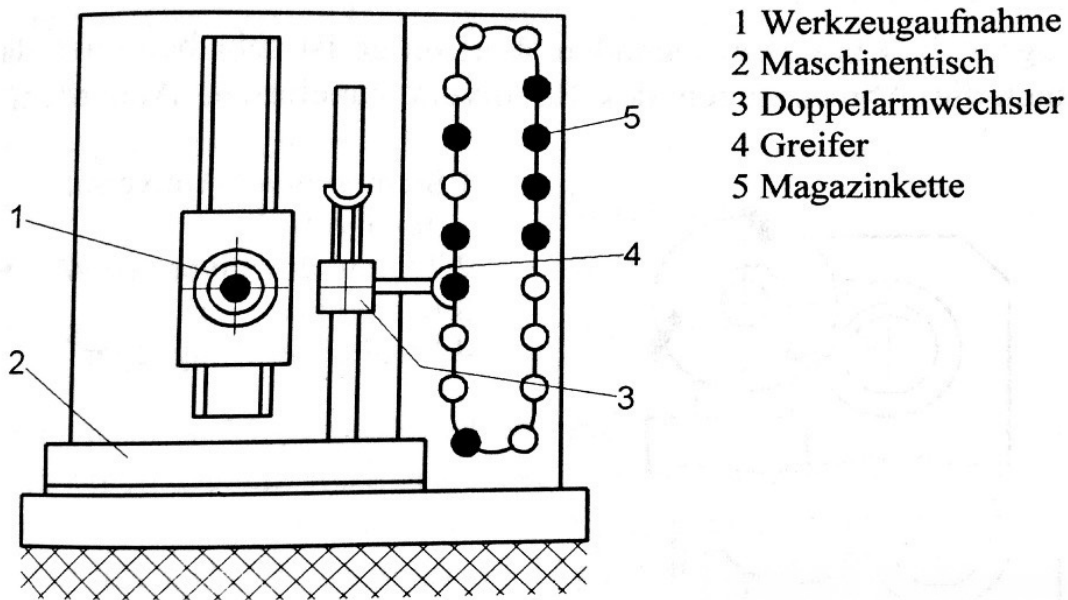


Abb. 10: Funktionseinheiten für den Werkzeugwechsel; Quelle: Buch2

Voraussetzungen für einen automatischen Werkzeugwechsel:

1. Die Werkzeuge müssen sich außerhalb der Maschine mit Hilfe von Voreinstellgeräten auf ein definiertes Voreinstellmaß einstellen lassen.
2. Die Werkzeuge müssen sich mit sicher funktionierenden Spannsystemen z.B. mit der Hauptspindel der NC-Maschine verbinden lassen. Das geschieht meist kraft-formpaarig, was lageorientiert abgelegte Werkzeuge erfordert und auch eine definierte Stellung der Hauptspindel (Ausrichten) mit den Koppelementen.
3. Beim Wechsel muss die Arbeitsspindel in eine sogenannte Wechselposition fahren. Sie ist maschinen- und werkzeugspeicherabhängig und gewährleistet den reibungslosen Wechsel.
4. Die Sitzflächen an Werkzeug und Hauptspindel müssen exakt sauber sein.

Deshalb sind entsprechende Reinigungseinrichtungen (pneumatische Ausbläser, Abstreifer u.a.) vorzusehen.

5. Im Werkzeugsystem muss eine Einheitlichkeit in den Werkzeugaufnahmen erreicht sein. Dazu gehören nicht nur standardisierte Koppelstellen, sondern auch einheitliche Griffriellen für das sichere Halten der Werkzeuge im Greifer der Wechseleinrichtung.
6. Die Werkzeugversorgung muss gut organisiert erfolgen, damit eine bedarfsgerechte Bestückung oder eine Umbestückung des Magazins vorausschauend und mit minimalem Zeitverbrauch erfolgen können.

### **3.2.2 Werkzeugwechsler**

Der Werkzeugwechsler ist eine spezialisierte Handhabungseinrichtung, z.B. ein Doppelgreifer, der an einer NC-Maschine nach einem Programmaufruf selbsttätig einen Werkzeugwechsel oder den Werkzeugtausch vornimmt. Im Sondermaschinenbau, z.B. bei flexiblen Transferstraßen, kommt es vor, dass man sogar ganze Mehrspindelköpfe automatisch wechselt, um eine gewisse Flexibilität zu erreichen.

Der Ursprung der Idee vom automatischen Werkzeugwechsel liegt in der übersichtlichen Bereitstellung und Lagerung von hochwertigen Werkzeugen einschließlich ihrer Voreinstellung. Zuerst wurden Werkzeugwechsel-Hilfseinrichtungen für den manuellen Wechsel schwerer Werkzeuge geschaffen. Das erste Bearbeitungszentrum mit automatischem Werkzeugwechsler wurde 1958 in USA entwickelt (Milwaukee-matic) Das Ziel besteht darin, über große Zeiträume bedienerfrei arbeiten zu können und die Hilfszeit im Vergleich mit dem manuellen Wechsel deutlich zu unterbieten. In der flexiblen Fertigung geht es dabei um erhebliche Werkzeugmengen.

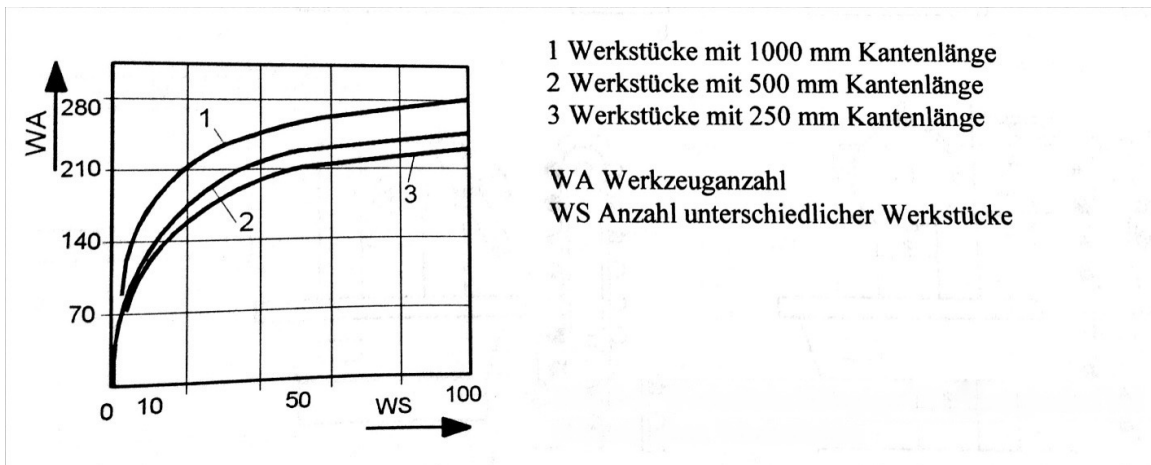
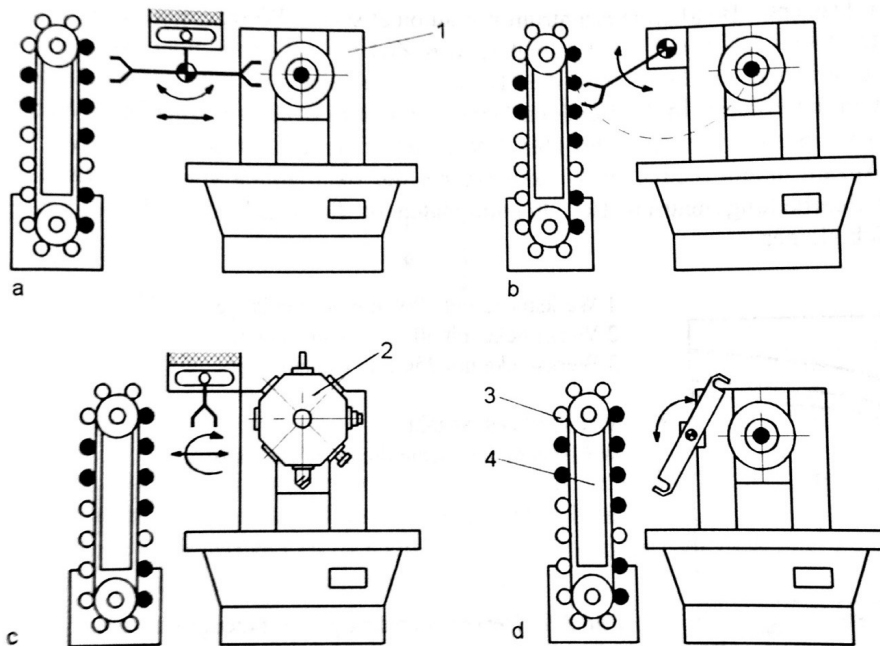


Abb. 11: Werkstückabhängiger Werkzeugbedarf bei prismatischen Werkstücken; Quelle: Buch2

Abb. 11 zeigt den Zusammenhang von Werkzeuganzahl und Anzahl unterschiedlicher Werkstücke bei der Bearbeitung von prismatischen Teilen auf einem Bearbeitungszentrum. Bei Drehautomaten ist die Anzahl der erforderlichen Werkzeuge deutlich kleiner.

Der Werkzeugwechsel ist prinzipiell eine zusätzliche Quelle für Ungenauigkeiten. Die Werkzeugwechselgenauigkeit wirkt nicht unerheblich auf die Arbeitsgenauigkeit der Werkzeugmaschine. Sie wird beeinflusst von

1. der Gestaltung der Koppelstelle Arbeitsspindel-Werkzeug (konstruktiv, toleranzmäßig, verschleißbezogen),
2. von der Verunreinigung von Werkzeugschaft und Kegelhülse sowie
3. von der Spannkraft in der Arbeitsspindel



a) Doppelarmgreifer, b) Schwenkarmgreifer, c) Transferegreifer, d) Doppelschwenkarm, 1 NC-Maschine, 2 Werkzeugrevolver, 3 Werkzeug, 4 Werkzeugspeicher

Abb. 12: Prinzipanordnung für Werkzeugwechsel; Quelle: Buch2

Abb. 12 zeigt einige Anordnungen von Werkzeugwechslern. Doppelgreifersysteme sind zeitlich im Vorteil, weil sie beim Wechseln eines alten Werkzeuges gegen ein neues mit weniger Teilbewegungen auskommen. Es wurden auch schon Lösungen geschaffen, bei denen der für die Werkstückhandhabung installierte Industrieroboter auch den Werkzeugwechsel bei Bedarf mit ausführt. Da man über die mehrachsige Beweglichkeit des Roboters verfügen kann, kommt man dann auch mit einfachen Kasten- oder Regalmagazinen für die Werkzeugbereitstellung aus. Eine Mehrfachnutzung von ohnehin vorhandenen Bewegungsfunktionen wirkt immer kostendämpfend. Es gibt auch Lösungen, bei denen 2 Greifer die Maschine aus 2 Magazinen bedienen.

