
Bachelorarbeit

Studiengang Mechatronik, Industrie- u. Physiktechnik

Thema: Dokumentation der Zusammenhänge zwischen Bearbeitungsstation und den elementaren Bausteinen des Transport-, Umschlag- und Lagerprozesses in flexiblen Fertigungssystemen für rotationssymmetrische Werkstücke sowie Charakteristik ihrer jeweiligen Besonderheiten

Vorgelegt von:

Ziyang Xia 19289
Platz der Bausoldaten 2
Zi.205
06217 Merseburg
Blindexzy@hotmail.com

Erstbetreuer:

Prof. Dr.-Ing. Rolf Kademann

Zweitbetreuer:

Dipl. -Ing. (FH) Thomas Kirchhofer

Abgabetermin:

18.08.2015

Inhaltsverzeichnis

Danksagung.....	1
1 Einleitung.....	2
1.1 Aufgabenstellung	2
1.2 Lösung der Aufgabenstellung	2
2 Grundlagen.....	3
2.1 Fertigungssystemauslegung	3
2.2 spanabhebende Werkzeugmaschinen.....	3
2.2.1 Drehmaschine	3
2.2.2 Bohrmaschine	5
2.2.3 Fräsmaschine.....	6
2.2.4 Sägemaschine.....	7
2.2.5 Schleifmaschine	8
3 Spannungsmöglichkeiten für ein Rotationssymmetrisches Werkstück.....	10
3.1 Spannen.....	10
3.1.1 Spannen als Funktion.....	10
3.2 Spannmittel	11
3.2.1 Spannmittel für zylindrische Werkzeuge.....	11
3.2.2 Spannmittel für Werkstücke mit regelmäßiger Grundgeometrie.....	13
3.3 Spannvorrichtungen	15
4 Schnittstellen für Werkzeug- und Werkstückspannmittel	16
4.1 Schnittstellen.....	16
4.2 Schnittstellen für Werkzeugspannmittel	16
4.3 Schnittstellen für Werkstückspannmittel	18
5 Prozesstechnische Besonderheiten der Fertigungsabläufe.....	20
5.1 Prozesstechnische Anforderungen an Werkzeugmaschinen.....	20
5.1.1 Spanende Verfahren mit geometrisch bestimmter Schneide	22

5.1.2	Spanende Verfahren mit geometrisch unbestimmter Schneide	23
5.2	Werkstück- und Werkzeugtransport	24
6	Organisatorische Besonderheiten der Fertigungsabläufe.....	25
6.1	Materialplanung	25
6.2	Die Durchlaufzeit.....	25
7	Prozessorganisation.....	28
7.1	Transport-, Umschlag- und Lagerungshilsmittel	28
7.1.1	Auswahl der TUL-Hilfsmittel	29
7.1.2	Bewertung für die Auswahl der TUL-Hilfsmittel	29
7.2	Transporteinrichtungen	31
7.2.1	Fördereinrichtung.....	31
7.3	Umschlageinrichtungen	32
7.3.1	Übergabeeinrichtung.....	32
7.3.2	Handhabeinrichtungen	32
7.4	Lagerungseinrichtungen.....	34
7.4.1	Fertigungsplatzgebundene Speicher	34
7.4.2	Lager für Fertigungsabschnitte und -bereiche	34
7.5	Struktur der Maschinenverkettung.....	36
8	Fertigung von rotationssymmetrischen Werkstücken.....	37
-	Herstellung einer Ritzelwelle	37
8.1	Auswahl der Werkzeugmaschinen.....	37
8.2	Materialfluss	37
8.2.1	Prozessschritte.....	38
8.3	Transportprozess	39
8.4	Umschlagprozess	40
8.5	Lagerprozess	41
8.6	Zeitanteile	41

9 Mögliches Systemlayout zur Fertigung einer Ritzelwelle	43
9.1 Erläuterung.....	43
9.2 Vor- und Nachteile.....	44
10 Zusammenfassung.....	45
Selbständigkeitserklärung zur Bachelorarbeit	46
Literaturverzeichnis	47
Abbildungsverzeichnis.....	48

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denjenigen bedanken, die mich bei der Anfertigung meiner 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 sind, gemäß der o. g. Themenstellung, das Maschinenkonzept zu konzipieren, deren Struktur darzustellen sowie dazugehörige maschinenbautechnische und organisatorische Besonderheiten aufzuzeigen und deren Einbindung in den Prozessablauf zu analysieren.

1.2 Lösung der Aufgabenstellung

1. Analyse des gegenwärtigen Standes bezüglich der Fertigungssystemauslegung unter Einbeziehung spanabhebender Werkzeugmaschinen
2. Charakteristik des Begriffes „Rotationssymmetrisches Werkstück“ bezüglich Spann- und Bearbeitungsmöglichkeiten
3. Dokumentation der einzelnen Bereiche im System, die diese genannten Schnittstellen beeinflussen
4. Analyse und Bewertung der prozesstechnischen und organisatorischen Besonderheiten für die Fertigungsabläufe im Fertigungssystem und Prozessorganisation in den vor- und nachgelagerten Bereichen als den technischen Schnittstellen zum betrieblichen Umfeld (z.B. Rohteil-, Vorrichtungs-, und Fertigteilager)
5. Darstellung des technischen Zusammenhangs zwischen den maschinenbaulichen und organisatorischen Gegebenheiten in einem flexiblen Fertigungssystem eigener Wahl (Veranschaulichung möglicher Gesichtspunkte zur Prozessoptimierung)

2 Grundlagen

2.1 Fertigungssystemauslegung

Oftmals werden auch zusammenhängende Fertigungssysteme in einem Layout dargestellt. Im Bereich der spanenden Bearbeitung wird dies häufig anhand der Gewerkeaufteilung in Drehen, Fräsen, Bohren, Sägen und Schleifen durchgeführt, sodass jede spezifische Fraktion innerhalb der Fertigungsplanung auch Verantwortliche für die Ausplanung des Layouts hat. Da das Layout vor allem aus den Prozessen und Fertigungstechnologien abgeleitet wird, ist die Ansiedlung in der Fertigungsplanung zweckmäßig, jedoch die Zusammenarbeit mit der Fabrikplanung in Form von Simultaneous Engineering unerlässlich. Dies kann auch eine Ansiedlung in der Fabrikplanung als verantwortliche Abteilung für alle Strukturthemen rechtfertigen.

2.2 spanabhebende Werkzeugmaschinen

Bei sogenannten "spanabhebenden Werkzeugmaschinen" entstehen beim Bearbeiten von verschiedenen Werkstoffen (Kunststoff, Holz, Metall) – wie der Name schon sagt – Späne. Die wichtigsten spanenden Arbeitsverfahren sind das Drehen, Fräsen, Bohren, Sägen und Schleifen. Zu jedem dieser Arbeitsverfahren existieren die entsprechenden speziellen Werkzeugmaschinen.

2.2.1 Drehmaschine

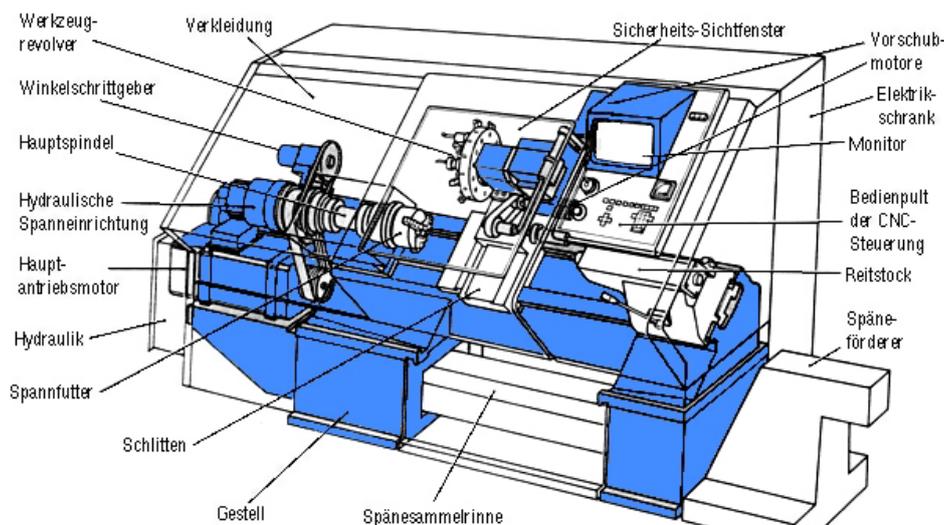


Abb. 1: Aufbau einer CNC- Drehmaschine; Quelle: Internet

Drehmaschinen sind Werkzeugmaschinen, auf denen hauptsächlich rotationssymmetrische Werkstücke hergestellt werden. Die Schnittbewegung wird

dabei vornehmlich durch Rotation des Werkstückes erzeugt. Drehmaschinen sind heutzutage vielfach mit Zusatzfunktionen ausgerüstet, mit denen auch fräsende und bohrende Bearbeitungsoperationen parallel, senkrecht oder sogar in beliebigen Winkeln zur Werkstückachse sowie die Rückseitenbearbeitung durchgeführt werden können.

Werkzeugrevolver und Werkzeugmagazine mit Werkzeugwechseinrichtungen erlauben es, eine große Zahl unterschiedlicher Werkzeuge nacheinander in Eingriff zu bringen.

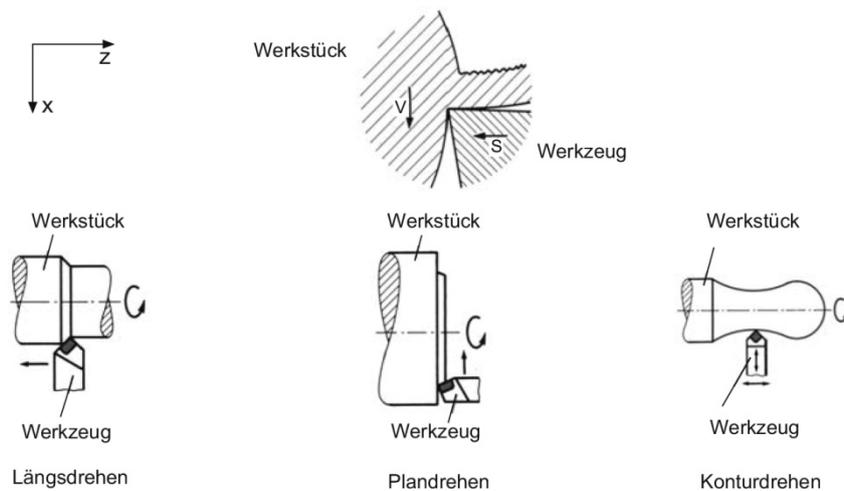


Abb. 2: Drehen - Spanbildung - Dreharten; Quelle: Werkzeugmaschinen - Maschinenarten und Anwendungsbereiche, Springer

Die Ebene der Hauptvorschubbewegungen (x-z-Ebene) liegt senkrecht zum Schnittgeschwindigkeitsvektor im Werkzeugeingriffspunkt des Drehmeißels, wobei die z-Vorschubachse definitionsgemäß in Richtung der Rotationsachse des Werkstücks liegt.

Die numerisch gesteuerte Synchronisation der x- und z-Achsen mit der Drehbewegung der Hauptantriebsspindel (C-Achse) erlaubt es, in Verbindung mit angetriebenen Werkzeugen komplexe Werkstückgeometrien zu erzeugen, die früher nur mit Fräsmaschinen herstellbar waren. Wie Abb. 2 zeigt, unterscheidet man entsprechend der Vorschubbewegung zwischen folgenden Drehoperationen: Längsdrehen (Axialvorschub), Plandrehen (Radialvorschub) und Konturdrehen (gleichzeitiger Axial- und Radialvorschub).

2.2.2 Bohrmaschine

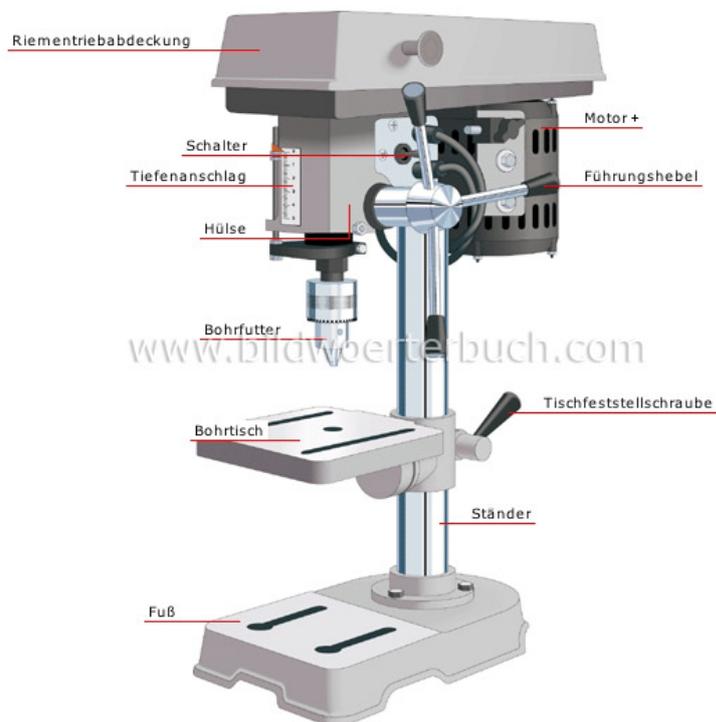


Abb. 3: Aufbau einer Ständerbohrmaschine; Quelle: Internet

Beim Bohren ergibt sich die Spanbildung durch eine rotatorische Schnittbewegung des Werkzeuges. Die Vorschubbewegung erfolgt entweder durch das Werkstück oder durch das Werkzeug in Richtung der Werkzeugdrehachse.

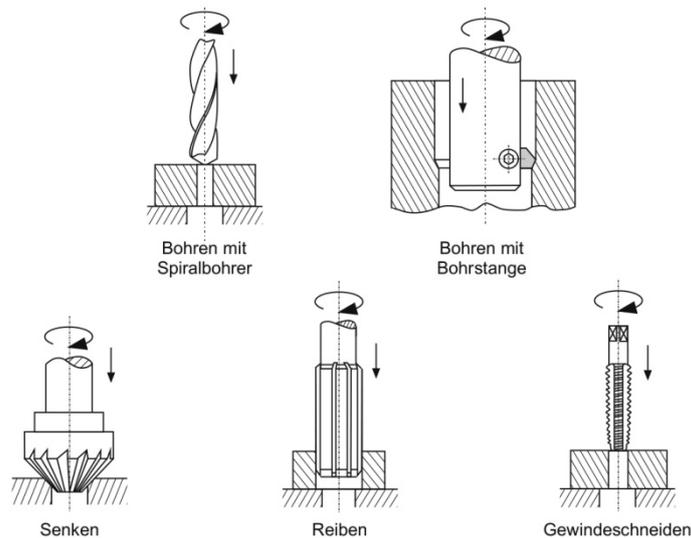


Abb. 4: Mit Bohrmaschinen durchführbare Bearbeitungsarten; Quelle: Werkzeugmaschinen - Maschinenarten und Anwendungsbereiche, Springer

Neben dem Bohren mit Spiralbohrern können auf Bohrmaschinen die in Abb. 4 dargestellten Bearbeitungsarten „Bohren mit Bohrstange“, „Senken“, „Reiben“ und

„Gewindeschneiden“ durchgeführt werden. Die Schnitt- und Vorschubbewegungen dieser Bearbeitungsarten entsprechen denen des Bohrprozesses.

2.2.3 Fräsmaschine

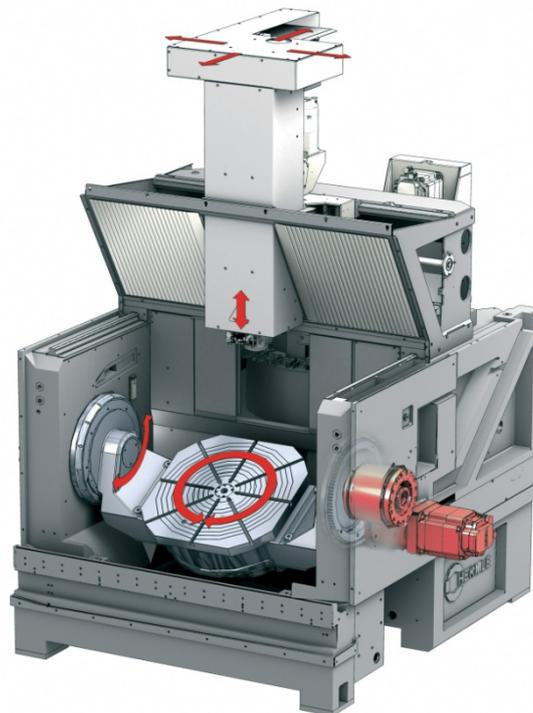


Abb. 5: eine Fräsmaschine; Quelle: Internet

Das Fräsen ist ein dem Bohren sehr ähnliches Bearbeitungsverfahren, bei dem die Schnittbewegung ebenfalls durch eine Rotation des Werkzeuges erzeugt wird. Im Gegensatz zum Bohren erfolgt die Vorschubbewegung jedoch hauptsächlich senkrecht zur Drehachse des Werkzeuges, wobei sich bei einigen Verfahrensvarianten mehrere miteinander gekoppelte Vorschubbewegungen überlagern.

Planfräsen	Rundfräsen	Schraubfräsen	Wälzfräsen	Profilfräsen
 Umfangs-Planfräsen	 Stirn-Umfangs-Außen-Rundfräsen	 Schraub-Fräsen	 Wälzfräsen	 Längs-Profilfräsen
 Stirn-Planfräsen	 Umfangs-Innen-Rundfräsen	 Kurzgewinde-Fräsen		 Rund-Profilfräsen
 Stirn-Umfangs-Planfräsen horizontal	 Rundfräsen mit innenverzahntem Fräswerkzeug	 Langgewinde-Fräsen		 Profilfräsen mit Kette
 Stirn-Umfangs-Planfräsen vertikal		 Gewindewirbeln		

Abb. 6: Verschiedene Fräsverfahren; Quelle: Werkzeugmaschinen - Maschinenarten und Anwendungsbereiche, Springer

Abb. 6 gibt einen Überblick über die wichtigsten Fräsverfahren. Ebene Flächen können durch Umfangsfräsen, Stirnfräsen oder Stirn-Umfräsen, einer Kombination der beiden erstgenannten Fräsverfahren, hergestellt werden. Zur Erzeugung runder Körper werden ebenfalls diese Verfahren eingesetzt. Statt des linearen Vorschubs, wie bei der Herstellung ebener Flächen, rotiert beim Rundfräsen zusätzlich zum Werkzeug auch das Werkstück. Die Rotation des Werkstücks kann auch durch eine bahngesteuerte Bewegung des Werkzeuges in der Ebene senkrecht zur Werkzeugdrehachse ersetzt werden. Unter Schraubfräsen versteht man das Fräsen mit wendelförmiger Vorschubbewegung zur Erzeugung von schraubenförmigen Flächen, wie z.B. einer Zylinderschnecke oder einem Gewinde. Mit den Verfahren Langgewindefräsen und Gewindewirbeln können theoretisch Gewinde mit unbegrenzter Länge hergestellt werden. Im Gegensatz dazu ist die Länge der mit Kurzgewindefräsern herstellbaren Gewinde auf die Breite des mehrprofiligen Gewindefräasers begrenzt. Zur Herstellung von Zahnrädern wird das Wälzfräsen eingesetzt. Hierbei führt das profilierte Werkzeug während des Zerspanvorganges eine zur Vorschubbewegung simultane Wälzbewegung mit dem Werkstück. Beim Profilfräsen bildet sich das Profil des Werkzeuges auf dem Werkstück ab. Neben ebenen und rotationssymmetrischen Profilflächen können auch profilierte Löcher hergestellt werden.

2.2.4 Sägemaschine



Abb. 7: eine Metallbandsägemaschine; Quelle: Internet

Sägemaschinen dienen zum Trennen von Materialien wie beispielsweise Stabstahl, Platten oder Blech. Dabei wird das Material mit kreisförmiger oder gerader Schnittbewegung mit einem vielzahnigen Werkzeug von geringer Schnittbreite zerspannt. Die Schnittbewegung erfolgt werkzeugseitig.

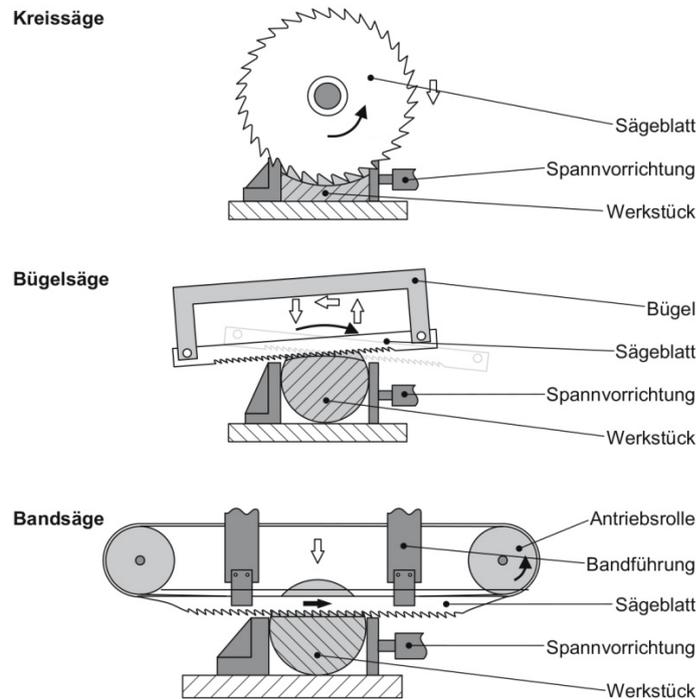


Abb. 8: Sägemaschinen; Quelle: Werkzeugmaschinen - Maschinenarten und Anwendungsbereiche, Springer

Der technologische Vorgang ist dem Fräsen sehr ähnlich, wie sich besonders beim Kreissägen zeigt. Das dünne Sägeblatt mit seinem großen Durchmesser wirkt wie ein Scheibenfräser. Bei Bügelsäge und Bandsäge nimmt der Fräserhalbmesser eine theoretisch unendliche Größe an, was zu einer translatorischen Schnittbewegung führt, dargestellt in Abb. 8. Während Band- und Kreissägemaschinen mit kontinuierlicher Schnittbewegung arbeiten, liegt bei Bügelsägen eine diskontinuierliche Bewegung vor.

2.2.5 Schleifmaschine

Entsprechend dem Schleifverfahren führt bei Schleifmaschinen grundsätzlich das zylindrische Werkzeug durch Rotation die Schnittbewegung aus. Der Schnittbewegung sind eine oder mehrere Vorschubbewegungen sowie die Zustellung überlagert. Die Form der zu schleifenden Werkstücke bestimmt das Verfahren und die Bewegungsachsen, d.h. die Bauart der Maschine. In Abb. 10 sind die prinzipiellen Aufgaben der verschiedenen Schleifmaschinenbauarten an je einem Bearbeitungsbeispiel dargestellt.

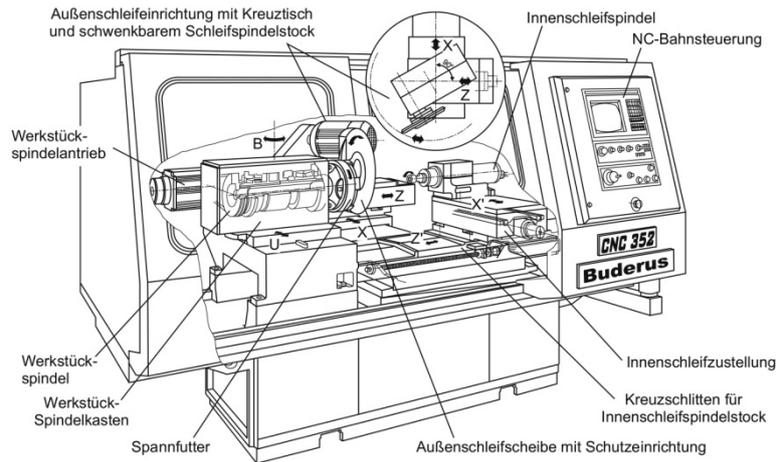
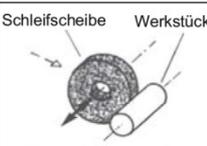
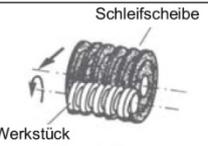
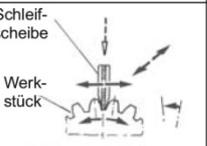
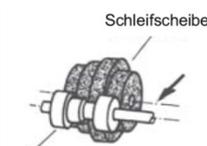
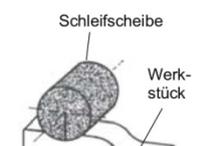
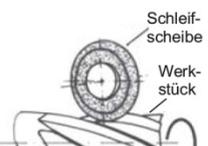
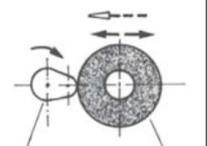


Abb. 9: Universal-Rundschleifmaschine; Quelle: Buderus

Die Verfahrensmöglichkeiten der Schleifmaschine lassen sich nach Gesichtspunkten wie der Kontaktfläche am Werkzeug (Umfangsschleifen - Seitenschleifen) oder der relativen Richtung der Schnittbewegung zur Hauptvorschubbewegung (Gleichlauf-, Gegenlauf-, Pendelschleifen) gliedern.

Rundschleifmaschinen	Planschleifmaschinen	Schraubenschleifmasch.	Wälzschleifmaschinen
 <p>Schleifscheibe Werkstück</p> <p>Längs-Umfangs-Außen-Rundschleifen</p>	 <p>Schleifscheibe Werkstück</p> <p>Längs-Umfangs-Planschleifen</p>	 <p>Schleifscheibe</p> <p>Werkstück</p> <p>Quer-Außen-Schraubenschleifen</p>	 <p>Schleifscheibe</p> <p>Werkstück</p> <p>Diskontinuierliches Außen-Wälzschleifen</p>
Profilschleifmaschinen	Formschleifmaschinen	Werkzeugschleifmaschinen	Sonderschleifmaschinen
 <p>Schleifscheibe</p> <p>Werkstück</p> <p>Quer-Außen-Profilschleifen</p>	 <p>Schleifscheibe</p> <p>Werkstück</p> <p>NC-Formschleifen</p>	 <p>Schleifscheibe</p> <p>Werkstück</p> <p>Fräuserschleifen</p>	 <p>Werkstück</p> <p>Schleifscheibe</p> <p>Nockenwellenschleifen</p>

↔ Vorschubbewegung, hin und her ← Vorschubbewegung, kontinuierlich ← - Zustellbewegung, schrittweise
 ←--- Vorschubbewegung, schrittweise

Abb. 10: Wirkprinzipien von Schleifmaschinen-Bauarten; Quelle: Werkzeugmaschinen - Maschinenarten und Anwendungsbereiche, Springer

3 Spannmöglichkeiten für ein Rotationssymmetrisches Werkstück

3.1 Spannen

Alles Werkstücke, die spanend zu bearbeiten sind, müssen vorher sicher gespannt werden. Spannkraften und Spannungsmomenten bzw. die durch sie erzeugten Haltekräfte müssen sich unter Beachtung von Sicherheitsfaktoren mit den Bearbeitungskraften und –momenten in statischen Gleichgewicht befinden.

3.1.1 Spannen als Funktion

Spannen und Entspannen sind handhabungstechnisch gesehen Varianten der Elementarfunktion Halten bzw. Lösen.

Auf den Spannvorgang wirken verschiedene Einflussfaktoren. Es gibt Wechselbeziehungen zwischen Umwelt, Bearbeitungsprozess, Maschine, Werkzeug und Werkstück. Beim automatischen Spannen müssen zusätzlich auch automatisierte Prüffunktionen realisiert werden, z.B. Prüfen auf Greiffreiheit (wenn eine Handhabungseinrichtung die Beschickung übernimmt), Prüfen der Anwesenheit, Identität und Lagerrichtigkeit des Werkstücks sowie des fixierten Spann- und Lagezustandes.

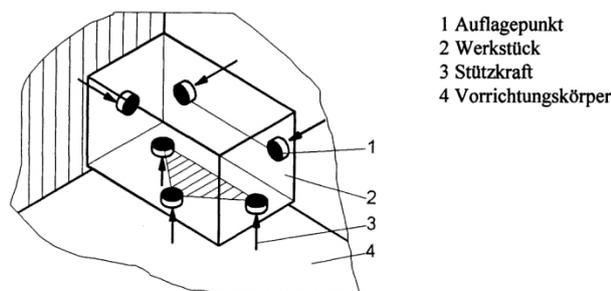


Abb. 11: Ausrichten und Spannen eines Quaders; Quelle: Fertigungsautomatisierung, Stefan Hesse

Eine sichere Lage wird gewährleistet, wenn das Werkstück in sechs Positionen auf- bzw. anliegt, wie es in Abb. 11 zu sehen ist. Die Auflage- und Spannungspunkte sind vom Konstrukteur in Zusammenarbeit mit der Fertigung festzulegen. Die Ebenen, in denen das Auf- und Anlegen erfolgt, werden als „Bestimmebenen“ bezeichnet. Sie müssen die Spann-, Gewicht-, und Bearbeitungskraft aufnehmen. Die Anlagefläche am Werkstück bezeichnet man dagegen als „Bestimmflächen“. Diese sollten am Werkstück als bearbeitete Flächen zur Verfügung stehen, weil sonst die Einhaltung eindeutiger und reproduzierbarer Lagebeziehungen gefährdet ist. Im Beispiel sind 3

Bestimmebenen vorgesehen. Das ist nicht immer erforderlich. Wird z.B. nur die Oberfläche gefräst, so wird nur eine Bestimmebene gebraucht.

3.2 Spannmittel

Die Vielfalt der Maschinenbauarten, Anwendungsfelder und Anforderungen hat ein große Vielfalt unterschiedlichster Spannmittel entstehen lassen. Nachfolgend können daher nur die gebräuchlichsten Lösungen für die wichtigsten Werkzeugtypen und Werkstücke beispielhaft dargestellt werden. Es existiert nur wenig systematische Literatur zur Spanntechnik. Auf diesem Sektor wird sehr viel mit empirischem Wissen gearbeitet. Die Auswahl und Herstellung des optimalen Spannmittels für einen konkreten Bearbeitungsfall erfordert ein großes Maß an Erfahrung und Sachkunde.

3.2.1 Spannmittel für zylindrische Werkzeuge

Flächenspannfutter haben achsparallele (Weldon) oder um 2° geneigte (Whistle Notch) seitliche Mitnahmeflächen und werden einseitig radial gespannt (Abb. 12 a). Dadurch entsteht ein zusätzlicher Formschluss, der ein Herausziehen der Werkzeuge verhindert. Rundlaufgenauigkeit und Eignung für hohe Drehzahlen sind jedoch begrenzt.

Spannzangenfutter spannen mittels einer stirnseitig aufgesetzten Spannmutter, die eine geschlitzte kegelige Spannzanze in das ebenfalls kegelige Futter drückt. Dadurch verjüngt sich der Bohrungsdurchmesser in der Zange, das Werkzeug wird gespannt. Durch Wechseln der Spannzanze werden verschiedene Schaftdurchmesser aufgenommen und somit ein größerer Spannbereich abgedruckt. Für die genormten Spannzangen mit den Bezeichnungen ER/ESX und OZ sind jeweils eine Form A mit Spannbereichen gemäß den Toleranzfeldern h8 ... h10 und eine Form B mit erweitertem Spannbereich (0,5...2,0mm) definiert (Abb. 12 b). Neben den genormten wird eine Vielzahl von weiteren Spannmuttern angeboten. Präzisionausführungen der ER-Spannzangensysteme erreichen Rundlaufgenauigkeiten von ca. $3 \mu\text{m}$ und Drehzahlen bis 30000 min^{-1} .