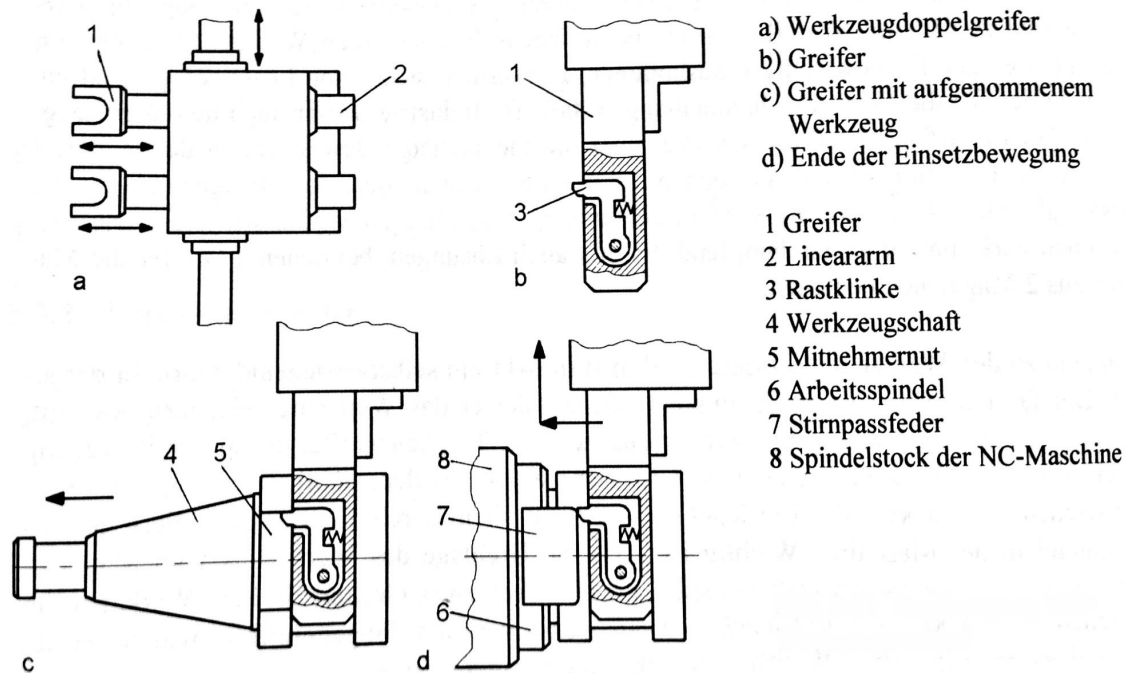


Abb. 13: Greifvorgang beim Werkzeugwechsel; Quelle: Buch2

Ein selbstverriegelnder Greifer wird in Abb. 13 dargestellt. Der Greifer bringt keine Spannkraft auf, mit der er das Werkzeug reibpaarig klemmt, sondern er stellt eine formpaarige Verbindung her. Die Trägheitskräfte, die in der Bewegung entstehen und das Werkzeug aus dem Greifer herausreißen wollen. Stabilisieren sogar das Halten zwischen den Backen. Die Entriegelung geschieht allein durch die Stirnpassfedern der Arbeitsspindel in der Maschine. Wichtig ist, dass die Drehlage des Werkzeugs vom Magazinplatz bis zur Hauptspindel erhalten bleibt. Es gibt aber auch Greifer, die das Werkzeug im Klemmgriff halten. Sie unterscheiden sich nur wenig von den Zangengreifern, wie sie in der Handhabungstechnik für die Werkstückhandhabung benutzt werden.

Die Tragfähigkeit eines Werkzeuggreifers muss oft bis 30kg Masse betragen, weshalb häufig für die Linear- und Dreheinheiten hydraulische Antriebe vorgesehen werden. Leistungsfähige Wechsler erreichen bei Werkzeugmassen von 15kg eine Zeit von 0,5 bis 1 Sekunde für eine komplette Hub – Schwenkbewegung. Allerdings ist für den Anwender die erreichbare Werkzeugwechselzeit weniger wichtig. Maßgebend für die produktive Zeitbilanz ist die Span- zu- Span- Zeit, die z.B. 3 bis 5 Sekunden bei einem

Bearbeitungszentrum beträgt (1,5 Sekunden Zeitanteil von Werkzeug zu Werkzeug)

### **3.3 Werkzeugaustausch**

Werkzeugaustausch: Tauschen eines verbrauchten Werkzeugs gegen ein gleichartiges Werkzeug. Das findet zwischen Hauptspindel und Werkzeugmagazin statt, wenn die Bearbeitung fortzusetzen ist. Ein Austausch kann auch zwischen Magazin und Werkzeuglager vor sich gehen, was eigentlich der Normalfall ist.

Der Werkzeugtausch wird im Vergleich zum Werkzeugwechsel in relativ großen Zeitabständen erforderlich. Sofern es um den Tausch zwischen Werkzeugmagazin und Werkzeuglager geht, wird meistens auf eine Automatisierung verzichtet. Der manuelle Austausch ist hier oft wirtschaftlicher. Man kann aber auch hier Maßnahmen zur Erleichterung bzw. zur zeitlichen Verkürzung treffen.

Das ist anders, wenn während der Bearbeitung eines Werkstücks der Alarm "Werkzeug verbraucht" aufläuft. Die Maschine wird dann nicht automatisch stillgesetzt, sondern es wird ein Tauschvorgang ausgelöst. Dadurch kommt ein Ersatzwerkzeug (Schwesterwerkzeug) zum Einsatz. Dieser Tausch läuft vollautomatisch ab, erfordert aber, dass man von Beginn an daran denkt und identische Schwesterwerkzeuge im Werkzeugmagazin vorrätig hält. Der Griff nach dem Ersatzwerkzeug kann auch ausgelöst werden, wenn die zulässigen Toleranzgrenzen überschritten werden. Dazu muss die Maschine allerdings über technische Mittel verfügen, die eine In-process-Messung erlauben.

Bei normaler Werkzeugabnutzung braucht das Werkzeug aber nicht sofort gebraucht zu werden. Mitunter genügt es nämlich, die Vorschubgeschwindigkeit um etwa 15 bis 30 Prozent zu reduzieren. Dann kann die Bearbeitung bis zum nächsten, ohnehin fälligen Werkzeugwechsel fortgeführt werden. Erst dann wird das abgenutzte Werkzeug aus dem Magazin genommen, eventuell manuell und

ohne einen Maschinenstopp. Steuerungstechnisch muss sichergestellt werden, dass ein verschlissenes Werkzeug nicht erneut eingewechselt wird.

Eine In-process- Messung zu realisieren, ist allerdings keine leichte Aufgabe, weil man Sensoren möglichst nahe an die Wirkstelle bringen muss.

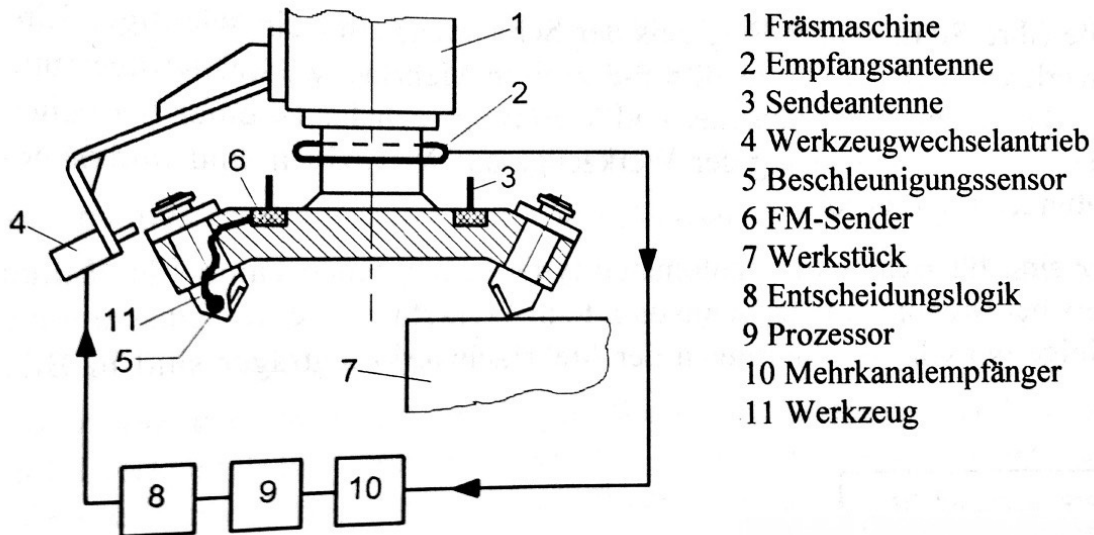


Abb. 14: In-process-Sensor bei der Zerspanung; Quelle: Buch2

Ein Sensoreinbau zur Messung von Prozessgrößen während des Bearbeitungsablaufs, z.B. bei der Zerspanung durch Fräsen gezeigt.

Der Sensor soll Informationen liefern, die Rückschlüsse auf die Qualität des Werkzeugs bzw. des erzeugten Werkstücks zulassen. Je näher an der Wirkstelle gemessen wird, umso unverfälschter ist das Signal und umso größer sind die technischen Schwierigkeiten bei der Realisierung. Ein typischer Fall ist hier die Messung von Spanungskräften. Im Beispiel werden die Messsignale drahtlos übertragen. Die Empfangsantenne kann unmittelbar in Werkzeugnähe angebracht sein. Die Senderreichweite könnte aber auch größer sein, z.B. 15 Meter in einer Werkstattumgebung. Solche Werkzeug werden auch als "Intelligent" bezeichnet. Viele prinzipielle Möglichkeiten dieser Art haben aber das Laborstadium noch nicht verlassen.

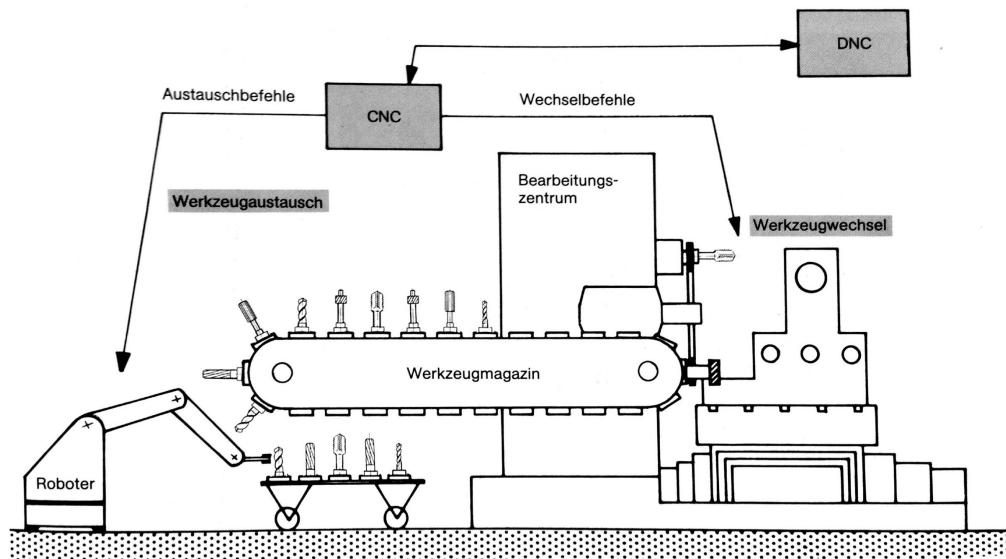
Intelligentes Werkzeug: Werkzeug, dass den Werkverschleiß automatisch ermitteln kann und diesen durch Nachstellaktion korrigiert.



### 3.3.1 Vergleich von Werkzeugaustausch und Werkzeugwechsel

Unter einem automatischen Werkzeugaustausch versteht man das wechselweise Tauschen von Werkzeugen zwischen dem Magazin an der Maschine und einem zentralen Werkzeuglager. Dieser Vorgang soll verbrauchte Werkzeuge durch neue ersetzen oder nicht mehr benötigte Werkzeuge gegen andere, demnächst erforderliche Werkzeuge austauschen.

Der automatische Werkzeugwechsel erfolgt zwischen Hauptspindel und Werkzeugmagazin einer Maschine und bringt das jeweils programmierte Werkzeug in Arbeitsposition. Bei Drehmaschinen erfolgt der Werkzeugwechsel durch Drehen des Werkzeugrevolver bis das programmierte Werkzeug in Arbeitsposition ist.



*Unterschied zwischen Werkzeugaustausch und Werkzeugwechsel. Ausgetauscht werden verbrauchte gegen neue oder nicht mehr benötigte gegen andere Werkzeuge. Die CNC hat dabei die Aufgabe, die Austauschvorgänge mit dem Werkzeugwechsel so zu koordinieren, daß keine Wartezeiten wegen des Werkzeugaustausches entstehen. Priorität hat die Bearbeitung, d. h. der Austausch erfolgt nur während ausreichend langer Bearbeitungsabschnitte ohne Werkzeugwechsel.*

Abb. 15: Unterschied zwischen Werkzeugaustausch und Werkzeugwechsel; Quelle: Buch1

### 3.4 Werkstückspeicher durch Wechseleinrichtung

Durch die automatischen Palettenwechseleinrichtungen kann das Auf- und Abspannen während der Hauptzeit erfolgen, die Maschine steht nur kurzzeitig während des Palettenwechsels. Die dafür benötigte Zeit liegt in der Regel zwischen 5 Sekunden und 1 Minute, je nach Maschinen- und Palettengröße.