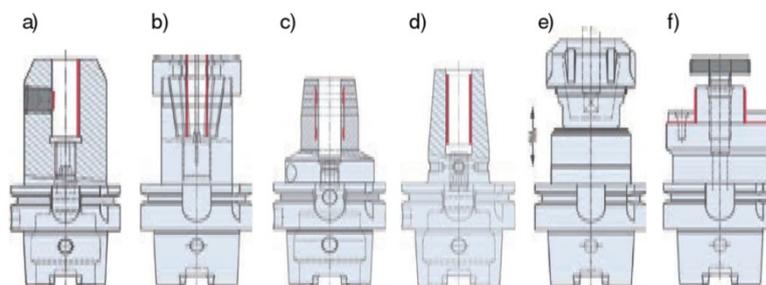


Abb. 12: Werkzeughalter: a) Flächenspann-, b) Spannzangen-, c) Hydrodehnspann-, d) Schrumf-, e) Gewindeschneidfutter, f) Aufsteckfräserdorn; Quelle: Taschenbuch der Werkzeugmaschinen, Hanser

Hydrodehnspannfutter spannen mittels einer Spannschraube und einem Spannkolben innerhalb eines geschlossenen hydraulischen Kamersystems (Abb. 12 c). Der sich einstellende gleichmäßige Druck wird über eine eingebaute Dehnbuchse auf das Werkzeug übertragen. Wegen des hydraulischen Systems verfügen diese Futter über eine schwingungsdämpfende Wirkung. Der zu spannende Durchmesser kann durch Reduzierhülsen angepasst werden. Hydrodehnspannfutter erreichen ebenfalls Rundlaufgenauigkeiten von ca. $3 \mu\text{m}$ und Drehzahlen bis 40000 min^{-1} .

Schrumpffutter nutzen die temperaturbedingte Ausdehnung zur Werkzeugspannung (Abb. 12 d). Eine Induktionsspule erwärmt das Schrumpffutter wieder zusammen und bildet mit dem Werkzeug wegen Übermaß am Schaft eine reibschlüssige Verbindung. Nachteilig ist, dass je Futter nur ein bestimmter Durchmesser gespannt werden kann.

Gefügeänderungen sind durch maximal auftretende Temperaturen bis ca. $340 \text{ }^\circ\text{C}$ ausgeschlossen. Aktiv gekühlt werden Werkzeuge innerhalb von ein bis zwei Minuten gewechselt. Vorteilhaft ist die vollständige Rotationssymmetrie dieser Futter. Mit ähnlich hoher Rundlaufgenauigkeit wie zuvor können Schrumpffutter sehr hohe Drehmomente übertragen und sehr hohe Drehzahlen bis über 50000 min^{-1} erreichen, bei sehr schlanken Ausführungen sogar bis 80000 min^{-1} .

Für die Hochleistungszerspannung (HPC) von schwer zerspanbaren Werkstoffen, wie z.B. Titan, werden Schrumpffutter und Werkzeuge mit zusätzlichem spiralförmigen Formschluss angeboten (Safe-Lock™). Damit wird ein Herausziehen der Werkzeuge aus dem Futter verhindert.

Da in der Praxis Synchronisationsfehler zwischen Haupt- und Vorschubantrieb nicht vollständig ausgeschlossen werden können, sind **Gewindeschneidfutter** mit einer axialen, gedämpften Nachgiebigkeit ausgestattet (Abb. 12 e). Erhöhte Axialkräfte beim Gewindeschneiden werden damit vermieden. Die Standzeit der Werkzeuge und die Qualität der Gewinde verbessern sich.

Aufsteckfräserdorne können Werkzeuge mit großem Durchmesser und Hohlwelle aufnehmen (Abb. 12 f). Das Werkzeug wird durch eine axiale Spannschraube gegen eine Plananlage gespannt. Die Drehmomentübertragung erfolgt formschlüssig durch stirnseitige mitnehmersteine.

Im Kombination mit der HSK-Schnittstelle sind die unterschiedlichen Werkzeugaufnahmen teilweise gemäß DIN 69882 genormt.

3.2.2 Spannmittel für Werkstücke mit regelmäßiger Grundgeometrie

Unterschieden werden Spannmittel für rotierende oder stehende Werkstücke, wobei unabhängig davon manuell zu betätigende Einheiten als Handspannmittel und angetriebene, automatisierbare als Kraftspannmittel bezeichnet werden. Die dafür erforderlichen Spannsysteme arbeiten mit hydraulischer oder pneumatischer Ansteuerung nach ähnlichen Grundprinzipien wie die entsprechenden Systeme für die Schnittstellen. Aus Gründen der Energie- und Ressourceneffizienz werden zunehmend auch elektrisch betriebene Spanneinheiten verwendet.

Ein sehr häufig auftretender Sonderfall ist das Spannen rotationssymmetrischer Werkstücke. Präzisionsausführungen aller nachfolgend genannten Systeme für rotierende Werkstücke erreichen Rundlauf- und Wiederholgenauigkeiten von 3 bis 5 μm .

Backenfutter verfügen über drei um 120° versetzte Spannbacken, die über Keil- oder Hebelmechanismen radial verstellt werden und somit das Werkstück zentrisch spannen (Abb. 13 a). Zum Spannen anderer Geometrien gibt es auch Ausführungen mit zwei, vier und sechs Backen. Nachteilig ist, dass die zulässige Spannkraft wegen der geringen Anlagefläche begrenzt ist. Zudem lässt die Spannkraft bei hohen Drehzahlen wegen auftretender Fliehkräfte an den Backen nach. Angeboten werden daher auch Systeme mit Fliehkraftausgleich. Vorteilhaft sind der sehr große Spannbereich des Futter und die Vielfalt der austauschbaren backen. **Niederzugfutter** ziehen das Werkstück aktiv gegen eine zwischen den Backen angeordnete Plananlage. Wegen der sehr hohen axialen Wiederholgenauigkeit lassen sich höchste Anforderungen an eine planparallele Bearbeitung realisieren.

Beim Membranspannfutter wirkt eine axiale Kraft auf eine mit Backen versehene Membran, biegt diese elastisch durch und öffnet damit die Backen. Nach Einlegen eines Werkstücks und Reduzierung der kraft kehrt die Membran wieder in Ihre Ursprungslage zurück und spannt das Werkstück, häufig ebenfalls gegen eine Plananlage. Durch den Verzicht auf verschiebbare Backen ist das Futter unempfindlich gegen schmutz und verschleißfrei. Erhältlich sind auch Futter mit Schnellwechselsystem für die Backen, u.a. mit HSK-Schnittstelle. Der Spannbereich je Backenkonfiguration beträgt maximal 0,5 mm.

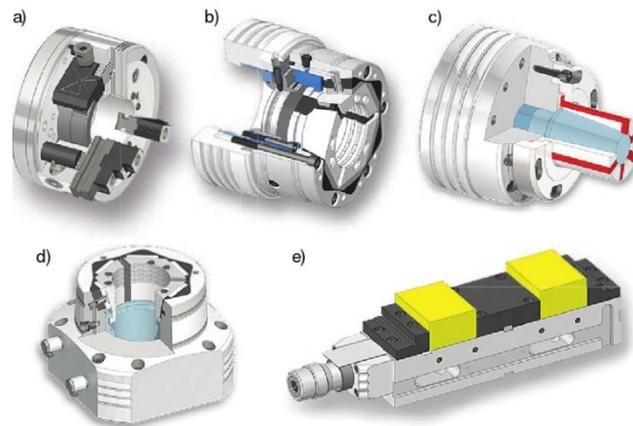


Abb. 13: Werkstückspannmittel: a) Backenfutter, b) Spannzangenfutter, c) Spanndorn, d) Spannstock, e) Maschinenschraubstock; Quelle: Taschenbuch der Werkzeugmaschinen, Hanser

Spannzangenfutter für Werkstücke basieren auf dem gleichen Prinzip wie diejenigen für Werkzeuge. Anstelle von Spannzange ist hier auch die Bezeichnung Spannkopf geläufig. Zwischen den Zangensegmenten befinden sich in der Regel Elastomere, die die radiale Spannbewegung ermöglichen und gegen Späne und Kühlschmierstoff abdichten (Abb. 13 b). Vorteilhaft ist die große Kontaktfläche zwischen Spannzange und Werkstück. Genormt sind Zug- und Druckspannzangen mit Spannbereichen gemäß Toleranzfeld h8 bzw. h9 je Zange. Angeboten wird eine Vielzahl herstellerepezifischer Ausführungen, die zum Teil Spannbereiche bis 2 mm ermöglichen.

Bei Druckspannzangen wird die Zange nicht in den Kegel hineingezogen, sondern umgekehrt der Kegel über die axial fixierte Spannzange geschoben. Dadurch wird ein Axialfehler der Werkstücklage durch den Spannvorgang vermieden.

Spanndorne nutzen das gleiche Prinzip wie Spannzangen, spannen aber Werkstücke von innen (Abb. 13 c). Eine axial betätigte Druckstange weitet wegen der Kegelform die Segmente einer Spreizbuchse auf und spannt so das Werkstück. Der Spannbereich je Buchse beträgt bis zu 0,5 mm. Mit einer Plananlage am Futter wird eine hohe Wiederholgenauigkeit erreicht.

Alle zuvor genannten Spannprinzipien kommen auch bei stehenden Werkstücken zum Einsatz, werden dann jedoch nicht als Spannfutter sondern als **Spannstock** (Abb. 13 d) bezeichnet.

Maschinenschraubstöcke spannen planparallel und eignen sich damit besonders für Werkstücke mit quaderförmiger Grundform (Abb. 13 e). Durch austauschbare Backen können unterschiedliche Werkstückformen aufgenommen werden. Beim sogenannten

Zentrischspanner werden beide Backen synchron angetrieben und damit das Werkstück zentriert. Erreicht werden Wiederholgenauigkeiten von ca. 10µm.

Im automatisierten Betrieb ist es vorteilhaft zu überprüfen, ob ein Werkstück richtig gespannt worden ist oder nicht. Verfügbar sind daher Ausführungen, die eine maschinenseitige, pneumatische Anlagekontrolle der Werkstücke im Spannmittel ermöglichen.

3.3 Spannvorrichtungen

Der Begriff Spannvorrichtung ist nicht klar abgegrenzt und umfasst bisweilen auch die zuvor beschriebenen Werkstückspannmittel. In der Großserienfertigung werden für Werkstücke mit unregelmäßiger Geometrie werkstückspezifische, in der Regel automatisierte Sonderkonstruktionen angefertigt (Abb. 14 a).

Ist dies aufgrund geringer Stückzahlen nicht wirtschaftlich kommen modulare Vorrichtungsbaukästen zum Einsatz. Auf der Basis von genormten Schnittstellen, das sind T-Nutzen und Lochraster, werden aus Grundelementen (Spannplatten, -türme und -winkel) Aufbau-, Positionier-, Stütz- und Auflage- sowie Spann- und Anpasselemente montiert (Abb. 14 b). Neben rein mechanischen Systemen, die manuell zu betätigen sind, sind auch hydraulische Elemente verfügbar, die ein automatisiertes Spannen erlauben.

Magnet- und Vakuumspannvorrichtungen erzeugen Anziehungskräfte und spannen daher Werkstücke durch Kontakt an nur einer Fläche. Diese Fläche ausgenommen kann das Werkstück in einer Aufspannung allseitig bearbeitet werden. Wegen großer möglicher Spannflächen eignen sie sich besonders zum verzugsfreien Spannen dünnwandiger, nachgiebiger Bauteile. Im einfachsten Fall besteht die Vorrichtung aus einer ebenen Platte, bei komplexen Geometrien nimmt die Vorrichtung die Negativform der Werkstückspannfläche an (Abb. 14 c).

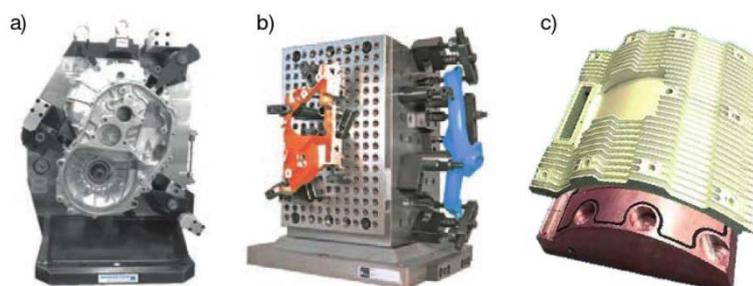


Abb. 14: Spannvorrichtungen: a) Hohenstien GmbH, Hohenstein-Ernstthal; b) Heirich Kipp Werk, Sulz am Neckar; c) Böhm, Leipzig; Quelle: Taschenbuch der Werkzeugmaschinen, Hanser

4 Schnittstellen für Werkzeug- und Werkstückspannmittel

4.1 Schnittstellen

Die Werkzeug- und Spannmittelschnittstellen stellen die Verbindung zwischen Maschine, Werkzeugen und Werkstückspannmittel her. Ihre Aufgabe sind:

- Werkzeug bzw. Spannmittel aufnehmen
- Schnittkräfte übertragen
- Betätigungselemente übertragen
- Hilfsstoffe übertragen
- Auswechseln ermöglichen
- Rundlauf bzw. Position reproduzierbar gewährleisten
- ggf. Automatisierbarkeit

Die immer weiter gestiegenen Anforderungen, die Vielfalt der Maschinenbauarten und Verfahren, aber auch kommerzielle Interessen haben im Laufe der Jahre eine große Zahl unterschiedlicher Schnittstellen teilweise konkurrierender Systeme entstehen lassen.

4.2 Schnittstellen für Werkzeugspannmittel

Für rotierende Werkzeuge hat sich weitgehend der genormte Hohlchaftkegel, kurz HSK, durchgesetzt (Abb. 15).

Der Hohlchaft mit einem Kegolverhältnis von 1:10 ist radial elastisch und kann daher gegen eine axiale Plananlage gezogen werden. Es gibt sieben verschiedene Formen A bis F und T, die sich in der Breite der Plananlage, der Kühlmittzufuhr, der Art der Mittelnehmernuten und dem Vorhandensein einer Greiferrille für eine automatisierte Betätigung unterscheiden. Die gebräuchlichste ist die Form A. Definiert sind die Größen HSK 25 bis HSK 160 mit Mindestzugkräften von 2,8 kN ... 115 kN.

Bei stehenden Werkzeugen, z.B. in Drehmaschinenrevolvern, ist für eine kurze Werkzeugwechselzeit zusätzlich eine hohe Wiederholgenauigkeit der Winkelstellung erforderlich. Die Form T hat daher im Vergleich zu den anderen HSK-Varianten ein eingeschränktes Mitnehmerspiel.