Die automatische Werkstückversorgung der Maschinen- mit Überwachung des korrekten Bearbeitungsablaufes ermöglicht zwei wesentliche Vorteile:

1. die Entkopplung des Menschen aus dem automatischen Fertigungsprozeß, und
2. die Erhöhung der täglichen Nutzungszeit der Maschinen.

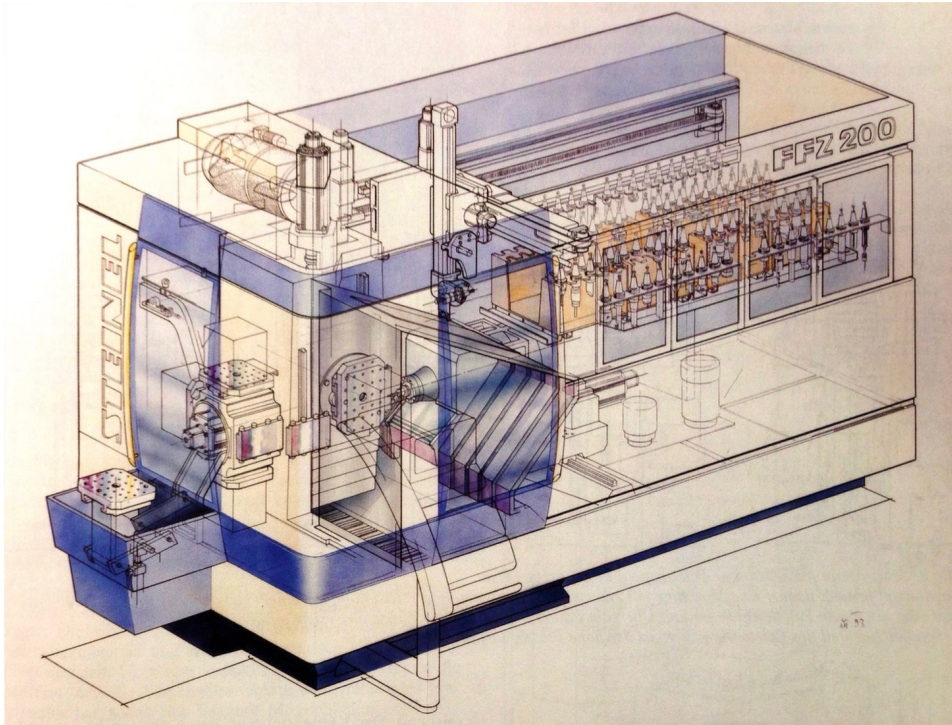
Bei einer begrenzten Anzahl von Paletten sind Palettenspeicher vor der Maschine sinnvoll. Durch die Codierung der Paletten oder der Spannvorrichtungen ist eine gemischte Fertigung unterschiedlicher Teile im automatischen Ablauf möglich.

Ist die Anzahl von Paletten für einen 8-stündigen, personalarmen Betrieb größer, so werden Paletten- Umlaufsysteme oder automatische Zubringerfahrzeuge verwendet, um die Maschinen ständig mit Werkstücken zu versorgen.

Bleibt noch das Auf- und Abspannen der Werkstücke. Hier besteht das Problem, daß das Spannen prismatischer Werkstücke aufgrund der unterschiedlichen Formen, Spannmöglichkeiten und Gewichte nicht einheitlich lösbar ist. Vor einer Entscheidung sollten gerade hierzu unbedingt die Vorschläge des Werkstattpersonals eingeholt werden. Sie kennen die Spannprobleme an besten und können dazu gute Lösungsvorschläge machen.

Viel parallel laufende Entwicklungen haben zu folgenden Lösungen geführt:

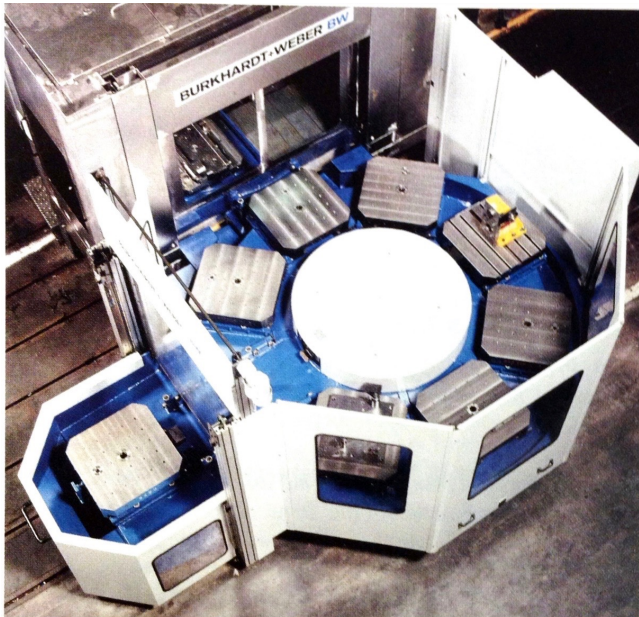
1. **Integrierte Palettenspeicher** mit automatischer Palettenübergabe in die Maschine und einem Rüstplatz zum manuellen Rüsten. Die Speicherplätze sind meistens auf 4-6 begrenzt und für kleinere bis mittelgroße Werkstücke geeignet.



Flexible Fertigungszelle mit 4- oder 6-fach-Palettenspeicher und separatem Rüstplatz. Dieser ist ebenfalls um  $4 \times 90^\circ$  drehbar, sodaß auch Spannvorrichtungen mit vierseitiger Aufspannung immer von vorne gespannt werden können. Nach jedem Werkstück- (Paletten-)wechsel taktet der Spannwürfel um  $90^\circ$  (bzw.  $60^\circ$ ) weiter. Die 60 (bis 120) Werkzeuge sind in Kassetten abgelegt. (Werkbild STEINEL)

Abb. 16: Flexible Fertigungszelle mit 4-oder 6-fach-Palettenspeicher und separatem Rüstplatz;

Quelle: Buch1

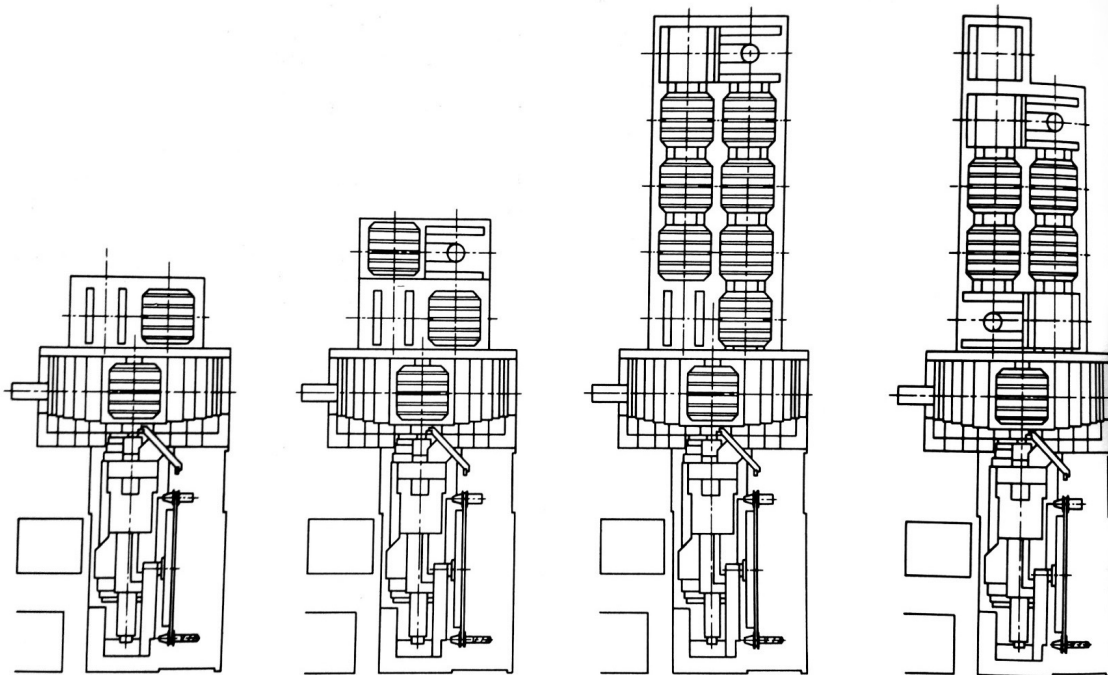


Achtfach-Palettenspeicher, an ein Bearbeitungszentrum angebaut. (Burkhardt + Weber)

Die runde Bauform läßt sich später nicht auf zusätzliche Speicherplätze ausbauen. Dafür wäre ein linearer Palettenspeicher mit separatem Transportwagen besser geeignet.

Abb. 17: Achtfach-Palettenspeicher; Quelle: Buch1

2. **Separate Palettenspeicher**, die einer Maschine fest zugeordnet sind manuell oder automatisch bestückt werden. Vorwiegend für schwierig zu spannende und große, schwere Werkstücke geeignet, die evtl. noch in einer Vorrichtung ausgerichtet werden müssen.



*Damit kann je nach Bedarf eine Maschine mit einer einfachen Spann- und Rüststation, mit einem kleinen oder großen Palettenspeicher oder mit einem Palettenspeicher und Übergabestation auf ein Paletten-Transportsystem ausgerüstet werden. Genereller Nachteil des Palettenspeichers ist der hohe Platzbedarf an jeder Maschine.*

Abb. 18: Schrittweise nachrüstbarer Palettenpool in Längsbauweise; Quelle: Buch1

### 3. Palettenwechsler

Palettenwechsler als Übergabestationen zu computergesteuerten Flurförderfahrzeugen, die den Transport der Palette samt Spannvorrichtung übernehmen und zwischen den Maschinen, Vorratsmagazinen, Waschmaschinen, Meß- und Kontrollstation und zu den Be- und Entladestationen transportieren. Den Ablauf eines Palettenwechsels vom Transportwagen in die Maschine und umgekehrt zeigt.

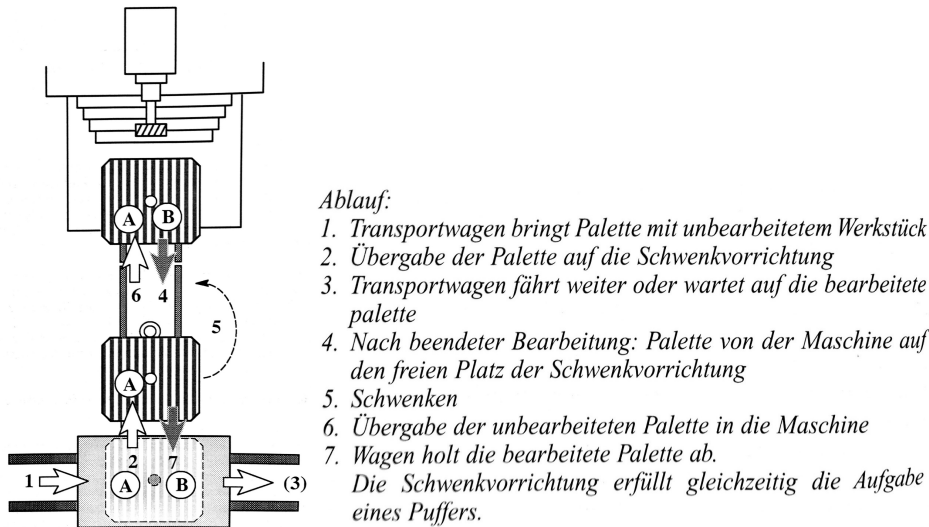


Abb. 19: Prinzip eines automatischen Palettenwechslers; Quelle: Buch1

4. **Roboter** für die Be-/Entladung der Maschinen oder der Spannvorrichtungen aus Vorratsmagazinen heraus, vorwiegend für kleinere, leicht handhabbare Werkstücke geeignet. Bei Drehzentren häufig anzutreffen als bei Bearbeitungszentren.