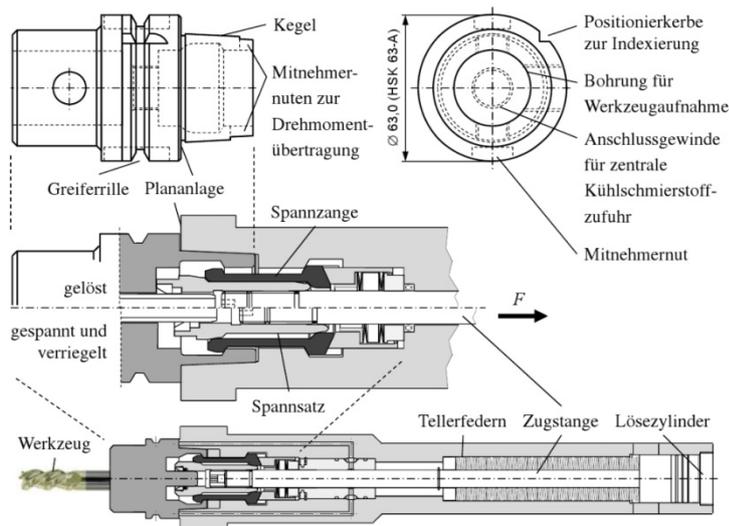


Abb. 15: HSK-Schnittstelle und -Spannsystem; Quelle: Ott-Jakob, Lengenwang

Die Betätigung erfolgt durch ein Spannsystem, das über eine verstellbare Zugstange eine Axialkraft erzeugt, z.B. mittels einer Federsäule. Beim Spannen des HSK drückt der Spannkegel des Spannsatzes die Spannzangensegmente radial nach außen. Die Zangensegmente stützen sich sowohl an der Spindel als auch am HSK ab. Sie ziehen den mit Übermaß versehenen Hohlchaftkegel ein und verspannen ihn gegen die axiale Plananlage der Spindel. Bei hohen Drehzahlen wirken zusätzliche Fliehkräfte auf die Segmente und verstärken diesen Effekt. Zusammen mit engen Toleranzen für Form, Lage und Oberfläche wird so eine sehr hohe axiale Wiederholgenauigkeit von etwa 1 μm sowie eine hohe Biege- und Torsionsteifigkeit erzielt.

Die Drehmomentübertragung erfolgt neben dem sich einstellenden Reibschluss auch formschlüssig durch Mitnehmer, die in Nuten am Kegelschaftende oder am Bund fassen. Ausgenommen sind die vollständig rotationssymmetrischen Formen E und F für sehr hohe Drehzahlen.

Auf einem ähnlichen Prinzip beruht die **Capto-Schnittstelle**, auch kurz PSC, (Abb. 16 a). Ursprünglich ein Patent der Fa. Sandvik ist diese Schnittstelle inzwischen genormt. Da die Fügenflächen hierbei aus Konischen Polygonen (Kegelverhältnis 1:20) bestehen, ist die Schnittstelle sowohl für den rotierenden als auch für den stehenden Einsatz geeignet. Das Drehmoment wird formschlüssig über die Polygonflächen übertragen, was zu einer sehr hohen Torsionssteifigkeit führt. Wegen einer nicht umlaufenden Greifernut ist diese Schnittstelle zudem sehr biegesteif. Steifigkeit und Genauigkeit dieser Schnittstelle hängen wie beim HSK vom Einhalten der sehr engen Fertigungstoleranzen ab. Axial und radial wird eine

Wiederholgenauigkeit von $\pm 2 \mu\text{m}$ erreicht. Verfügbar sind die Größen C3 ... C10 (Flanschdurchmesser 32 ... 100 mm) mit einer maximalen Einzugskraft von 70 kN.



Abb. 16: a) Capto-, b) Steilkegel- und c) VDI-Schnittstelle; Quelle: Sandvik, Düsseldorf

Ähnlich zum HSK ist auch die seit 2013 genormte KM-Schnittstelle (Fa. Kennametal). Anstelle von Spannzangensegmenten werden hier Kugeln radial nach außen gedrückt und erzeugen so die notwendige Verspannung. Das Drehmoment wird durch Reibung und formschlüssig durch die Kugeln sowie Mitnehmer übertragen.

Trotz einiger Nachteile ist die **Steilkegel-Schnittstelle**, kurz SK, mit einem Kegelverhältnis 7:24 noch weit verbreitet (Abb. 16 b). Anstelle des Hohl Schaftes befindet sich am Kegelumende ein Anzugsbolzen, der zum Spannen von einer von außen wirkenden Spannzange umschlossen wird. Wegen fehlender Plananlage und vergleichsweise hohen Fertigungstoleranzen ist die axiale Wiederholgenauigkeit gering. Weitet sich der Innenkegel bei hohen Drehzahlen wird der SK durch die Axialkraft weiter in die Aufnahme hineingezogen, was zum Verklemmen im Stillstand führt.

Die VDI-Schnittstelle (Abb. 16 c) ist ausschließlich für den Einsatz als stehende Schnittstelle in Revolvern konzipiert. Basierend auf einer zylindrischen Aufnahme befindet sich auf einem Zylinderschaft eine Passverzahnung, in die eine entsprechende Gegenverzahnung greift. Das Verspannen erfolgt manuell. Wegen der Plananlage ist die Wiederholgenauigkeit in axialer Richtung sehr hoch. Die geringe Genauigkeit der Winkellage erfordert häufig ein Vermessen bzw. Feinjustieren des Werkzeugs in der Maschine, wodurch lange Werkzeugwechselzeiten entstehen. Zum Ausrichten gibt es daher verschiedene revolverspezifische Kanten, Leisten, Nocken, Nuten, Pins u.Ä.

4.3 Schnittstellen für Werkstückspannmittel

Die genormten Schnittstellen für rotierende Werkstücke basieren auf einem Kurzkegel mit Kegelverhältnis 1:4 und sind eine manuelle Betätigung ausgelegt. Definiert sind die Kegelgrößen 4 ... 20 (Kegeldurchmesser ca. 54 ... ca 413mm) mit Hohlwelle für Stangenmaterial und für die automatisierte Bestätigung von

Spannmitteln. Die einzelnen Ausführungsformen unterscheiden sich in der Art der Befestigung und Verriegelung: Stirnseitige Bestätigung mit Verschraubung oder Bajonett-Schnellverschluss und radiale Betätigung mit Camlock-Schnellverschluss. Die Norm sieht auch eine Form mit zylindrischer Zentrierung vor, diese muss jedoch in der Regel nachjustiert werden.

Von einigen Herstellern werden auch nicht genormte Schnellwechselsysteme angeboten, die funktional den Systemen im Werkzeugbereich ähnlich sind. Anders als dort erfolgt der automatisierte Werkstückwechsel jedoch in der Regel direkt im Spannmittel und nicht über die Schnittstelle.

Stehende Schnittstellen mit hoher Wiederholgenauigkeit basieren ebenfalls auf einer Kegelverbindung und werden als Nullpunktspannsysteme (Abb. 17) bezeichnet. Auch hier erzeugt mindestens ein zusätzlicher Formschluss eine eindeutige Winkelstellung. Üblicherweise werden mehrere Kegel verwendet, das System ist dann jedoch überbestimmt. Um Temperaturdehnungen ausgleichen zu können, haben Schwertzapfen einen und Untermaßzapfen zwei Freiheitsgrade in der Spannebene (Abb. 17 rechts). Bei einer thermosymmetrischen Anordnung mit vier Schwertzapfen ergibt sich ein virtueller Nullpunkt in der Mitte.

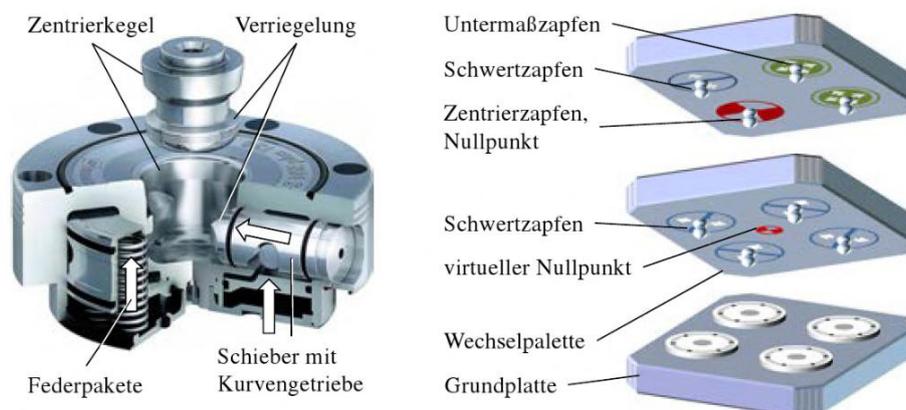


Abb. 17: Nullpunktspannsystem; Quelle: Schunk, Lauffen am Neckar; HHW, Chemnitz

Das Spannen und Verriegeln erfolgt selbsttätig durch Federpakete, gelöst wird durch pneumatische oder hydraulische Ansteuerung. Angeboten werden Aufbau- und Einbausysteme mit Wiederholgenauigkeiten von 3 ... 10 μm und Einzugskräften bis zu mehreren 10 kN je Einheit. Eine einheitliche Norm für diese Art von Schnittstelle existiert bisher nicht.

Standardmäßig werden zum Aufspannen von Werkstücken Gewindebohrungsraster oder parallele T-Nuten zur Verfügung gestellt. Genormte Wechselpaletten haben auf der Maschinenseite zylindrische Zentrierbohrungen mit eingeschränkter Wiederholgenauigkeit.

5 Prozesstechnische Besonderheiten der Fertigungsabläufe

5.1 Prozesstechnische Anforderungen an Werkzeugmaschinen

Die Zerspanungstechnik beinhaltet die gezielte Formgebung von Werkstücken durch Anwendung spanender Verfahren und Fertigungsmittel. Dabei wird die geometrische Gestaltänderung der Werkstücke durch Abtrennen von Werkstoffteilchen auf mechanischem Weg erzeugt und durch einen oder mehrere Schneidkeile am Werkzeug verwirklicht. Sind diese Schneidkeile des Werkzeugs geometrisch eindeutig zu beschreiben, spricht man von geometrisch bestimmter Schneide, ansonsten von geometrisch unbestimmter Schneide. Die allgemeingültigen Zusammenhänge für die Fertigungsverfahren mit geometrisch bestimmter Schneide lassen sich anschaulich am Verfahren „Drehen“ erläutern. Zur Beschreibung der Verfahren sind die Begriffe in der DIN 6580 so festgelegt, dass sie für alle Bereiche der spanenden Fertigung angewendet werden können. Man bezieht sich dabei auf einen einzelnen betrachteten Schneidenpunkt und ein ruhend gedachtes Werkstück.

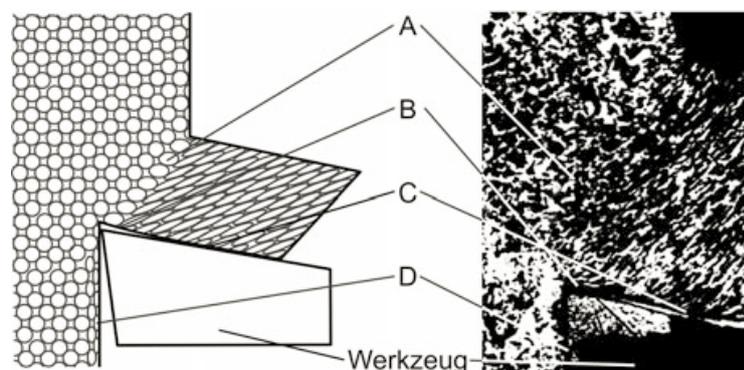


Abb. 18: Spanbildung und Spanstruktur; Quelle: Zerspanung der Eisenwerkstoffe, Stahleisen-Bücher

Spanbildung Der Schneidkeil des Werkzeugs dringt unter Wirkung der Zerspankraft in das Werkstück ein. Bei einer kontinuierlichen plastischen Verformung werden dabei Späne erzeugt. Abhängig von der Struktur des zu zerspanenden Werkstoffes kann man in den vier Bereichen (A, B, C, D) der Spanbildung (Abb. 18) unterschiedliche dominierende Prozesse beobachten.

Im Bereich A geht die Struktur des Werkstoffes durch Scheren in die Struktur des Spanes über (Scherspan). Bei spröden Werkstoffen (Grauguss) kommt es zum Abreißen des Werkstoffes (Reißspan). Bei verformungsfähigen Werkstoffen (Stahl, Aluminium) tritt die Trennung erst kurz vor der Schneidkante (Bereich B) ein.

Beginnt der Werkstoff in diesem Bereich zu fließen, dann entsteht eine sogenannte Fließschicht (Bereich C), die die Scherschichten verbindet und somit zum Fließspan führt. Ist die Fließschicht nicht sonderlich ausgeprägt und die gescherte Spanstruktur lamellenartig, spricht man vom Lamellenspan. Die entstehenden Spanstrukturen sind im Wesentlichen abhängig von der Verformbarkeit und der Festigkeit des Werkstoffes (Abb. 19). Im Randbereich D der Schnittfläche ist der Werkstoff des Werkstücks erhöhter Kraftwirkung ausgesetzt und die Gefügestruktur verfestigt sich (Verfestigungszone).



Abb. 19: Spanformen geordnet nach den Spanarten; Quelle: Werkzeugmaschinen Aufbau, Funktion und Anwendung vonspanenden und abtragenden Werkzeugmaschinen, Springer

Verschleiß und Standzeit Wird die Wirksamkeit der Schneide durch Abnutzung der Frei- und Spanflächen eingeschränkt, so spricht man von Verschleiß des Werkzeugs. Die Auswirkungen sind:

- ein Anwachsen der Zerspankräfte bei gleichzeitiger Veränderung der Verhältnisse zwischen Schnitt-, Vorschub- und Passivkraft,
- eine Erhöhung der Temperatur in den Spanbildungszonen und am Werkzeug, was wiederum zu erhöhtem Verschleiß führt,
- eine veränderte Spanform durch die neue Schneidkeilgeometrie,
- eine in der Regel verschlechterte Oberflächenqualität am Werkstück und größere Verfestigungstiefe gegen Standzeitende.

Schneidstoffe Werkstoffe, aus denen die Schneide besteht und die somit direkt an der Spanbildung beteiligt sind, werden als Schneidstoffe bezeichnet. Aufgrund der Beanspruchung beim Zerspanungsprozess sollten sie große Härte, Zähigkeit, Verschleiß-, Druck- und Biegefestigkeit besitzen und diese Eigenschaften auch bei hohen Temperaturen und schnellen Temperaturwechseln beibehalten.

5.1.1 Spanende Verfahren mit geometrisch bestimmter Schneide

Geometrisch bestimmte (definierte) Schneide bedeutet im Zusammenhang mit spanenden Verfahren, dass die Flächen und Winkel am Werkzeug reproduzierbar nachgearbeitet werden können.

Drehen Beim Drehen ist das Werkstück mit der Hauptspindel über die Werkstückaufnahme (Futter, Spannzange, Mitnehmerspitze) verbunden und führt eine Rotation (die Schnittbewegung) aus. Die in der Regel einschneidigen Werkzeuge sind in Werkzeughaltern oder Revolverköpfen aufgenommen und werden über verschiedene Schlitten translatorisch bewegt (Vorschubbewegung). Das Positionieren des Werkzeuges zum Werkstück erfolgt ebenfalls mit Hilfe dieser Schlitten. Man unterscheidet Längs- und (Quer-) Plandrehen sowie Kombinationen daraus. Die Größe der auftretenden Zerspankräfte und die Zerspanungsleistung lassen sich nach den Gl. 3.6 bis 3.10 berechnen.

Fräsen Beim Fräsen ist das Werkstück mit dem Maschinentisch über die Werkstückaufnahme (Vorrichtung) verbunden. Die in der Regel mehrschneidigen Werkzeuge sind in der Hauptspindel aufgenommen und rotieren mit dieser (Schnittbewegung). Sowohl Maschinentisch als auch Hauptspindel können über verschiedene translatorisch und/oder rotatorisch bewegte Schlitten die Vorschubbewegung und das Positionieren des Werkzeuges zum Werkstück ausführen. Bezüglich der Richtung von Schnitt- und Vorschubgeschwindigkeit unterscheidet man Gleich- und Gegenlaufräsen (Abb. 20). Die Einteilung in Stirn- und Umfangsfräsen erfolgt unter fertigungstechnischen Gesichtspunkten, ist aber für die Zerspankraftberechnung ohne Bedeutung.