## 4. Werkzeugverwaltung

### 4.1 Einführung

Hauptaufgabe der Werkzeugverwaltung:

die richtigen Werkzeuge zum richtigen Zeitpunkt an die richtigen Maschinen zu bringen und dafür die richtigen Daten zur Verfügung zu stellen. Der automatische Werkzeugkreislauf in Verbindung mit einer ununterbrochenen Verwaltung der Werkzeugdaten gewinnt zunehmend an Bedeutung.

Die Werkzeugverwaltung war für lange Zeit eine rein manuelle Tätigkeit:

Werkzeuge anfordern, lagern, wiederfinden, aufbereiten, ausgeben, transportieren, kontrollieren, in die Maschine einsetzen und wieder herausnehmen, transportieren, wiederaufbereiten, lagern u.s.w.

Erst mit der Einführung der NC-Maschinen war zu erkennen, daß für eine Werkzeugverwaltung eine bessere Organisation erforderlich ist. Programmierer

und Bediener , Einsteller und Einkäufer können nicht mehr unabhängig voneinander arbeiten. Deshalb wurden die Werkzeuge katalogisiert, numeriert, codiert, justiert, programmiert und geordnet transportiert. Doch noch immer war die manuelle Tätigkeit unersetzlich. Die dabei unvermeidlichen Wartezeiten wegen fehlender oder defekter Werkzeuge hatte man noch nicht im Griff.

NC-Maschinen verlangen aber eine reibungslose Versorgung mit Werkzeug, um wirtschaftlich arbeiten zu können. Dies trifft insbesondere auf solche Maschinen zu, die gerade wegen der Verkürzung der Wartezeiten in FFS integriert sind. Zu der informationsseitigen Verkettung (DNC) und der werkstückseitigen Verkettung (Paletten, Roboter) kommt die werkzeugseitige Verkettung noch hinzu. Darunter versteht man den automatischen Transport der erforderlichen Werkzeuge vom Werkzeugraum zur Maschine und zurück, sowie den damit verbundenen automatischen Datenverkehr. Selbst während der kritischsten Phase, der Zerspanung, werden die Werkzeuge über spezielle Sensoren überwacht, um Bruch oder vorzeitigen Verschleiß zu erkennen und notfalls gegen Ersatzwerkzeuge auszutauschen.

Erst wenn diese Vorgänge automatisch ablaufen und alles funktioniert kann man von einer automatischen Werkzeugverwaltung sprechen.

## **4.2 Anforderungen an die Werkzeugversorgung**

Eine wesentliche Voraussetzung für den vollautomatischen, ununterbrochenen Betrieb eines FFS ist die reibungslose Versorgung der Maschinen mit Werkzeugen. Dazu gehören:

1. die bedarfsgerechte Bestückung mit Werkzeugen,
2. Erkennung und Ersatz verbrauchter Werkzeuge,
3. Die vorausschauende Umbestückung des Magazines für andere Werkstücke und
4. Eingabe und Verwaltung der Korrekturwerte und Verschleißwerte.

Diese Vorgänge sollen automatisch und möglichst ohne Unterbrechung der laufenden Bearbeitung erfolgen. Die Forderungen haben innerhalb kurzer Zeit zur

Entwicklung umfangreicher Werkzeug-Verwaltungsprogramme für CNC und FFS-Rechner geführt.

Die Anforderungen lassen sich in 3 Gruppen unterteilen:

#### **4.2.1 Maschinenseitige Anforderungen**

Unabhängig von der konstruktiven Gestaltung des Werkzeugmagazines an der Maschine müssen mehrere Voraussetzungen erfüllt sein, wie z.B.

1. Aufnahme normal- und übergroßer Werkzeuge im Magazin mit der zusätzlichen Belegung von Freiplätzen rechts und links des Werkzeuges. Nach dem Einsatz in der Spindel muß das Werkzeug mit Übergröße entweder auf den alten Platz zurück, oder die CNC muß einen anderen Platz mit angrenzenden Freiplätzen anbieten.
2. Möglichkeit des automatischen Austausches verbrauchter Werkzeuge gegen neue Werkzeuge im Magazin, mit Übernahme der neuen Korrekturwerte in die CNC.
3. Evtl. Austausch kompletter Werkzeugmagazine oder Magazin-Kassetten zwecks schnellerer Umrüstung.
4. Anbringung eines Werkzeug-Meßsystemes als Taster oder Lichtschranke mit den dafür erforderlichen Ablauf- und Verarbeitungszyklen in der CNC.
5. Einbau und Auswertung eines Werkzeug-Überwachungssystemes, welches nach dem Prinzip der Vorschubkraft- oder Torsionsmessung arbeitet, um aufkommenden Verschleiß oder Bruch feststellen zu können.
6. Aufnahme von Meßtastern in der Spindel mit den dafür notwendigen Meßzyklen und Auswertprogrammen, incl. der Funktion „SPINDEL RICHTEN“
7. Integration eines Werkzeug-Identifizierungssystems.

#### **4.2.2 Steuerungsseitige Anforderungen**

Jede Maßnahme an der Maschine hat auch einen Einfluß auf die Steuerung:

1. Verwaltungssoftware für übergroß und verbrauchte Werkzeuge beim Werkzeugwechsel.

2. Verwaltung von Ersatzwerkzeugen mit Kennzeichnung und Sperrung verbrauchter Werkzeuge im Magazin.
3. Automatische Übernahme der Korrekturwerte und Standzeiten von Daten oder vom Werkzeug-Meßplatz über DNC-Schnittstelle. Hierzu zählt auch die neue Art der elektronischen Werkzeugeterkennung mit Datenspeicherung in einem Mikrochip im Werkzeughalter.
4. Abruf mehrerer Werkzeugkorrekturwerte zu jedem Werkzeug, um Toleranzen besser einhalten zu können.
5. Verarbeitung von Sensor-Signalen aus Meßtastern, Meßfühlern oder Lichtschranken.
6. Aktualisierung der Korrekturwerte nach einem maschineninternen oder externen Meßvorgang.
7. Variable Platzcodierung der Werkzeuge (VPC) mit Erkennung der kürzesten Verfahrestrecke zum nächstfolgenden Werkzeug.
8. Verwaltung mehrerer Schwesterwerkzeuge für mehrere Werkzeuge.
9. Möglichkeit des externen Zugriffs auf die CNC-internen Werkzeugtabellen zwecks vorausschauendem zeitoptimiertem Werkzeugaustausch ohne Unterbrechung der Bearbeitung.

#### **4.2.3 Zusätzliche Aufgaben der Werkzeugverwaltung**

1. Konstruktion, Planung und Fertigung können nur zugelassene und freigegebene Werkzeuge verwenden. Jedes neu hinzukommende Werkzeug muß zuerst von allen Abteilungen freigegeben werden, incl. der damit verbundenen Mehrkosten.
2. Feststellen und Austauschen/Ersetzen verbrauchter oder defekter Werkzeuge, vorwiegend für Standard- oder Serienwerkzeuge.
3. Vorausschauende Entnahme nicht mehr benötigter Werkzeuge und Bestückung der Magazinplätze mit anderen Werkzeugen für die nächstfolgende Bearbeitung.
4. Messen bzw. Einstellen der Werkzeuge im Werkzeugraum mit automatischer Übertragung der Korrekturwerte in die CNC. Schwesterwerkzeuge mit



identischer Werkzeugnummer benötigen hierzu eine zusätzliche Identifikationsnummer.

Bei mehrspindeligen Maschinen eine zusätzliche Überwachung, daß nur Werkzeugsätze mit identischen Werkzeugen ins Magazin gelangen können (Cross- Check).

5. Schnittstelle und Software für ein elektronisches Werkzeugdatensystem, um Reststandzeiten und Korrekturdaten automatisch zu erfassen und zuzuordnen.

All diese Daten müssen zuverlässig und Datenverbund in die CNC gelangen.

### **4.3 Werkzeugcodierung und –erkennung**

Zur Identifikation der Werkzeuge per Programm im Werkzeugmagazin der Maschine stehen prinzipiell 4 Möglichkeiten zur Verfügung:

1. die feste Platzcodierung
2. die variable Platzcodierung
3. die mechanische Werkzeugcodierung
4. die elektronische Werkzeugcodierung

#### **4.3.1 feste Platzcodierung**

Bei der festen Platzcodierung erhält jedes Werkzeug einen festen Platz im Magazin, auf den es nach jedem Einsatz wie der zurückkommt. Der Aufruf erfolgt durch Programmierung des entsprechenden Magazinplatzes. Dieses Verfahren hat viele Nachteile, wie z.B.

1. Verwechslungsgefahr beim Bestücken des Werkzeugmagazins,
2. Verlängerte Nebenzeiten, da zu jedem Werkzeugwechsel 2 Plätze anzufahren sind (der Platz des neuen und des alten Werkzeuges),
3. Unvermeidbare Mehrfachbelegung wenn mehrere Programme im Programmspeicher der CNC gespeichert sind,
4. Probleme bei Ersatz- oder Schwesterwerkzeugen im Magazin (im Programm ist immer nur der Platz des Originalwerkzeuges programmiert, das Schwesterwerkzeug befindet sich aber auf einem anderen Platz).

Diese Art der Werkzeugprogrammierung über die Platznummer ist deshalb bei vielen Maschinentypen nicht mehr aktuell. Nur Dreh- und Stanzmaschinen haben fest bestückte Revolvermagazine und können deshalb noch die Platzcodierung zur Werkzeugprogrammierung verwenden. Bei Bearbeitungszentren werden evtl. Mehrspindelköpfe und Großwerkzeuge auf bestimmten Plätze abgelegt und über die Platznummer aufgerufen.

#### **4.3.2 variable Platzcodierung**

Die variable Platzcodierung hat dagegen viele Vorteile.

Die Platzierung der Werkzeuge im Magazin ist beliebig und wird nur 1 mal während der Bestückung des Magazins der CNC mitgeteilt. Ab sofort übernimmt die CNC die Verwaltung und fehlerfreie Zuordnung der Werkzeugnummer zum jeweiligen Platz im Magazin. Auch Korrekturwerte und Standzeiten verwaltet die CNC, solange sich das Werkzeug im Magazin befindet. Der Bediener kann am Bildschirm, der CNC jederzeit feststellen, auf welchen Plätzen sich die Werkzeuge befinden.

Die variable Platzcodierung erlaubt aber auch, bestimmte Werkzeuge nach jedem Wechseltvorgang wieder auf den alten Platz im Magazin zurückzubringen. Wenn z.B. übergroße Werkzeuge immer wieder den gleichen Platz belegen, lässt sich durch eine kombinierte Platzierung mit kleineren Werkzeugen eine bessere Nutzung der magazinplätze erreichen (Vermeidung von Freiplätzen). Bei Maschinen mit Kassetten-Magazinen wird deshalb auch eine Kombination von variabler und fester Platzzuordnung angewendet. Programmiert wird jedoch die Werkzeugnummer und nicht der magazinplatz.

#### **4.3.3 mechanische Werkzeugcodierung**

Bei der mechanischen Werkzeugcodierung erhält jedes Werkzeug an der Aufnahme eine Anzahl von austauschbaren Codierringen, mit deren Hilfe die Werkzeugnummer codierbar ist. Gleiche Werkzeuge erhalten gleiche Nummern. Diese Codierringe werden in der Maschine abgetastet und zur Werkzeuerkennung verwendet. Dadurch wird jedes Werkzeug absolut sicher

erfasst und kann in jedem beliebigen Magazinplatz an der Maschine untergebracht werden.

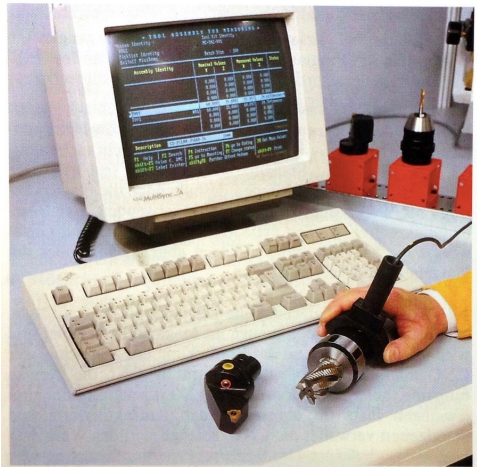
Die Nachteile:

1. Problematische Verwaltung von Schwesterwerkzeugen aufgrund der identischen Nummern, da die Codierung zum Sperren nicht elektronisch modifizierbar ist.
2. Keine Richtungserkennung zum nächsten Werkzeug, daher längere Suchzeiten,
3. Niedrige Laufgeschwindigkeiten des Magazins aufgrund der nur kurzzeitigen Abtastung der Codierringe und der Gefahr der Falscherkennung bei höherer Laufgeschwindigkeit,
4. Teure Werkzeugaufnahmen
5. Zusätzlicher Arbeitsaufwand für die Zusammenstellung der Codierungen.

Anstelle der Codierringe verwenden wenige Systeme Klebeetiketten mit aufgedrucktem Barcode. Die dafür erforderlichen Drucker lassen sich problemlos an Werkzeug-Meßgeräte anschließen und Ausdrucken der Werkzeugnummer benutzen. Diese Etiketten fallen jedoch durch den Einfluss des Kühlmittels meist bald wieder ab, sodass die Werkzeugnummer beim Herausnehmen aus dem Magazin nicht mehr vorhanden ist. Deshalb konnte und wird sich dieses Prinzip nicht durchsetzen.

#### **4.3.4 elektronische Werkzeugcodierung**

Die neu entwickelte, elektronische Werkzeugcodierung beginnt gerade ihren Einzug in die betriebliche Praxis. Sie hat alle Vorteile in sich vereinigt und bietet die erforderlichen Voraussetzungen für eine ununterbrochene Werkzeugverwaltung innerhalb und außerhalb der Maschine.



Die elektronische Werkzeugcodierung verwendet spezielle Datenspeicher-Chips und ein kontaktlos arbeitendes Schreib-Lesegerät. Mit einem Handlesegerät lassen sich die gespeicherten Informationen auslesen und anzeigen.

Abb. 20: Die elektronische Werkzeugcodierung; Quelle: Buch1

Der im Werkzeughalter integriert Speicherchip, ein EEPROM, enthält neben der Werkzeugnummer alle Werkzeugdaten wie empfohlene Schnittgeschwindigkeit, Drehzahl und Vorschubgeschwindigkeit. Diese Informationen werden im Werkzeugraum eingegeben und nur ein mal beim Beladen des Magazins gelesen und dann der VPC-Logik der CNC verwaltet. Dieses Prinzip setzt demnach voraus ,dass die Maschine über eine CNC mit elektronischer Werkzeugverwaltung verfügt.

Beim Entnehmen des Werkzeugs aus dem Magazin wird der Speicherchip automatisch mit den aktualisierten Werten überschreiben. Diese Informationen sind somit unverlierbar und unverwechselbar mit dem Werkzeug verbunden. Im Werkzeugraum ist ein Lesegerät für diese Daten erforderlich, damit das Personal

den Zustand des Werkzeuges erkennen kann. Parallel dazu können die Daten auch von einem Werkzeugrechner übernommen und verwaltet werden.

#### **4.4 Aufgaben der CNC zur Werkzeugverwaltung**

FFS verlangen von der CNC umfangreiche Verwaltungsaufgaben für die Werkzeuge.

##### **4.4.1 Die Vorausschauende Werkzeugverwaltung**

Bei der Umrüstung der Maschine von Teil A auf ein anderes Werkstück (Teil B) ist zunächst zu prüfen, ob die erforderlichen Werkzeuge vorhanden sind. Dies könnte beispielsweise so erfolgen:

1. Einlesen des nächsten Teileprogrammes, (B)
2. Befehl zum Vergleich der Werkzeuge eingeben, und zwar
  - 2a. für A und B benötigte Werkzeuge
  - 2b. für B nicht mehr benötigte Werkzeuge
  - 2c. für B zusätzlich benötigte Werkzeuge
3. Freigabe der nicht mehr benötigten Werkzeuge zum Austausch
4. Feststellen zeitlich ausreichender Programmabschnitte für den automatischen Werkzeugaustausch. Diese sind im einfachsten Falle im Programm gekennzeichnet, sonst muss sie die CNC selbst ermitteln.

Dieser Vorgang wird noch komplexer, wenn mehrere Programme in der CNC gespeichert sind, mit denen der Vergleich stattfinden muss. Um die dafür erforderliche Zeit zu reduzieren, wäre eine zusammengefasste Auflistung aller in einem Programm benötigten Werkzeuge am Programmanfang zu empfehlen.

Eine weitere Steigerung der Schwierigkeitsgrades ergibt sich, wenn die Bearbeitungszeit für Teil A kürzer ist als die für den Vergleich und den Austausch benötigte Zeit. In diesem Falle muss der Werkzeugaustausch in der Reihenfolge erfolgen, wie die Werkzeug für Teil B benötigt werden. Dazu gibt die CNC nicht mehr benötigte Werkzeuge von Teil A für den Austausch frei, sobald diese nach

ihrem letzten Einsatz ins Magazin zurückkommen. Der Austausch beginnt mit den bei Teil B als erste zum Einsatz kommenden Werkzeugen.

Von einer vorausschauenden Werkzeugverwaltung kann man auch verlangen, dass in Kürze ablaufende Standzeiten dem Bediener vorab mitgeteilt werden, z.B. zusammengefasst nach Gruppen, die noch eine Reststandzeit haben bis 10 Minuten, bis 20 Minuten, bis 30 Minuten usw.

Aufgrund dieser Information ist es möglich, gleich mehrere Werkzeuge für den Austausch bereitzuhalten, Sonst könnte es zur Überlastung des Personals oder der Austauschrichtung kommen.

#### **4.4.2 Verwaltung von Schwesterwerkzeugen**

Besonders beanspruchte Werkzeuge müssen nach Ablauf ihrer Standzeit automatisch durch neue Werkzeuge ersetzt werden. Dazu befindet sich im Magazin ein ausreichender Vorrat an identischen Ersatzwerkzeugen mit gleicher Werkzeugnummer. Solange noch ein Werkzeug mit dieser Nummer einsatzbereit ist bleiben die Ersatzwerkzeuge gesperrt. Ist die Standzeit abgelaufen, dann erhält dieses Werkzeug bei Rückkehr ins Magazin eine entsprechende Kennung und ist für den Einsatz nicht mehr „auffindbar“. An seine Stelle tritt das beim Magazin. Evtl. weitere Schwesterwerkzeuge mit gleicher Nummer bleiben auch weiterhin gesperrt.

#### **4.4.3 Werkzeugstandzeit- und Werkzeugbruchüberwachung**

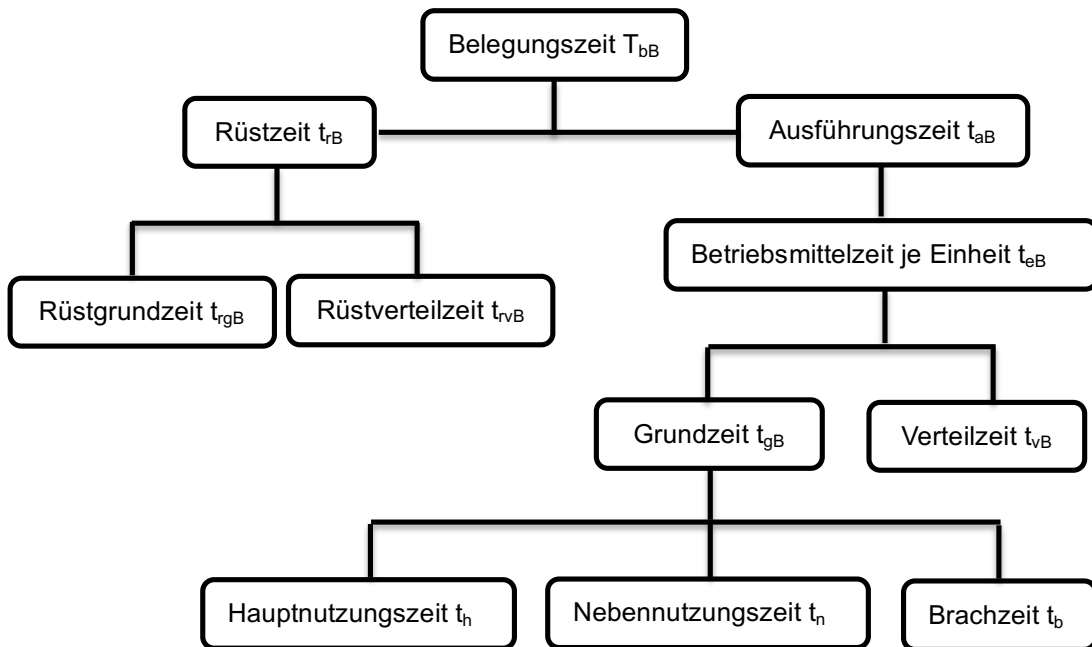
Die Überwachung des Zerspannungsvorganges ist eine der wichtigsten Maßnahmen zur Kostenreduzierung in der Fertigung. Dazu ist ein geeignetes Meßverfahren erforderlich, mit dem die auftretenden Belastungen am Werkzeug ermittelt werden können. Bei Werkzeugabnutzung oder -bruch muss eine schnelle Reaktion der Maschine erfolgen, um Folgeschäden an Maschine und Werkstück möglichst zu vermeiden.

6 Verfahren für Werkzeugbruchüberwachung

1. Indirekte Messung der Schnittkräfte durch Erfassung der Hauptspindellagerbelastung mittels Kraftmeßlager (Axialkräfte und Diametralkräfte).
2. Kontrolle der Schnittleistung durch Überwachung der Stromaufnahme des Hauptspindelmotor (Radialkraft = Drehmoment).
3. Direkte Messung der elastischen Verformungen am Werkzeugträger durch Sensoren mit spezieller Auswertung.
4. Messung der Werkzeug-Einsatzdauer und Vergleich mit der vorgegebenen Standzeit.
5. Abtasten des Werkzeuges mittels Sensor (Taster) oder Lichtschranke auf vorhanden/nicht vorhanden.
6. Indirekte Kontrolle durch Nachmessen des bearbeiteten Werkstückes.

## 5. Zeitanteile

### 5.1 Zeitgliederung für die Belegungszeit



## 5.2 Zeitgliederung nach REFA

- Die **Belegungszeit  $T_{bB}$**  ist die Sollzeit für von Maschinen ausgeführte Arbeiten.
- **Rüstzeit  $t_r$** : Zeit zum Vorbereiten des Arbeitssystems für das Ausführen einer Arbeitsaufgabe und nötigenfalls das Rückversetzen in den Ausgangszustand.
- **Stückzeit  $t_e$** : (Beim Betriebsmittel „Betriebsmittelzeit je Einheit“ genannt.) Zeit für die Bearbeitung eines Werkstückes. Multipliziert man die Stückzeit mit der Stückzahl  $m$  ( $m$  Losgröße) ergibt sich wieder die Ausführungszeit.
- **Grundzeit  $t_g$**  bezieht sich auf ein Werkstück (Ausführen). Summe aller planmäßigen Sollzeiten eines Ablaufes.
- **Verteilzeit  $t_v$** : Zeit, die ungeplant zusätzlich zum Ausführen eines Arbeitsauftrages erforderlich ist. Z.B. unregelmäßige, unplanbare Zeiten für Störungen, kleine Reparaturen, warten auf den Kran, ungeplante Nacharbeit usw.
- **Hauptzeit  $t_h$** : Zeit in der ein unmittelbarer Fortschritt erzielt wird, z.B. ein Werkzeug ist im Eingriff.
- **Nebenzeit  $t_n$** : Hilfszeiten für Nebentätigkeiten, die nur mittelbar zum Erfüllen der Arbeitsaufgabe dienen, z.B. Werkstück ein- und ausspannen, Werkstück anstellen, Schlitten zurückfahren.
- **Brachzeit  $t_b$** : Zeit in der ein Betriebsmittel verfügbar ist, aber aus andern Gründen nicht genutzt wird, z.B. Erholzeit des Maschinenbedieners, Ablaufbedingte oder planmäßige Wartezeit.

[3] Quelle: Betriebswirtschaft



### 5.3 Werkzeugwechselzeit

**Werkzeugwechselzeit:** Die Werkzeugwechselzeit ist eine Nebenzeit mit großem Einfluss auf die Ausbringung (Stückleistung) der Werkzeugmaschine. Bei Fräsmaschinen z. B. min 1 bis 5 Sek. .