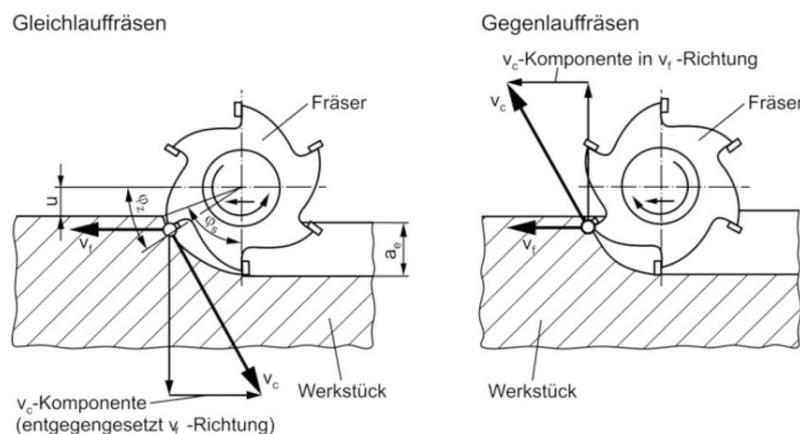


Abb. 20: Gleich- und Gegenlaufräsen; Quelle: Werkzeugmaschinen Aufbau, Funktion und Anwendung vonspanenden und abtragenden Werkzeugmaschinen, Springer

Bohren und Senken Beim Bohren ist das Werkstück in der Werkstückaufnahme (Vorrichtung) aufgenommen und fest oder beweglich mit dem Maschinentisch verbunden. Die Werkzeuge sind in der Regel zweischneidig (aber auch ein- und mehrschneidig), werden in der Hauptspindel aufgenommen und rotieren mit dieser (Schnittbewegung). Die Vorschubbewegung wird durch direkte Translation der Hauptspindel in Richtung ihrer Achse oder der sie tragenden Baugruppen erzeugt.

5.1.2 Spanende Verfahren mit geometrisch unbestimmter Schneide

Die spanenden Verfahren mit geometrisch unbestimmter Schneide kann man unterteilen in Verfahren mit gebundenem (z. B. Schleifen, Honen) oder ungebundenem Korn (z. B. Läppen). Bei Letzterem ist ein Abschätzen der benötigten Kräfte und Leistungen aus Erfahrungswerten üblich. Aufgrund seiner Bedeutung innerhalb des Werkzeugmaschinenbaus soll hier das Verfahren Schleifen näher betrachtet werden. Gegenüber der Bearbeitung mit geometrisch bestimmter Schneide stellt das Verfahren Schleifen besondere Anforderungen an die Maschinen:

- Die Schnittgeschwindigkeiten liegen wesentlich höher und erfordern im Zusammenhang mit den eingesetzten Schleifscheibendurchmessern höhere Drehzahlen. Dies wiederum macht entsprechende Schutzeinrichtungen für den Fall des Bruches der Schleifscheiben notwendig.
- Die Vorschubträge und -geschwindigkeiten sowie die Zustellträge sind kleiner und erfordern feinfühlig Mechanismen zu ihrer Realisierung.
- Die durch das Schleifen zu schaffenden Werkstückqualitäten bezüglich Maßhaltigkeit, Form- und Lagegenauigkeit sowie Oberflächenrauigkeit erfordern ausgezeichnete geometrische Genauigkeiten und gutes statisches, dynamisches und thermisches Verhalten der Maschinen.
- Verfahrensbedingt ist in die Schleifmaschinen in der Regel eine Abrichteinrichtung integriert.
- Die Schleiftemperaturen machen eine intensive Kühlung nahe an der Schnittzone erforderlich. Diese bindet außerdem die Späne und den entstehenden Abrieb. Der hohe Kühlschmierstoffbedarf und dessen Reinigung erfordern entsprechende Anlagen.

5.2 Werkstück- und Werkzeugtransport

Der Automatisierung der Fertigungseinrichtungen wird durch den Automatisierungsgrad der Transport- und der Handhabungseinrichtungen beeinflusst.

Prinzip	ohne Zugmittel ohne Energiezufuhr	ohne Zugmittel mit Energiezufuhr	mit Zugmittel mit Tragmittel	mit Einzelantrieb
Bezeichnung	Schwerkraftförderer	Schwingförderer	Kettenförderer	Flurförderer
Beispiele	Rutschen Ablaufrinnen Rollenbahnen	Schüttelrutschen Schwingrinnen Schwingbänder Rollenbahnen mit Antrieb einzelner Rollen Pumpenelevator	Elevatoren Kreis-, Hängebahnen Gliederbänder Plattenbänder mit gelenkiger Überdeckung	schienengeführte Transportwagen induktiv gesteuerte Transportwagen fahrbare Roboter für Hochregallager

Bei Rollenbahnen erfolgt der Transport der Paletten zu den Fertigungseinrichtungen durch Reibschluß der angetriebenen Rollen.

Der Kettenförderer ist ein Transportband, das sich besonders zum Transport kleiner Massen eignet. Er wird zur Verkettung von Fertigungs- und Montageeinrichtungen eingesetzt.

Schienengeführte Transportwagen haben hohe Tragfähigkeit, erreichen hohe Fahrgeschwindigkeiten und sind wenig störanfällig. Sie erlauben schnelles und exaktes Andocken an der Übergabestation. Die Übergabe der Paletten ist senkrecht zur Fließrichtung meist nach beiden Seiten möglich.

Induktiv gesteuerte Flurförderer sind fahrerlose Fahrzeuge mit vielseitigem Einsatzbereich bei hoher Flexibilität. Durch Codierung der Fahrzeuge ist festgelegt, welche Fertigungseinrichtung beschickt werden soll. Die Fahrzeuge werden induktiv über im Werkstattboden eingelassene Leitungen geführt. Genaues Andocken an der Übergabestation wird durch mechanische Führungen sichergestellt. Gerüste für Transportkomponenten entfallen, Fahrstraßen müssen freigehalten werden.

6 Organisatorische Besonderheiten der Fertigungsabläufe

6.1 Materialplanung

Die Materialplanung als Teil der Fertigungsplanung läßt sich in verschiedene Teilaufgaben gliedern, die nicht unbedingt in der genannten Reihenfolge ablaufen müssen :

1. In Zusammenarbeit mit der Konstruktion wird eine technische Zeichnung angefertigt, die Auskunft über die Gestalt des Werkstücks gibt. Über die Anforderungsliste wird das Rohmaterial ausgewählt und eine Stückliste aufgestellt.
2. Die Form und die Abmessungen des Rohteils werden festgelegt. Die Stücklisten werden ggf. um diese Daten ergänzt, die darüber hinaus direkt in die Arbeitspläne eingehen.
3. Wenn mehrere gleiche oder verschiedene Teile aus einem Rohmaterial gefertigt werden, muß ein auf die jeweiligen Mengenverhältnisse abgestimmter Verschnittplan zusammengestellt werden, um den Abfall möglichst minimal zu halten und so die Herstellkosten zu senken; der Verschnittplan regelt die optimale Anordnung der Teile im Rohmaterial.
4. In einer mittelfristigen Planung wird entschieden, welche Materialien, Halbzeuge etc. auf Lager gelegt werden. Dafür sind Informationen aus der Fertigungsprogramm-, Einkaufs- und Lagerplanung abzurufen. Hier wird über Eigenfertigung oder Fremdbezug entschieden und ein mittelfristiger Materialbedarfsplan aufgestellt.

6.2 Die Durchlaufzeit

Betrachtet man den Durchlauf eines Fertigungsauftrages, ist es allgemein üblich, die einzelnen Fertigungsaufträge mit ihren jeweiligen Arbeitenvorgängen auf der Zeitachse abzubilden. Die Zeitspanne von der Entnahme des Materials bis zur Ableiferung an ein Zwischenlager oder die Montage wird dabei allgemein als **Auftrags-Durchlaufzeit** bezeichnet. Begrifflich handelt es sich um einen unscharfen Ausdruck, es müßte Auftrags-Durchlaufdauer, -Durchlauffrist oder -Durchlaufspanne heißen. Die Zeit für einen Arbeitsvorgang ist hierbei die kleinste Einheit, sie ist die **Arbeitsvorgangs-Durchlaufzeit**. Die weitere Gliederung und die Abgrenzung der

Durchlaufkomponenten ist sowohl im Schrifttum als auch in der Praxis sehr unterschiedlich.

Abb. 21 zeigt einen unwesentlich veränderten Vorschlag von Heinemeyer, der durch die weiteren Ausführungen zugrunde liegt. Demnach unterscheidet man drei Betrachtungsebenen. Auf der Auftragsebene existieren einzelne Arbeitsvorgänge AG_1 bis AG_K . Jeder Arbeitsvorgang wird auf der Arbeitsvorgangsebene in fünf weitere Bestandteile zerlegt, und zwar in:

- Liegen nach Bearbeiten,
- Transportieren,
- Liegen vor Bearbeiten,
- Rüsten und
- Bearbeiten.

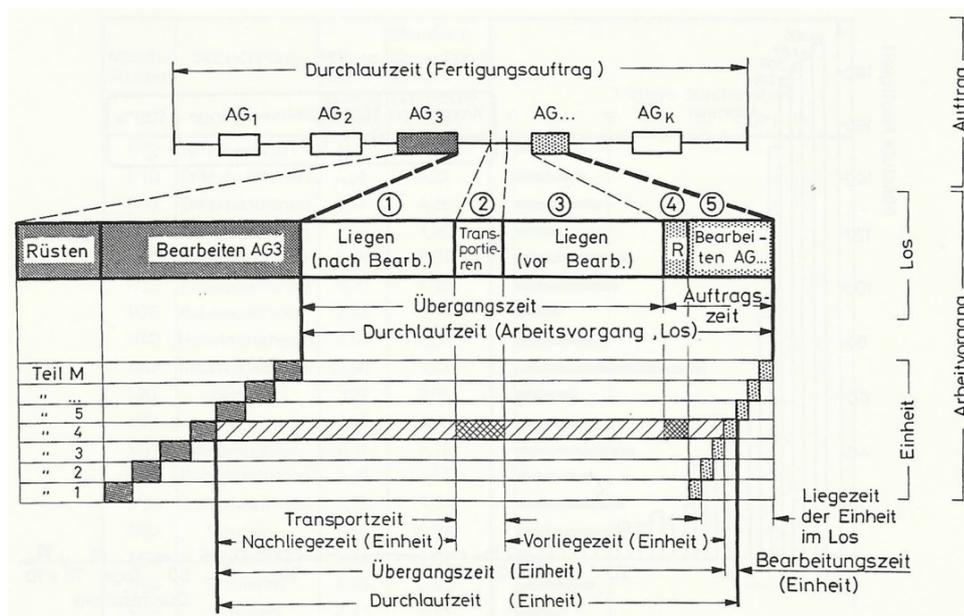


Abb. 21: Durchlaufzeitabteile von Losen und Fertigungsaufträgen; Quelle: Heinemeyer, IFA

Das Vorgehen zur Berechnung des vereinfachten Durchlaufes soll zunächst allgemein anhand von Abb. 22 diskutiert werden. Die **Durchlaufzeit ZDL** errechnet sich aus der Differenz der Abmeldezeitpunkte TBEV (Bearbeitungsende Vorgänger) und TBE (Bearbeitungsende). Um die **Übergangszeit ZUE** errechnen zu können, muß die **Durchführungszeit ZDF** bekannt sein. Sie ergibt sich aus der um den **Zeitgrad GZE** korrigierten **Auftragszeit ZAU**, bezogen auf die Tageskapazität TKAP des betrachteten Arbeitssystems.

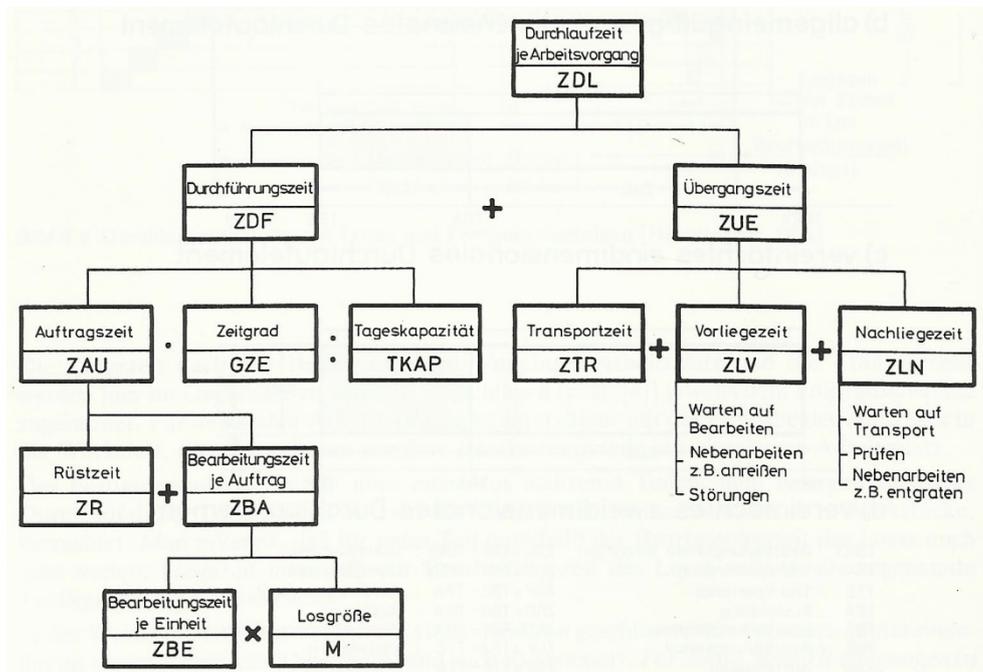


Abb. 22: Zusammensetzung der Durchlaufzeit an einem Arbeitsplatz; Quelle: Heinemyer, IFA

Die **Übergangszeit** besteht aus den Komponenten **Transportzeit ZTR** und den **Liegezeiten ZLN** und **ZLV**. Die Transportzeit spielt nur bei einer schlechten Transportorganisation eine Rolle. In den Liegezeiten sind häufig auch Arbeiten für die Qualitätsprüfung oder sonstige Tätigkeiten an diesem Arbeitsplatz enthalten, für die im Arbeitsplan keine Zeitvorgabe besteht; z.B. für Anreißen, Reinigen oder Entgraten der Werkstücke. Auch Störungen bedingen Liegezeiten, sind aber nur bei hochautomatisierten Fertigungs- und Montageanlagen von Bedeutung, die mit Taktzeiten im Minuten- oder gar Sekundenbereich arbeiten. Der weitaus überwiegende Anteil an der Übergangszeit ist die Liegezeit in der vor dem Arbeitsplatz befindlichen Warteschlange. Nur in besonderen Fällen, z.B. bei einer Schwachstellenuntersuchung, wird man diese Komponenten durch Erfassen der Einzelzeitpunkte ermitteln und auswerten.

7 Prozessorganisation

7.1 Transport-, Umschlag- und Lagerungshilfsmittel

Teileflußeinheiten können entsprechend Abb. 23 in den Varianten: ohne TUL, mit Standard-TUL und Spannpaletten zusammengestellt werden.

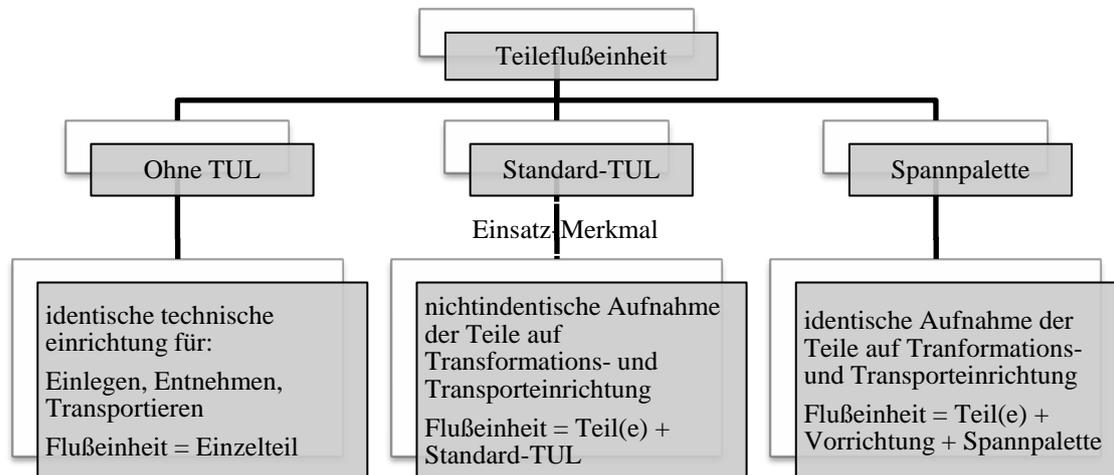


Abb. 23: Einsatzmerkmale zur Bildung von Teileflußeinheiten

TUL-Hilfsmittel müssen je nach ihrer Stellung im Teileflußsystem im Zusammenwirken mit allen Einrichtungen des TFS und entsprechend der aufzunehmenden Werkstücke oder Teile verschiedenartige Anforderungen erfüllen, die sich zu vier Hauptfunktionen verdichten lassen;

- Zusammenfassungsfunktion
Diese Funktion beinhaltet das Tragen und evtl. Umfassen der Werkstücke und fasst diese zu Einheiten zusammen.
- Schutzfunktion
Schutz der Werkstücke vor Beschädigung durch konstruktive Elemente für Aufnahme bzw. Lagesicherung, die z.B. das Berühren der Werkstücke untereinander ausschließen.
- Handhabungs- und Bereitstellfunktion
Gewährleistung einer unkomplizierten Beschickung und Entleerung – auch bei manueller Handhabung – sowie Lagesicherung und Positionierung unter Berücksichtigung der Fertigungsbedingungen und möglicher Beeinflussung durch TUL-Einrichtungen.
- Informationsfunktion
Vorhandensein von Informationsträgern zur Speicherung Handhabungs – und fertigungsbezogener Daten. (gemäß Abb. 24)

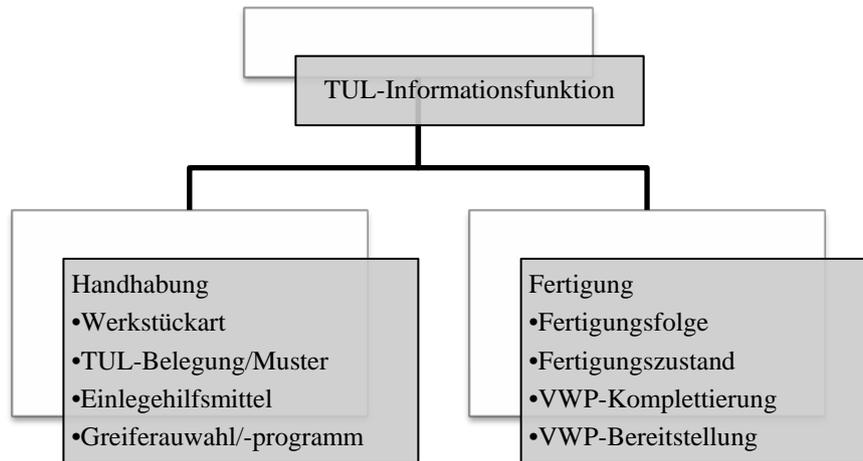


Abb. 24: Informationsfunktion von TUL-Hilfsmitteln

7.1.1 Auswahl der TUL-Hilfsmittel

Die TUL-Auswahl erfolgt einerseits nach den genau festzulegenden Grenzen des TUL-Kreislaufes und andererseits nach den technologisch sinnvollen Zusammenfassung-, Schutz- und Bereitstellfunktionen. Die geschieht nach der in Abb. 25 angegebenen Klassifizierung der TUL und den im Abb. 26 dafür aufgezeigten Ausführungen der jeweiligen TUL-Arten.

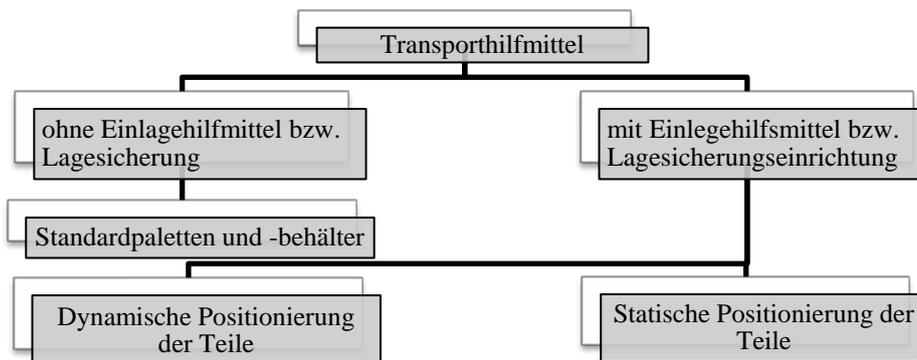
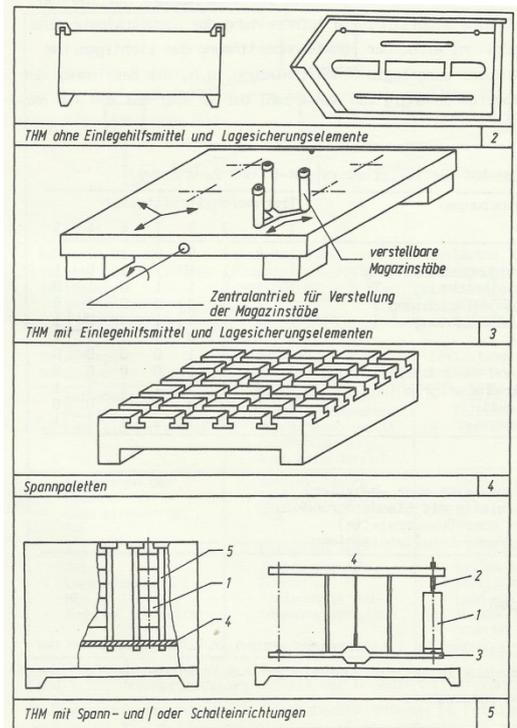


Abb. 25: Klassifizierung der Transporthilfsmittel für Teilefertigung

7.1.2 Bewertung für die Auswahl der TUL-Hilfsmittel

Mit dieser Klassifizierung ist gleichzeitig das Suchfeld für eine Auswahl der TUL nach Tafel 1 abgesteckt, wobei durch eine algorithmierte Aufbereitung der Suchstrategie eine rechnergestützte Abarbeitung ermöglicht wird. Der Funktionsbestimmung des richtigen TUL schließt sich die nach der TUL-Aufgabe ausgelegte Dimensionierung, d.h. die Bestimmung der Anzahl der TUL, an. Diese ist wiederum abhängig von der Anzahl der im oder auf dem TUL ökonomisch speicherbaren Werkstücke.



1 Werkstück; 2 Spanndefer;
 3 Schaltteller; 4 Hubboden;
 5 Magazinstab

Abb. 26: Beispiel für die Ausführung von Transporthilfsmittelarten; Quelle: Flexible Fertigungssysteme, VEB Verlag Technik Berlin

Tafel 1. Bestimmbarkeit der TUL-Art für Teileflußsysteme 1. und 2. Ordnung

Eingangsinformationen bzw. anforderungen	Transporthilfsmittelart							
	1	2	3	3	3	4	4	5
TUL-Prozeß	1	0	1	0	0	1	0	0
Flußeinheit „Einzelteil“	1	0	1	0	0	1	0	0
Einzelwerkstückspannung auf Fertigungseinrichtung	1	1	1	1	1	1	0	1
Mehrstückspannung auf Fertigungseinrichtung	1	1	0	1	1	0	1	0
Werkstückkennung durch Fertigungseinrichtung	1	1	0	0	0	0	0	0
Werkstückspannung auf Fertigungseinrichtung	1	1	1	1	1	0	0	1
Handhabungsgeometrie punktförmig	1	0	1	0	1	1	1	1
Handhabungsgeometrie flächig	0	1	0	1	0	0	0	0
Werkstückerkennung, Transport- und Handabeeinrichtung	0	1	1	1	0	0	0	0
TUL-Erkennung, Transport- und Handabeeinrichtung	0	0	0	1	1	1	1	1
Speicher Fertigungseinrichtung aktiv	1	0	0	0	1	0	0	0
Speicher Fertigungseinrichtung passiv	0	1	1	1	0	1	1	1
Legende zu TUL-Art:								
1 ohne TUL								
2 TUL ohne EHM und LSE (Standardpalette ode -behälter)								
3 TUL mit EHM und LSE (Spezialpalette mit Standardgrundkörper)								
4 Spannpalette (auch Maschinen- oder Systempalette)								
5 TUL (Palette) mit Spann- und/oder Schalteinrichtung								

7.2 Transporteinrichtungen

Auf der Grundlage der Elementarisierung des TUL-Prozesses werden in Abhängigkeit von der gewählten Grundvariante des Werkstückflusses die Ausrüstungen zum Verbinden der Fertigungsplätze und Speicher bestimmt und ausgewählt.

Die Transporteinrichtungen dienen dieser Verknüpfung, indem sie die Teilfunktionen Fördern und Umschlagen (Übergeben und Handhaben) ausführen.

Dabei sind folgende prinzipielle Aufgaben zu lösen:

- Positionierung und Steuerung der Transporteinheiten bei vorrangigem Einsatz einer komplexen Systemsteuerung, die unmittelbar mit der Steuerung bzw. mit Steuerungsbaugruppen des TUL-Systems oder Fertigungssystems korrespondieren kann;
- direkte Kooperation mit dem Guteingangs- und -ausgangsplatz- und -gruppengebundenen Werkstückspeichern;
- Wahlfreie Verknüpfung aller Speicherplätze, Fertigungsplätze und Fertigungsgruppen zur Gewährleistung unterschiedlicher Fertigungsvorgangfolgen;
- Mögliche Übernahme der Gutein- und -auslagerung unter der Bedingung, dass das System nur einen internen Speicher besitzt.

7.2.1 Fördereinrichtung

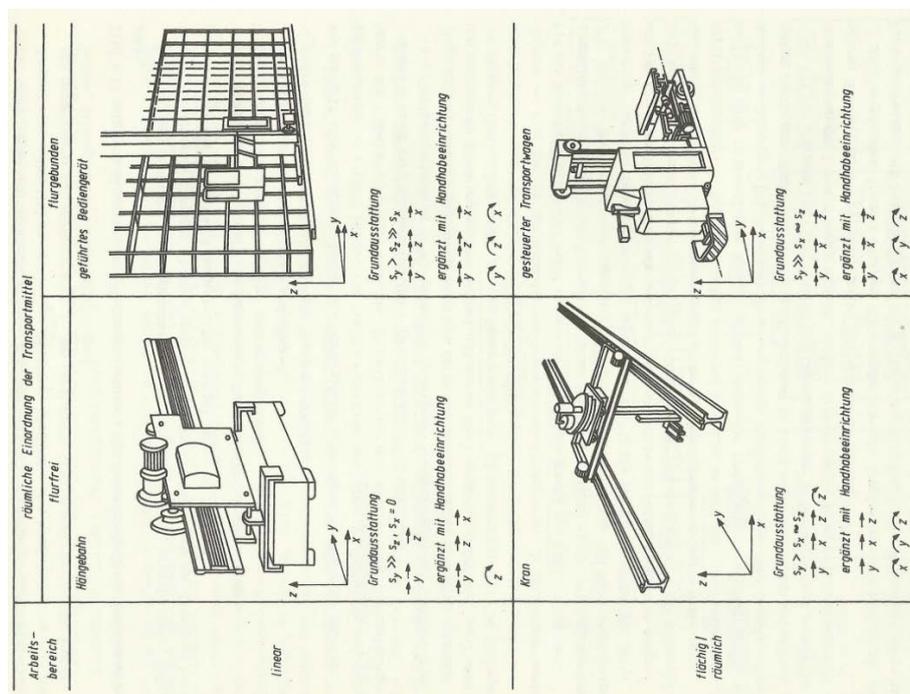


Abb. 27: Vorzugslösung für Fördereinrichtung in flexiblen Fertigungssystemen; Quelle: Flexible Fertigungssysteme, VEB Verlag Technik Berlin

Die Fördereinrichtung in automatisierten Fertigungssystemen lässt sich nach verschiedenen Gesichtspunkten unterteilen. Wesentliche Aspekte dafür sind:

- die Lage der horizontalen Arbeitsebene, z.B. flurfreie oder flurgebundene Einrichtungen,
- die Arbeitsweise der Fördereinrichtung, z.B. mechanisiert (fahrerbediente Fördereinrichtungen) oder automatisiert (fahrerlos arbeitende Fördereinrichtungen),
- die geometrische Bedienungsstruktur in den Fertigungen (flächenüberstreichende, koordinaten-, liniengeführte Fördereinrichtungen).

7.3 Umschlageinrichtungen

7.3.1 Übergabeeinrichtung

Übergabeeinrichtung (ÜE) sind verbindende Elemente in einem Fertigungssystem. Ihre Kopplungspartner sind

- Fördereinrichtung (FöE),
- Lagereinrichtung (LE),
- Fertigungsplatzgebundene Speicher (LEü) (Bereitstellplätze),
- Fertigungseinrichtungen (FE).

Durch Kombination der Kopplungspartner ergeben sich drei Kopplungsfälle, z.B. :

- a) Lager-(LE)Übergabe-(ÜE)-Fördereinrichtung(FöE),
- b) Förder-(FöE)-Übergabe-(ÜE)-Bereitstellplatz(LEü),
- c) Förder-(FöE)-Übergabe-(ÜE)-Fertigungseinrichtung(FE).

Die Kopplung innerhalb einer Systemlösung als auch zwischen den Systemlösungen unterschiedlicher Ordnung ist z.B. in Form der Variante

Förder-(FöE₍₃₎)-Übergabe-(ÜE)-Fördereinrichtung(FöE₍₂₎)

Möglich, wobei

FöE₍₃₎ die Fördereinrichtung des Fertigungsabschnittes und

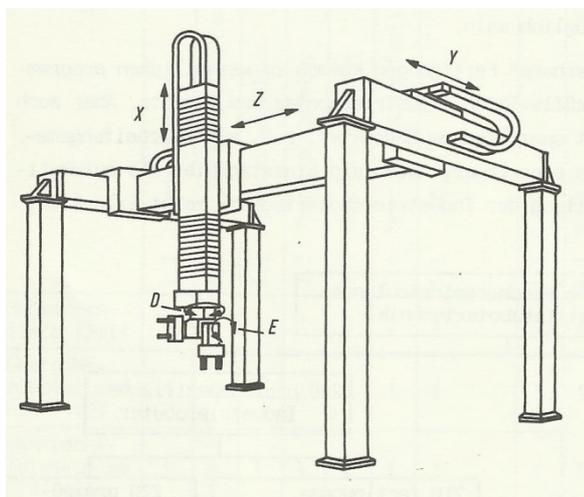
FöE₍₂₎ die der Fertigungsplatzgruppe bedeuten.

7.3.2 Handhabeinrichtungen

Handhabeinrichtungen sind technische Lösungen zur Bewegung eines Einzelteiles von einem fertigungsplatzgebundenen Speicher (Bereitstelleinrichtung) zur Fertigungseinrichtung, wobei diese Bewegung entweder auf einem Spannplatz oder mit hoher Präzision direkt im Spannraum der Maschine endet.

Während in konventionellen Fertigungen die Handabrichtungen im wesentlichen zur Produktivitätssteigerung und dem Abbau körperlich schwerer und monotoner Arbeit dienen, sind ihre Aufgaben in automatisierten Fertigung

- die ständige, mit dem automatischen Bearbeitungsprozeß abgestimmte Beschickung der Fertigungseinrichtung, wobei durch entsprechende Steuerungstechnik
 - immer die gleicher Bearbeitungsaufgabe oder
 - wechselnde Bearbeitungsaufgaben gesichert werden;
- die erforderliche Positionierung des Teils für die nachfolgende Bearbeitung;
- sich an die vor- und nachgelagerten Einrichtungen, also die kopplungspartner, anzupassen, d.h.
 - je mehr eine Fertigungseinrichtung automatisiert ist, um so mehr ist sie für den Einsatz automatischer Handabrichtungen geeignet. Das gibt insbesondere für das Spannen, das Öffnen und Schließen des Einzelteiles die Handabrichtung selbst übernimmt, um so weniger Bewegungen hat die Bereitstellereinrichtung zu realisieren. Der Bereitstellplatz wird einfacher und das Zusammenspiel zuverlässiger;
 - dass das Steuerungsniveau von Bearbeitungsmaschine, Handabe- und Bereitstellereinrichtung im wesentlichen übereinstimmen sollte. Eine Kopplung bzw. Integration zu einer übergeordneten Steuerung sollte möglich sein.