**Span- zu Spanzeit:** Zeit zwischen dem Beginn des Wegführens eines auszuwechselnden Werkzeuges aus einer repräsentativen Bearbeitungsposition und dem Ende des Heranführens eines folgenden, gleichlangen Werkzeuges in die gleiche Bearbeitungsposition.

## 6. Praktisches Beispiel

### 6.1 Bearbeitungszeichnung und Bearbeitungsanforderungen

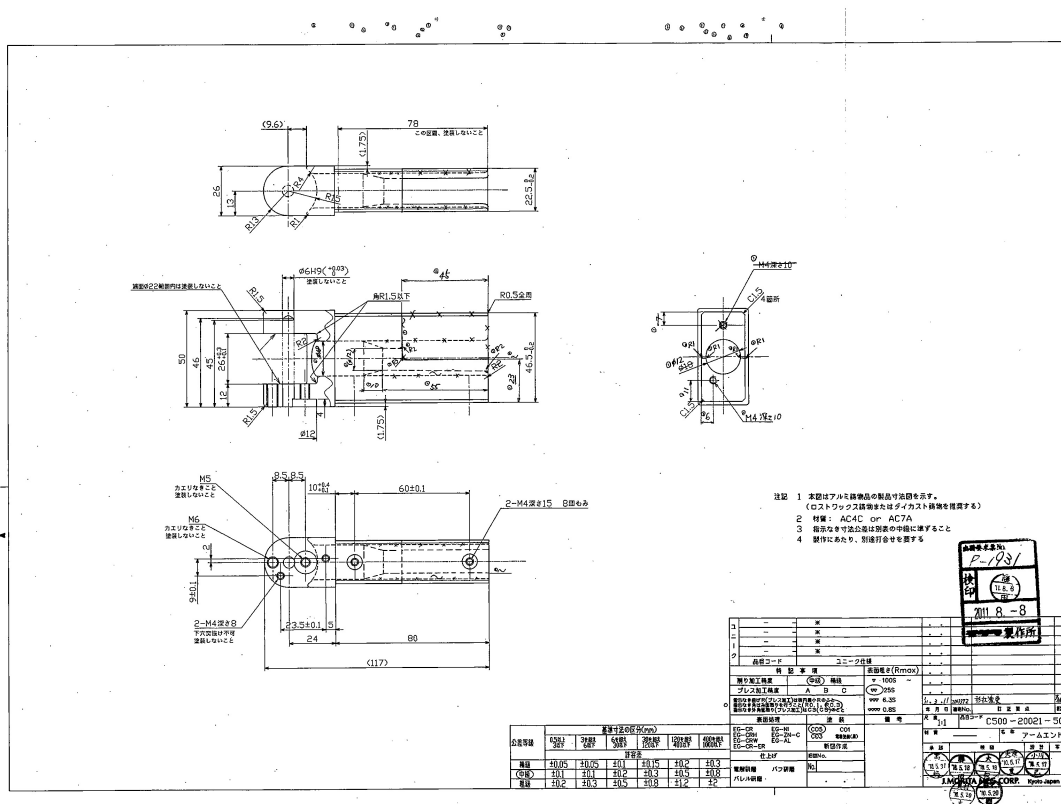


Abb. 21: Bearbeitungszeichnung

## 6.2 3D-Ansicht und Projektionsansicht des Werkstückes

### 6.2.1 Projektionsansicht vor Bearbeitung

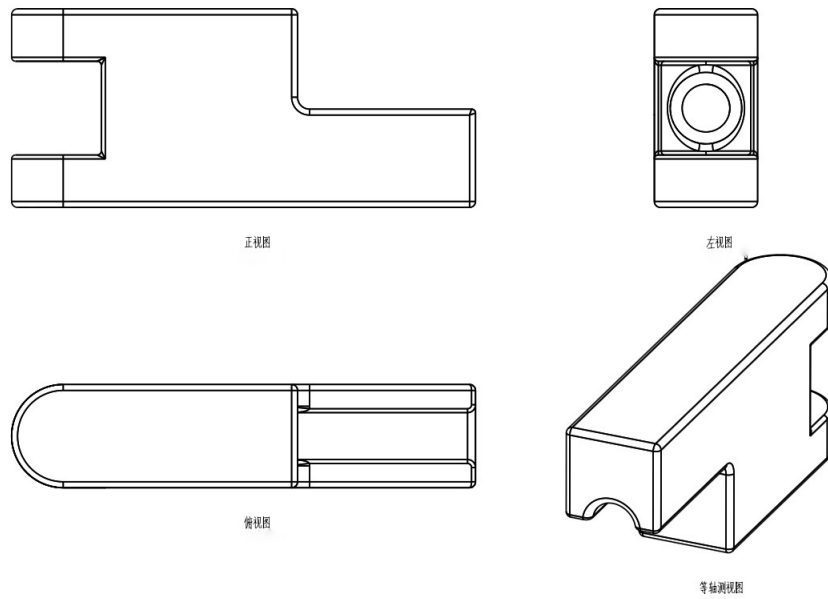


Abb. 22: Projektionsansicht vor Bearbeitung

### 6.2.2 Projektionsansicht nach Bearbeitung

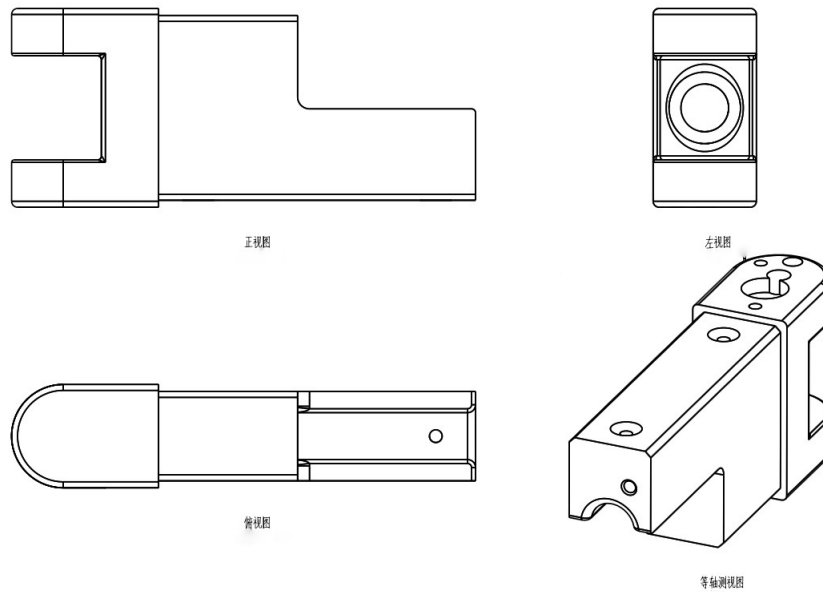


Abb. 23: Projektionsansicht nach Bearbeitung

## 6.3 Bearbeitungsprogramm und Zeitanteile

### 6.3.1 Anlage des Bearbeitungsprogramm

Anlage 1

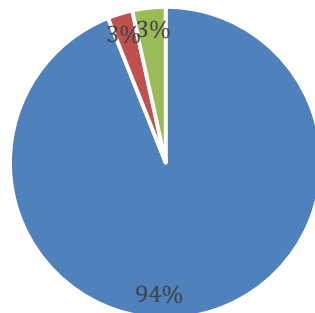
### 6.3.2 Programm und Zeitanteil des Anteil von Fräsen(Ausschnitt)

Programm	Zeitanteil	Zeit (s)	Berechnung
(D20--5)			
N0050 T05 M06	Werkzeugwechselzeit (Nebenzeit)	4	Span- zu Spanzeit  4s
G40 G49 G80 G90			
T06			
G0 X37.108 Y-11.668 S400 M03	Nebenzeit	2	Anstellen, Eilganggeschw. – 18000mm/min
G43 Z30. H05			
Z3.			
Z-77.			
G1 Z-80. F120. D05 M08	Hauptzeit	109	Formel:  $t_h = i \cdot L / v_f$  $L = l + l_a + l_u + \pi D$  $L = 134,6 + 10,3 + 10,3 + 62,8$ $= 218 \text{ mm}$ $v_f = 120 \text{ mm/min}$ $i = 1$  $t_h = 218 / 120 = 1,817 \text{ min}$ $= 109 \text{ s}$  (Hauptzeit - $t_h$ Anzahl Schnitte – i Gesamtweg in – L Anlaufweg - $l_a$ Überlaufweg - $l_u$ Werkstücklänge – l WerkzeugØ – D Vorschubgeschw. – $v_f$ )
G41 X36.111 Y-11.748			
G3 X31.851 Y-14.952 I1.76 J-6.775			
G2 X30.321 Y-16.921 I-8.601 J5.102			
G1 X28.921 Y-18.321			
G2 X21.85 Y-21.25 I-7.071 J7.071			
G1 X-21.85			
G2 X-28.921 Y-18.321 I0.0 J10.			
G1 X-30.321 Y-16.921			
G2 X-33.25 Y-9.85 I7.071 J7.071			
G1 Y9.85			
G2 X-30.321 Y16.921 I10 J0.0			
G1 X-28.921 Y18.321			
G2 X-21.85 Y21.25			

I7.071 J-7.071			
G1 X21.85			
G2 X28.921 Y18.321 I0.0 J-10.			
G1 X30.321 Y16.921			
G2 X33.25 Y9.85 I-7.071 J-7.071			
G1 Y-9.85			
G2 X30.321 Y-16.921 I-10. J0.0			
G1 X28.921 Y-18.321			
G2 X28.544 Y-18.679 I-7.071 J7.071			
G3 X26.284 Y-24.753 I4.686 J-5.2			
G1 X26.58 Y-25.709			
G40			
G0 Z30.	Nebenzeit	1	Zurückfahren, Eilganggeschw. – 18000mm/min
M09			
M05			

Tabelle 3: Programm und Zeitanteil des Anteil von Fräsen

### Kreisdiagramm des Zeitanteil von Fräsen



■ Hauptzeit ■ Nebenzeit ■ Werkzeugwechselzeit

Abb. 24: Kreisdiagramm des Zeitanteil von Fräsen

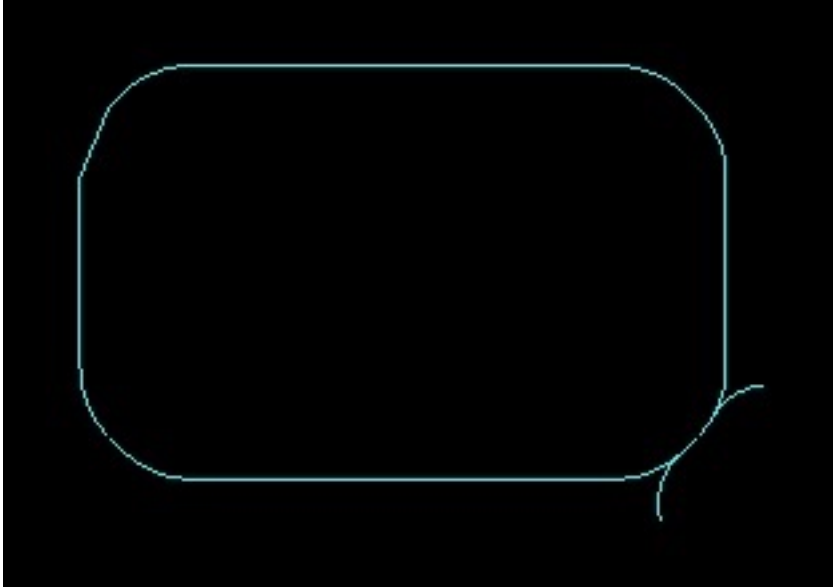


Abb. 25: Vorschubweg von zweiten Schafffräser

## 6.4 Werkzeuge

### 6.4.1 Schafffräser

Werkzeug Nr.		T1	T2
Maße	Ø D	20mm	20mm
	L2	90mm	90mm
	Ø d	20mm	20mm
	L3	40mm	40mm
	L1	130mm	130mm
	Z	3	3
Arbeitswerte	Material	AlSi <sub>7</sub> Mg	AlSi <sub>7</sub> Mg
	Bearbeitungsart	Schruppen(Vorfräsen)	Schlichten(Fertigfräsen)
	Bearbeitungshärte	<50HRC	<50HRC
	Schnittgeschw. V <sub>c</sub>	350-500m/min	400-500m/min
	Vorschub pro Zahn f <sub>z</sub>	0.24-0.30mm	0.16-0.20mm
Lebenslauf		1500 Stücke	3000 Stücke
Abbild			Abb. 27