Y, Z Portalwagen; X Hubeinheit;

D Dreheinheit; E Schwenkeinheit

Abb. 28: Flächenportalroboter mit NC-gesteuerten Bewegungsbaugruppen; Quelle: Flexible Fertigungssysteme, VEB Verlag Technik Berlin

Als Handhabeeinrichtungen in automatisierbaren Fertigungen kommen im wesentlichen programmierbare Manipulatoren in Form der Prozeßflexiblen Industrieroboter zum Einsatz. Aber auch festprogrammierbare Industrieroboter mit spezifischem Charakter, z.B. mit Bearbeitungsmaschinen integrierte Einlegeeinrichtungen oder Lader, haben ein Einsatzgebiet als automatisierte Handhabeeinrichtung.

7.4 Lagerungseinrichtungen

7.4.1 Fertigungsplatzgebundene Speicher

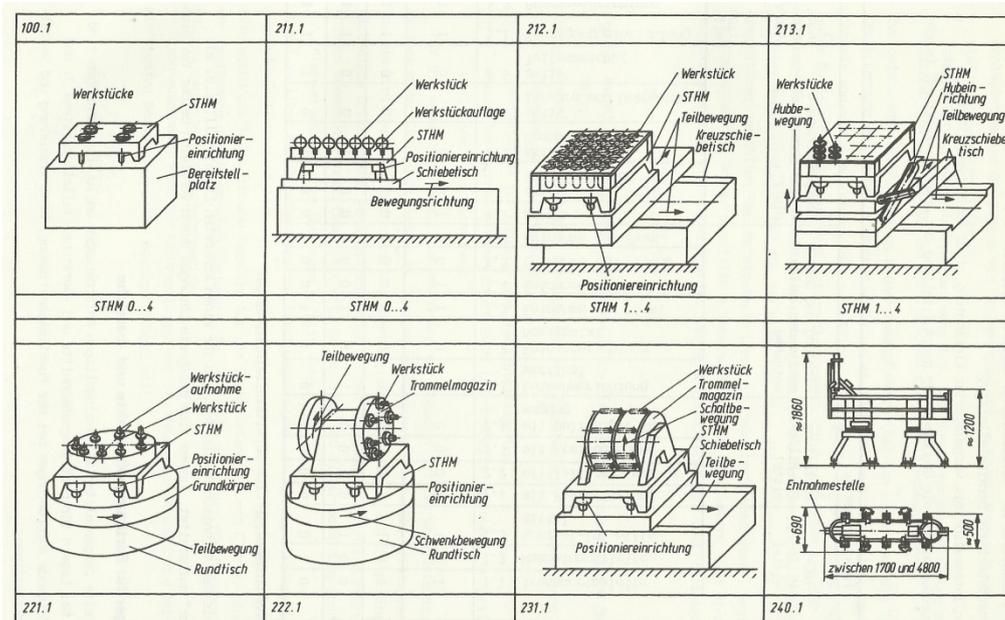


Abb. 29: Bereitstelleinrichtung für Fertigungsplätze spezielles TUL-Hilfsmittel; 0, 1, 2, 3, 4 Nenngrößen nach Standard; Quelle: Flexible Fertigungssysteme, VEB Verlag Technik Berlin

Ein fertigungsplatzgebunder Speicher, auch als Bereitstelleinrichtung bezeichnet, stellt das Bindeglied zwischen der versorgenden Transporteinrichtung und dem Fertigungsplatz dar. Seine Aufgabe sind

- die Teile bzw. die Palette handhabungsgerecht durch entsprechende Bewegungen bereitzustellen,
- für eine hinreichend genaue Positionierung der Teile bzw. der Palette zu sorgen,
- eine ausreichende Speicherung von Teilen am Fertigungsplatz zu gewährleisten.

7.4.2 Lager für Fertigungsabschnitte und -bereiche

Neben den bereits dargestellten allgemeingültigen Anforderungen an TUL-Einrichtung sind insbesondere bei Lagern für Fertigungsabschnitte und -bereiche

(Teileflußsysteme 3. und 4. Ordnung) folgende Anforderung bei der Funktionsbestimmung, Dimensionierung und Gestaltung zu berücksichtigen:

- Umsetzung einer aus dem Strukturierungskonzept abzuleitenden horizontalen und vertikalen Intergration, d.h. Übernahme der Speicherfunktionen für vor- und nachgelagerte Strukturen (z.B. Roh- und Fertigteilelagerung) für das betrachtete Teileflußsystem);
- Integration von Umschlagfunktionen (aktive Speicherelemente) und direkte Anbindung umschlagintensiver Strukturen wie Teileeingang und –ausgang, Kommissionier- bzw. Spannplätze sowie Kontrollplätze;
- Intergration weiterer Flußsysteme, wenn z.B. für Vorrichtungen, Werkzeuge oder Prüfmittel gleichartige TUL wie für den Werkstückfluß zum Einsatz kommen können.

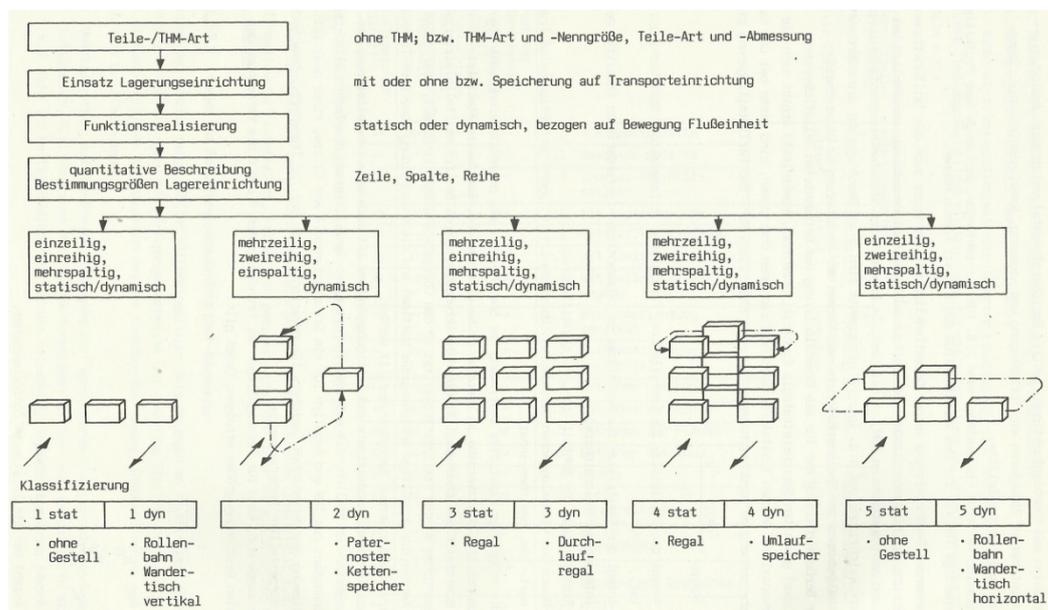


Abb. 30: Klassifizierung Speicher/Lagerungseinrichtung für Teilflußsysteme 2. Ordnung;

Quelle: Flexible Fertigungssysteme, VEB Verlag Technik Berlin

7.5 Struktur der Maschinenverkettung

Die Maschinen, die für die Fertigung einer typischen Werkstückklasse benötigt werden, lassen sich nach verschiedenen Kriterien einteilen. Neben den realisierbaren Fertigungsverfahren sind beispielsweise die Baugröße, die Spindelleistung und Genauigkeit wichtige Kriterien. Steht für jeden Fertigungsschritt genau eine Maschine zur Verfügung, spricht man von sich ergänzenden Maschinen, während bei sich ersetzenden Maschinen mehrere Fertigungsschritte gleichzeitig auf verschiedenen Maschinen realisierbar sind. In diesem Fall kann ein Maschinenausfall durch die verbleibenden Maschinen qualitativ ausgeglichen werden. In der Abb. 31 werden vier Fertigungsschritte mit A bis D bezeichnet und sind entsprechend kombinierbar. Gezeigt sind eine rein sequentielle bzw. eine parallele Abfolge (nicht Anordnung), die auch kombinierbar sind. Dabei ist jedoch der Nachteil zu bedenken, dass beim Ausfall der Maschine D die gesamte Fertigungslinie blockiert wird. Ein möglicher nachfolgender Zwischenspeicher oder ein Zwischenlager muss deshalb so dimensioniert sein, dass zu erwartende Ausfälle der Maschine aufgefangen werden können.

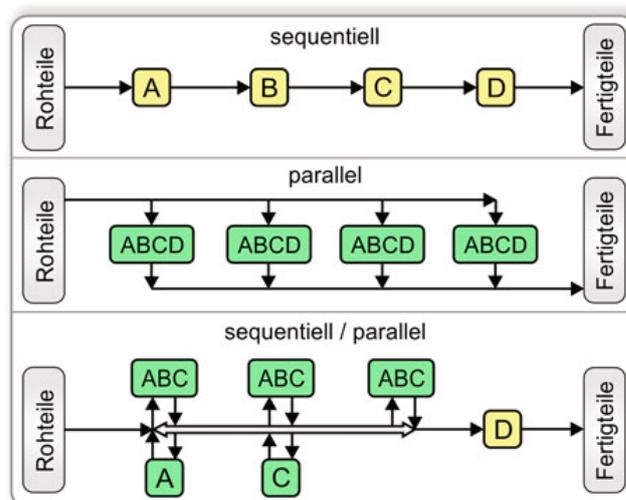


Abb. 31: Sich ergänzende und sich ersetzende Maschinen bei unterschiedlichen Fertigungsabfolgen im Mehrmaschinensystem

8 Fertigung von rotationssymmetrischen Werkstücken

-Herstellung einer Ritzelwelle

8.1 Auswahl der Werkzeugmaschinen

Die Ritzelwelle überträgt die Drehbewegung des Anlassers auf die Schwungscheibe der Kurbelwelle und startet auf diese Weise den Motor. Ritzelwellen werden in Start-Stop-Anlassern verbaut.



Abb. 32: Ritzelwelle; Quelle: Zahnradfabrik S.Liesen

Ausgangsmaterial für die Herstellung einer Ritzelwelle sind Stahlstangen oder Stahldraht auf Rollen. Diese werden zunächst in Stücke geschnitten und anschließend in mehreren Schritten kaltumgeformt. Anschließend erfolgt die Bearbeitung mit Drehmaschinen. Durch Härten erhalten die Bauteile die notwendige Oberflächenfestigkeit für lange Standzeiten.

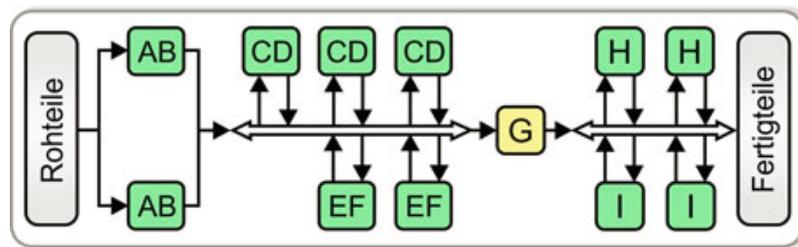
Zu erstellen die Ritzelwellen brauchen wir:

- Sägemaschine,
- Drehmaschine,
- Fräsmaschine,
- Verzahnmaschine und
- Schleifmaschine.

8.2 Materialfluss

Materialfluss ist die Zusammenfassung aller Transport-, Umschlag- und Lagersvorgänge beim Ver- und Entsorgen von Lagern, Puffern und Arbeitsstationen. Diese Prozesse betreffen Rohstoffe, Werkstücke, Werkzeuge, Betriebsmittel und Abfallstoffe.

8.2.1 Prozessschritte



- | | |
|----------------------|--------------------------|
| A - Absägen | F - Entgraten |
| B - Endenbearbeitung | G - Härten |
| C - Drehen | H - Wälzschleifen |
| D - Fräsbearbeitung | I - Schleifen Lagersitze |
| E - Verzahnen | |



Abb. 33: Prozessschritte zur Herstellung einer Ritzelwelle

Am Beispiel der Ritzelwelle in der Abb. 33 soll gezeigt werden, wie vielfältig die Auswirkungen von der Prozesskettengestaltung auf die Gestaltung des Fertigungssystems sind. Am Beginn steht immer die Frage, welche Prozessschritte auf einer Maschine zusammengefasst werden können. Markant sind das Härten und die nachfolgenden Schleifprozesse (H-I). Diese Kombination weist darauf hin, dass die Drehprozesse nicht die höchsten Genauigkeitsklassen erreichen müssen. Das Absägen (A) könnte auch auf einer Drehmaschine erfolgen, bei der eine Zuführung von Stangenmaterial vorgesehen ist. Die Endenbearbeitung (B) stellt für heutige Drehmaschinen, die mit zwei Hauptspindeln ausgeführt sind, kein Problem dar. Beide Schritte stehen jedoch zwangsläufig am Anfang und so ist es bei größeren Stückzahlen sicherlich sinnvoll, eine Maschine für die beiden Schritte (AB) vorzusehen. Sie kann dann mehrere parallel laufende Fertigungslinien versorgen. Die Operationen des Drehens verursachen den größten Hauptzeitanteil der gesamten Prozesskette. Entsprechend muss die Maschinenkapazität ausgelegt werden. Auf einer leistungsfähigen Drehmaschine können durch einen integrierten Fräskopf die Schlüsselflächen gefräst werden. Damit ergibt sich eine Drehmaschine mit den Schritten (CD). Auf Grund der Größe der Verzahnung erscheint es sinnvoll, eine Einzweckmaschine (E) zu verwenden. Zu diskutieren ist jedoch, ob es sinnvoll ist, den Prozess des Entgratens (F) mit in die Wälzfräsmaschine zu integrieren. Es ergäbe sich die Kombination (EF). Nach dem Härten (G), das mit den anderen Prozessen nicht vergleichbar ist, müssten die Funktionsflächen geschliffen werden. Eine Wälzschleifmaschine (H) und eine Standard-Schleifmaschine (I) erscheinen hier sinnvoll. Bei rein sequentieller Verknüpfung der Maschinen bestimmt der längste

2. Die Maschinen sind zur Wartung und zur Entsorgung von Abfällen von der Rückseite gut erreichbar.
3. Das Gesamtsystem lässt sich gut erweitern bzw. anpassen.

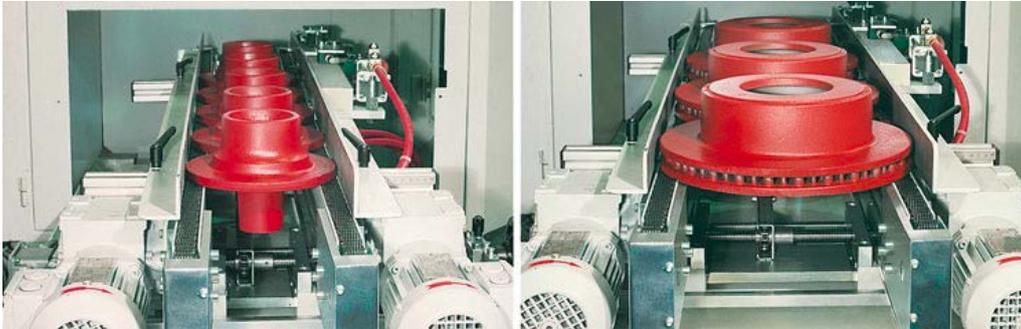


Abb. 35: Doppelgurt-Förderer mit auf die Werkstückgröße einstellbarer Breite; Quelle: MAG

Die Abb. 35 zeigt einen in der Breite verstellbaren Doppelgurtförderer. Mit ihm können rotationssymmetrische Werkstücke mit paletten gefördert werden, deren ähnliche äußere Geometrie eine Auflage auf zwei seitlichen Förderbändern ermöglicht.