Tabelle 4: Abmessungen und Eigenschaften von Schafffräser, Quelle: Internet

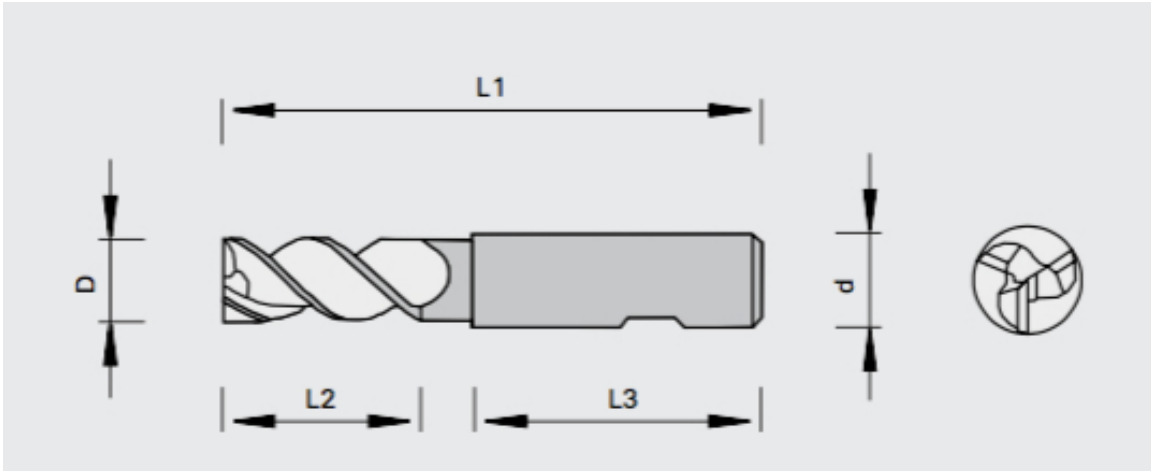


Abb. 26: Bildmaterial von Schafffräser, Quelle: Internet



Abb. 27: Bild von Schafffräser

Besonderheiten für Schafffräser:

Diese Fräswerkzeuge sind vielfältig einsetzbar und zeichnen sich durch hohe Bearbeitungsqualität, lange Standwege und Einsatz in der Hochleistungsbearbeitung aus.

Vorteile von Schafffräser:

- Optimale Spanentsorgung und gute Schnittqualität durch speziell polierte Spannuten und positive Spiralwindung.
- 3 Zähnezahl, ruhiger Lauf und geräuscharm durch Ungleichteilung der Schneiden High Performance Cutting (HPC)

#### 6.4.2 NC-Anbohrer

Werkzeug Nr.	T3
Ø D	10mm
L	89mm
L1	25mm
Spitzenwinkel	90°
Schaft	zylindrisch
Schneidstoff	HSS-CO
Beschichtung	TiN

Tabelle 5: Abmessungen und Eigenschaften von NC-Anbohrer, Quelle: Internet

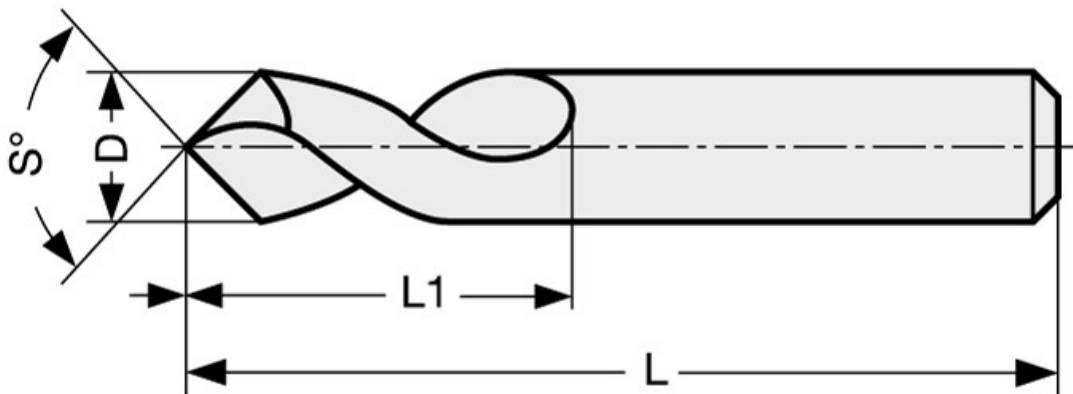


Abb. 28: Bildmaterial von NC-Anbohrer, Quelle: Internet



Abb. 29: Bild von NC-Anbohrer

Vorteile von NC-Anbohrer:

- Präzisions-Spitzenanschliff mit schmaler Querschneide
- hohe Stabilität durch kurze Spannuten
- für positionsgenaueres und schnelleres Anbohren auf NC/CNC-Maschinen und Bearbeitungszentren

### 6.4.3 Spiralbohrer

Werkzeug Nr.	T4
Ø D h8	3,2mm
L	65mm
L1	36mm
Bohrtiefe	5xD
Spitzenwinkel	118°
Spiralwinkel	rechts 27°
Typ	N
Schneidstoff	HSS
Schaft	zylindrisch
Beschichtung	unbeschichtet

Tabelle 6: Abmessungen und Eigenschaften von Spiralbohrer, Quelle: Internet



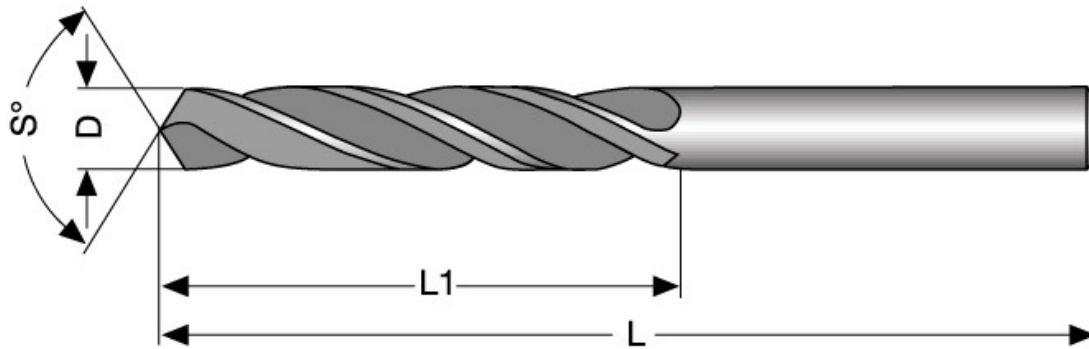


Abb. 30: Bildmaterial von Spiralbohrer, Quelle: Internet

Vorteile von Spiralbohrer:

- preisgünstig
- Standardwerkzeuge mit genormten Abmessungen

#### 6.4.4 Gewindebohrer

Werkzeug Nr.	T5
Maße	M4 x0,7
d	5mm
L	52mm
l	11mm
l <sub>1</sub>	17mm
l <sub>2</sub>	29mm
Schaft	zylindrisch
Schneidstoff	HSS
Beschichtung	unbeschichtet
Lebenslauf	1700Stücke

Tabelle 7: Abmessungen und Eigenschaften von Gewindebohrer, Quelle: Internet

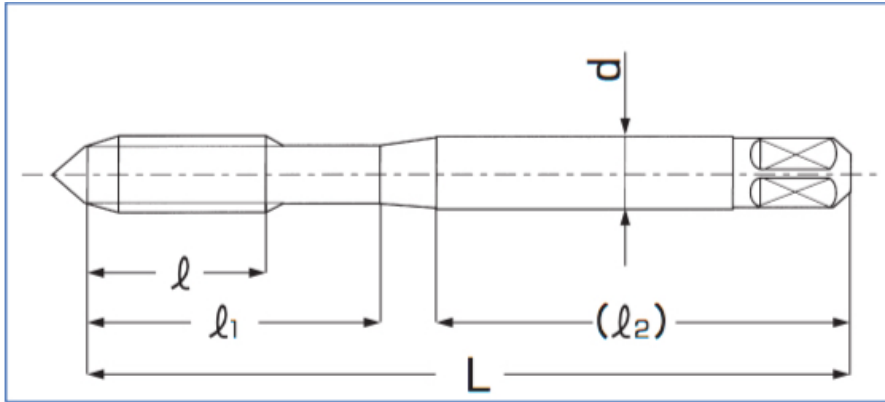


Abb. 31: Bildmaterial von Gewindebohrer, Quelle: Internet

Besonderheiten und Vorteile von Gewindebohrer:

Die spirलगenuteten Gewindebohrer sind für die Bearbeitung von Sacklöcher empfohlen. Es sind die best geeigneten Gewindebohrer bei Materialien die mittellange Späne haben. Ihrer Eigenschaften ist eine Bearbeitung auch bei unterbrochenen Schnitten, und bei Bohrungen die Querbohrungen haben, möglich.

## 6.5 Bearbeitungszentrum



Abb. 32: Bearbeitungszentrum VMC-850, Quelle: Internet

## Technische Daten von Bearbeitungszentrum VMC-850

Modell	Beschreibung	VMC-850	Einheit
Tisch	Tischabmessungen	1000 x 510	mm
	Verfahrweg (X/Y/Z)	850/ 560/ 560	mm
	Maximale Tischbelastung	600	kg
	Abstand Spindel / Tisch	100-660	mm
	T-Nuten	18 x 100 x 5	mm
Spindel	Spindelaufnahme	BT40	
	Spindelinnendurchmesser	Ø60	mm
	Abstand Spindel / Ständer	620	mm
	Spindeldrehzahl	60 – 8000 (Opt. 10000)	UpM
Eilgang	Eilgang (X/Y/Z)	20 / 20 / 20	m/min
Motor	Spindelleistung	11	kw
	AC Servomotor	3.0	kw
Werkzeugwechsel	Werkzeugspeicherkapazität	20	pcs
	Maximaler WerkzeugØ	Ø90	mm
	Maximale Werkzeuglänge	250	mm
	Maximales Werkzeuggewicht	8	kg
Sonstiges	Druckluft	6	bar
	Leistungsbedarf	20	KVA
	Maschinengewicht	5500	kg
	Abmessungen (LxBxH)	2600x2230x2750	mm
Steuerung		Fanuc (FAGOR8055NC)	

Tabelle 8: Technische Daten von VMC-850, Quelle: Internet

### Besonderheiten für Bearbeitungszentrum VMC 850

Die INTEK M4 CNC ist eine schnelle 32Bit Steuerung auf PC Basis. Sie ist DIN/ISO (Fanuc) kompatibel mit vielen Programmzyklen, die durch einfachen

Knopfdruck zu aktivieren sind. Durch die logisch aufgebaute Menütechnik ist man schnell in der Lage die Maschine zu programmieren und bedienen.

#### Vorteile des Bearbeitungszentrum VMC 850

- Hohe Produktivität
- Hohe Qualität
- Niedriger Preis
- Einfache Bedienung
- Hohe Leistungsfähigkeit

#### 6.5.1 Besonderheit für Werkzeugwechsler

Mit dem 20-fach Werkzeugwechsler ist man in der Lage Maschinenstandzeiten auf ein Minimum zu verkürzen und somit schnell eine große Rentabilität der Maschine zu erreichen.

Die Werkzeugwechselzeit( Span –zu- spanzeit) von VMC850 ist ungefähr 4 Sekunde.

### 6.6 Optimierung der CNC-Bearbeitung

#### 6.6.1 Vergleich zwischen nur ein Schafffräser und zwei Schafffräser

Verfahren	Vorteile	Nachteile
nur ein Schafffräser	1. Minimierung der Werkzeugwechselzeit und Hauptzeit	1. starker Werkzeugverschleiß
	2. Reduzierung der Kosten der Werkzeugen	2. grobe Oberflächenrauigkeit
zwei Schafffräser (mit Schruppen und Schlichten)	1. gute Oberflächenrauigkeit	1. mehrere Werkzeugwechselzeit und Bearbeitungszeit
	2. länger Lebenslauf von	

	zweiten Schafffräser	
--	----------------------	--

*Tabelle 9: Vergleich zwischen nur ein Schafffräser und zwei Schafffräser*

Optimierte Verfahren:

Fräsen mit zwei Schafffräser(mit Schruppen und Schlichten)

Erster Schafffräser:

Schruppen mit großem Vorschub

Tiefe in 3 Schnitte einteilen(25mm)

Zweiter Schafffräser.

Schlichten mit kleinem Vorschub

Gesamte Tiefe fräsen(80mm)

### **6.6.2 Optimierung von Gewindebohren**

Verfahren	CNC-Gewindebohren	Hand-Gewindebohren
Ausschussraten	3-5%	0,1%

*Tabelle 10: Vergleich von Ausschussraten zwischen CNC-Gewindebohren und Hand-Gewindebohren*

Gründe:

1. Das Werkstückmaterial ist Aluminium, es ist weicher als Stahl.
2. Die Späne kleben an den Gewindebohrer
3. Beim Hand-Gewindebohren werden die Späne jedes Mal mit Druckluft beseitigt.
4. Beim Hand-Gewindebohren kann man häufiger Ölschmierung machen.

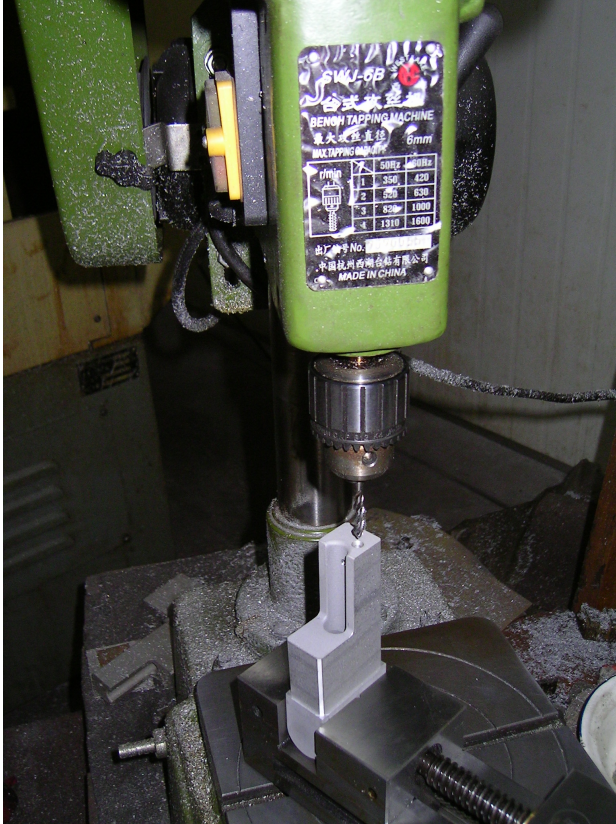


Abb. 33: Gewindebohrer-Maschinen

# Selbstständigkeitserklärung zur Bachelorarbeit

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorgelegte Bachelorarbeit eigenständig verfasst und keine anderen als die im Literaturverzeichnis angegebenen Quellen, Darstellungen und Hilfsmittel benutzt habe. Dies trifft insbesondere auch auf Quellen aus dem Internet zu. Alle Textstellen, die wortwörtlich oder sinngemäß anderen Werken oder sonstigen Quellen entnommen sind, habe ich in jedem einzelnen Fall unter genauer Angabe der jeweiligen Quelle, auch der Sekundärliteratur, als Entlehnung gekennzeichnet.

Unterschrift: *Ren Junkai*

Datum: 02.12.2015

# Literaturverzeichnis

[1] Buch 1. FFS-Handbuch-Hans B. Kief

[2] Buch 2. Fertigungsautomatisierung-Stefan Hesse

[3] Vorlesung: Betriebswirtschaft, Fachhochschule Augsburg-Prof. Dr. W. Rößner

[4] Wikipedia, Google und Internet

# Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: CNC-Bearbeitungszentrum; Quelle: Internet

Abb. 2: Flexible Fertigungszelle; Quelle: Internet

Abb. 3: Fertigungsinseln im Automotive-Bereich; Quelle: Internet

Abb. 4: Flexibles Fertigungssystem; Quelle: Internet

Abb. 5: Flexible Transferstraße; Quelle: Internet

Abb. 6: Einsatzbereiche unterschiedlicher Fertigungskonzept; Quelle: Buch1

Abb. 7: Beispiel eines ausgeführten FFS; Quelle: Buch1

Abb. 8: Mehrfachwerkzeugträger; Quelle: Buch2

Abb. 9: Bauformen von Werkzeugmagazinen; Quelle: Buch2

Abb. 10: Funktionseinheiten für den Werkzeugwechsel; Quelle: Buch2

Abb. 11: Werkstückabhängiger Werkzeugbedarf bei prismatischen Werkstücken;  
Quelle: Buch2

Abb. 12: Prinzipanordnung für Werkzeugwechsel; Quelle: Buch2

Abb. 13: Greifvorgang beim Werkzeugwechsel; Quelle: Buch2

Abb. 14: In-process-Sensor bei der Zerspanung; Quelle: Buch2

Abb. 15: Unterschied zwischen Werkzeugaustausch und Werkzeugwechsel;  
Quelle: Buch1

Abb. 16: Flexible Fertigungszelle mit 4-oder 6-fach-Palettenspeicher und  
separatem Rüstplatz; Quelle: Buch1

Abb. 17: Achtfach-Palettenspeicher; Quelle: Buch1

Abb. 18: Schrittweise nachrüstbarer Palettenpool in Längsbauweise; Quelle:  
Buch1



Abb. 19: Prinzip eines automatischen Palettenwechslers; Quelle: Buch1

Abb. 20: Die elektronische Werkzeugcodierung; Quelle: Buch1

Abb. 21: Bearbeitungszeichnung

Abb. 22: Projektionsansicht vor Bearbeitung

Abb. 23: Projektionsansicht nach Bearbeitung

Abb. 24: Kreisdiagramm des Zeitanteil von Fräsen

Abb. 25: Vorschubweg von zweiten Schafffräser

Abb. 26: Bildmaterial von Schafffräser, Quelle: Internet

Abb. 27: Bild von Schafffräser

Abb. 28: Bildmaterial von NC-Anbohrer, Quelle: Internet

Abb. 29: Bild von NC-Anbohrer

Abb. 30: Bildmaterial von Spiralbohrer, Quelle: Internet

Abb. 31: Bildmaterial von Gewindebohrer, Quelle: Internet

Abb. 32: Bearbeitungszentrum VMC-850, Quelle: Internet

Abb. 33: Gewindebohrer-Maschinen

## Anlage 1

Programm
N0030 (D20--4)
N0040 T04 M06
G40 G49 G80 G90 G54
T05
G0 X8.085 Y-24.966 S350 M03
G43 Z30. H04
Z3.
Z-23.
G1 Z-25. F100. D04 M08
G41 X6.932 Y-23.332
G3 X2. Y-21.3 I-4.932 J-4.968
G1 X-21.85
G2 X-28.956 Y-18.356 I0.0 J10.05
G1 X-30.356 Y-16.956
G2 X-33.3 Y-9.85 I7.106 J7.106
G1 Y9.85
G2 X-30.356 Y16.956 I10.05 J0.0
G1 X-28.956 Y18.356
G2 X-21.85 Y21.3 I7.106 J-7.106
G1 X2.
G3 X7.745 Y24.3 I0.0 J7.
G1 X8.585 Y26.115
G40
G0 Z-23.667
Z30.
X38.149 Y-11.633
Z-23.
Z-46.
G1 Z-50.
G41 X36.155 Y-11.789
G3 X31.887 Y-14.988 I1.748 J-6.778
G2 X30.356 Y-16.956 I-8.637 J5.138
G1 X28.956 Y-18.356
G2 X21.85 Y-21.3 I-7.106 J7.106
G1 X-21.85
G2 X-28.956 Y-18.356 I0.0 J10.05
G1 X-30.356 Y-16.956
G2 X-33.3 Y-9.85 I7.106 J7.106

G1 Y9.85
G2 X-30.356 Y16.956 I10.05 J0.0
G1 X-28.956 Y18.356
G2 X-21.85 Y21.3 I7.106 J-7.106
G1 X21.85
G2 X28.956 Y18.356 I0.0 J-10.05
G1 X30.356 Y16.956
G2 X33.3 Y9.85 I-7.106 J-7.106
G1 Y-9.85
G2 X30.356 Y-16.956 I-10.05 J0.0
G1 X28.956 Y-18.356
G2 X28.579 Y-18.715 I-7.106 J7.106
G3 X26.321 Y-24.789 I4.687 J-5.199
G1 X26.912 Y-26.7
G40
G0 Z-50.333
Z30.
X38.149 Y-11.633
Z-50.333
Z-77.
G1 Z-80.
G41 X36.155 Y-11.789
G3 X31.887 Y-14.988 I1.748 J-6.778
G2 X30.356 Y-16.956 I-8.637 J5.138
G1 X28.956 Y-18.356
G2 X21.85 Y-21.3 I-7.106 J7.106
G1 X-21.85
G2 X-28.956 Y-18.356 I0.0 J10.05
G1 X-30.356 Y-16.956
G2 X-33.3 Y-9.85 I7.106 J7.106
G1 Y9.85
G2 X-30.356 Y16.956 I10.05 J0.0
G1 X-28.956 Y18.356
G2 X-21.85 Y21.3 I7.106 J-7.106
G1 X21.85
G2 X28.956 Y18.356 I0.0 J-10.05
G1 X30.356 Y16.956
G2 X33.3 Y9.85 I-7.106 J-7.106
G1 Y-9.85
G2 X30.356 Y-16.956 I-10.05 J0.0
G1 X28.956 Y-18.356

G2 X28.579 Y-18.715 I-7.106 J7.106
G3 X26.321 Y-24.789 I4.687 J-5.199
G1 X26.912 Y-26.7
G40
G0 Z30.
M09
M05
(D20--5)
N0050 T05 M06
G40 G49 G80 G90
T06
G0 X37.108 Y-11.668 S400 M03
G43 Z30. H05
Z3.
Z-77.
G1 Z-80. F120. D05 M08
G41 X36.111 Y-11.748
G3 X31.851 Y-14.952 I1.76 J-6.775
G2 X30.321 Y-16.921 I-8.601 J5.102
G1 X28.921 Y-18.321
G2 X21.85 Y-21.25 I-7.071 J7.071
G1 X-21.85
G2 X-28.921 Y-18.321 I0.0 J10.
G1 X-30.321 Y-16.921
G2 X-33.25 Y-9.85 I7.071 J7.071
G1 Y9.85
G2 X-30.321 Y16.921 I10 J0.0
G1 X-28.921 Y18.321
G2 X-21.85 Y21.25 I7.071 J-7.071
G1 X21.85
G2 X28.921 Y18.321 I0.0 J-10.
G1 X30.321 Y16.921
G2 X33.25 Y9.85 I-7.071 J-7.071
G1 Y-9.85
G2 X30.321 Y-16.921 I-10. J0.0
G1 X28.921 Y-18.321
G2 X28.544 Y-18.679 I-7.071 J7.071
G3 X26.284 Y-24.753 I4.686 J-5.2
G1 X26.58 Y-25.709
G40
G0 Z30.

M09
M05
(ZX--6)
N0060 T01 M06
G40 G49 G80 G90
T07
G0 X-12.2 Y5.2 S1500 M03
G43 Z30. H06
G82 X-12.2 Y5.2 Z-1.6 R3. F120.
G80
G0 Z30.
M05
(ZT3.2---7)
N0070 T07 M06
G40 G49 G80 G90
T04
G0 X-12.2 Y5.2 S1500 M03
G43 Z30. H07 M08
G83 Z-15.0 R1. Q3. F150.
G80
G0 Z30.
M05
Z200.
G53 Y0.0
M30
%