8.4 Umschlagprozess

Die Abb. 36 zeigt einen Knickarmroboter, der den Transport und das Handling von standardisierten Werkstückpaletten übernimmt. Die Teile werden von einem im Halbkreis stehenden Regallager in den Arbeitsraum einer oder mehrerer Maschinen bewegt.



Abb. 36: Werkstückhandling zur Beschickung einer Fräsmaschine mittels Knickarmroboter; Quelle: Hermle, Kuka

Vorteile des Systems sind die Einsparung eines Plattenwechslers, eines Drehtisches und einer Hubeinrichtung, um alle Fächer des Regallagers zu erreichen. Nachteilig ist dagegen der größere Flächenbedarf. Der große Abstand zwischen Regal und Roboter

ist notwendig, um auch die unteren Regalfächer zu erreichen. Man erkennt, dass die innere Arbeitsraumgrenze durch den Aufbau des Roboters selbst begrenzt ist.

8.5 Lagerprozess

Der Lagerung der Werkstücke kann wie die Handhabung direkt oder indirekt, also palettenlos oder palettenbasiert, erfolgen. Nachfolgend werden spezifische Eigenschaften dieser logistischen Systeme erläutert, wenn sie innerhalb eines Systems von Werkzeugmaschinen eingesetzt werden.

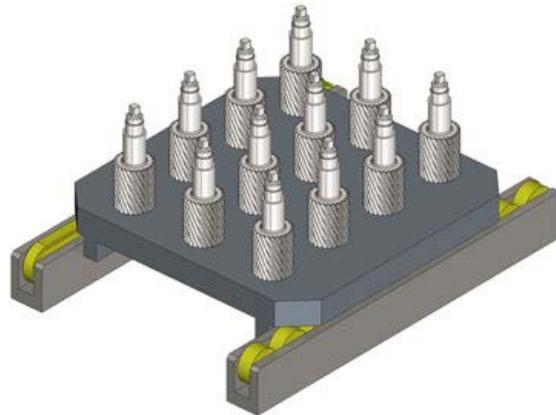


Abb. 37: Lochrasteraufnahme für den Palettentransport

Bei rotationssymmetrischen bzw. wellenförmigen Teilen ist meist ein spezieller Werkstückträger notwendig, um die Teile zwischen den Bearbeitungsmaschinen zu lagern. Sie lassen sich zum einen vertikal in einem Lochraster stehend sehr platzsparend transportieren. Die Abb. 37 zeigt diese Variante.

8.6 Zeitanteile

Im Abb. 38a endet die Arbeitsvorgang mit dem Zeitpunkt TBE (Bearbeitungsende) und beginnt mit dem Zeitpunkt TBEV (Bearbeitungsende Vorgänger). Der Zeitpunkt TBEV an einem Arbeitsplatz kennzeichnet hier nicht die körperliche Ankunft ein Auftrages, sondern ist ein Ereignis, das den Zeitpunkt der Fertigmeldung am Vorgänger-Arbeitsplatz beschreibt. Ebenso kennzeichnet auch der Abgangszeitpunkt TBE nicht das körperliche Verlassen des Auftrages, sondern die Abmeldung von diesem Arbeitsplatz. Damit können alle Teile der Durchlaufzeit lückenlos erfaßt werden, wenn auch der Freigabezeitpunkt bekannt ist. Da die Durchlaufzeit durch ein Arbeitssystem ZDL das kleinste betrachtete Element ist, wird sie als Durchlaufelement bezeichnet.

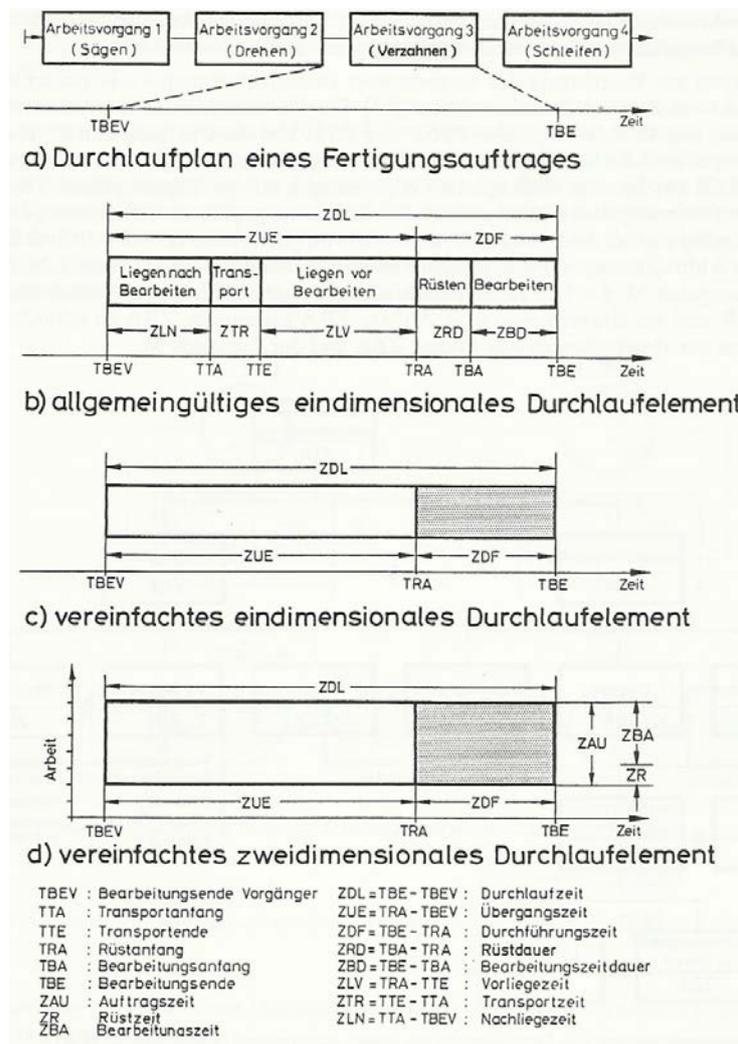
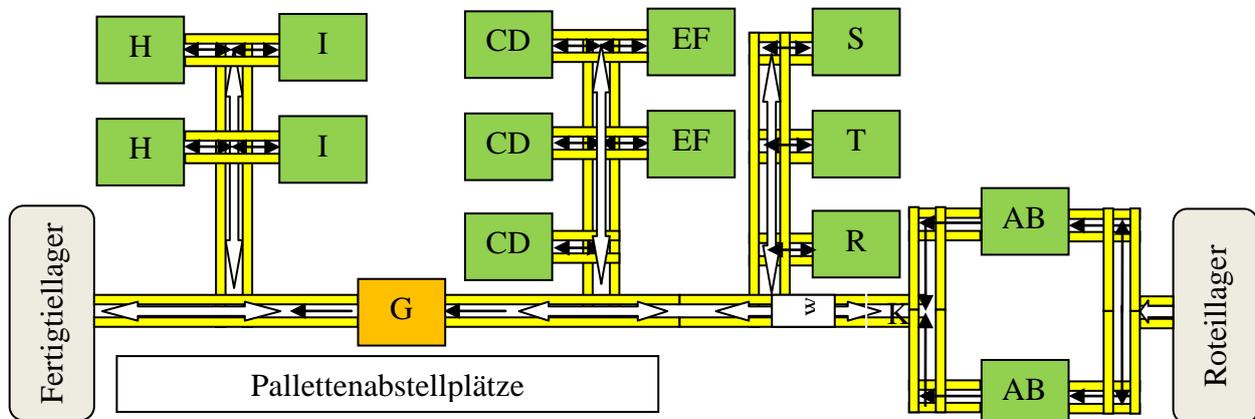


Abb. 38: Allgemeingültiges und vereinfachtes eindimensionales und zweidimensionales Durchlaufelement; Quelle:Bechte/Heinemeyer/Erdenbruch, IFA

Abb. 38b zeigt das Durchlaufelement des Arbeitsvorganges 3 mit seinen bereits diskutierten Teile. Da es zunächst nur eine Dimension –nämlich die Zeitdauer- hat, heißt es eindimensionales Durchlaufelement.

Die Durchführungszeit ZDF ist gegenüber der Durchlaufzeit ZDL klein, 2 bis 10% sind typisch. Daher kann man sich für Analyse- und Steuerungszwecke die Registrierung des Bearbeitungsbeginns TBA oder des Rüstanfangs TRA sparen. Es genügt völlig, diese Wert aus der Auftragszeit zu berechnen. Dann vereinfacht sich das Durchlaufelement zu der Darstellung in Abb. 38c. Zu seiner Berechnung sind nur der Abmeldezeitpunkt TBEV am Vorgänger-Arbeitsplatz, der Abmeldezeitpunkt am betrachteten Arbeitsplatz TBE und die aus der Auftragszeit resultierende Durchführungszeit ZDF erforderlich.

9 Mögliches Systemlayout zur Fertigung einer Ritzelwelle



*W - Werkstück K - Doppelgurt-Förderer T - Entnehmen S - Spannen R - Reinigen
A - Absägen B - Endenbearbeitung C - Drehen D - Fräsebearbeitung E - Verzahnen
F - Entgraten G - Härten H - Wälzschleifen I - Schleifen Lagersitze*

9.1 Erläuterung

Hier liegt mein gewähltes Systemlayout zur Fertigung einer Ritzelwelle. Die Struktur basiert auf der verzweigte Verkettung. Das Werkstück (Rohteil, Zwischenteil und Fertigteil) wird in einer Lochrasteraufnahme gelagert und über einem Doppelgurtförderer zugeführt. Der Werkstückwechsel von Lochrasteraufnahme zu Werkzeugmaschinen wird durch Knickarmroboter gehandhabt.

Ausgehend von einem zylindrischen Rohteil wird in der vorgeschriebene durch eine Sägemaschine (AB) zerschnitten. Danach wird das Zwischenteil gedreht und gefräst (CD). Es ist möglich, den Prozess des Entgratens (F) mit in die Verzahnmaschine (E) zu integrieren. Weil der Doppelgurtförderer in beiden Richtungen zuführen kann, sind vor Entnahmestellen von Werkstücken nach Sägen (AB) oder nach Drehen und Fräsen (CD) oder nach Verzahnen und Entgraten (EF) weiterhin sehr oft Reinigungsstationen/Waschmaschinen vorhanden. Nach dem Härten (G), das mit den anderen Prozessen nicht vergleichbar ist, müssten die Funktionsflächen geschliffen werden. Eine Wälzschleifmaschine (H) und eine Standard-Schleifmaschine (I) erscheinen hier sinnvoll. Zuletzt kommt eine fertigteil.

9.2 Vor- und Nachteile

	Vorteil	Nachteil
verzweigte Verkettungsstruktur	<ul style="list-style-type: none"> • Hohe Transportintensität • Hohe Anzahl Zielpunkte • Hohe Positioniergenauigkeit • kleinen Flächenbedarf 	<ul style="list-style-type: none"> • Lange Transportwege • Wenige Speicherung im Transportsystem • Manuelle Nachrüstung
Doppelgurtförderer	<ul style="list-style-type: none"> • Beide Transportrichtung • Hohe Anpassungsfähigkeit • Automatisierbare Übergabereiche • Hohe Erweiterungsfähigkeit 	<ul style="list-style-type: none"> • Unflexible Streckenführung • Manuelle Nachrüstung
Knickarmroboter	<ul style="list-style-type: none"> • Einsparung eines Plattenwechslers • Hohe Tragfähigkeit 	<ul style="list-style-type: none"> • großen Flächenbedarf
Lochrasteraufnahme	<ul style="list-style-type: none"> • Hohe Positioniergenauigkeit • Hohe Stückzahl 	

10 Zusammenfassung

Die Arbeit beschäftigt sich mit Dokumentation der Zusammenhänge zwischen Bearbeitungsstation und den elementaren Bausteinen des Transport-, Umschlag- und Lagerprozesses in flexiblen Fertigungssystemen für rotationssymmetrische Werkstücke sowie Charakteristik ihrer jeweiligen Besonderheiten.

Im ersten Teil der Arbeit wurden die verschiedenen Werkzeugmaschinen zur Sspanabhebung vorgestellt. Außerdem wurde die entwickelte Situation der Fertigungssystemauslegung präsentiert.

In einem weiteren Teil der Arbeit wurden die Spannmöglichkeiten und Schnittstellen für Werkzeug- und Werkstückspannmittel dargestellt.

Prozesstechnische und Organisatorische Besonderheiten der Fertigungsabläufe wurden für das gewählte Beispiel analysiert. Besonderes über Transport-, Umschlag- und Lagerungshilfsmittel wurde in der Arbeit geschrieben. Bei diesem Teil kann man die praktische Erfahrung, die durch ein Betriebspraktikum gesammelt wurde, mit den theoretischen Kenntnissen verbinden.

Im Rahmen der Bachelorarbeit wurden die Fertigungsverfahren von rotationssymmetrischen Werkstücken beschrieben, am Beispiel der Herstellung von einer Ritzelwelle ausgelegt sowie dazugehörige maschinenbautechnische und organisatorische Gegebenheiten aufgezeigt und deren Verkettung in den Prozesslauf zu analysiert.

Selbständigkeitserklärung 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.

Ich erkläre hiermit weiterhin, dass die vorgelegte Arbeit zuvor weder von mir noch – soweit mir bekannt ist von einer anderen Person an dieser oder einer anderen Hochschule eingereicht wurde.

Darüber hinaus ist mir bekannt, dass die Unrichtigkeit dieser Erklärung eine Benotung der Arbeit mit der Note "nicht ausreichend" zur Folge hat und dass Verletzungen des Urheberrechts strafrechtlich verfolgt werden können.

Unterschrift: Ziyang Xia

Datum: 18.08.2015

Literaturverzeichnis

- [1] Werkzeugmaschinen - Maschinenarten und Anwendungsbereiche; Springer
- [2] Verfahren der Fertigungssteuerung; Springer
- [3] Fertigungsplanung - Planung von Aufbau und Ablauf der Fertigung; Springer
- [4] Belastungsorientierte Fertigungssteuerung - Grundlagen, Verfahrensaufbau, Realisierung; Hanser
- [5] Taschenbuch der Werkzeugmaschinen; Hanser
- [6] Fertigungsautomatisierung - Automatisierungsmittel, Gestaltung und Funktion; Vieweg
- [7] Werkzeugmaschinen - Aufbau Funktion und Anwendung von spanenden und abtragenden Werkzeugmaschinen; Springer
- [8] Fertigungssysteme; Prof. Dr.-Ing.R.Kademann
- [9] Methoden der Planung und Organisation; Prof. Dr.-Ing. habil. W. Dangelmaier
- [10] Fertigungsintegrierte Messeinrichtung zur Lageerfassung präzisionsgeschmiedeter Ritzelwellen; Leibniz Universität Hannover
- [11] Flexible Fertigungssysteme; VEB Verlag Technik Berlin

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Aufbau einer NC- Drehmaschine; Quelle: Internet

Abb. 2: Drehen - Spannbildung - Dreharten; Quelle: Werkzeugmaschinen - Maschinenarten und Anwendungsbereiche, Springer

Abb. 3: Aufbau einer Ständerbohrmaschine; Quelle: Internet

Abb. 4: Mit Bohrmaschinen durchführbare Bearbeitungsarten; Quelle: Werkzeugmaschinen - Maschinenarten und Anwendungsbereiche, Springer

Abb. 5: eine Fräsmaschine; Quelle: Internet

Abb. 6: Verschiedene Fräsverfahren; Quelle: Werkzeugmaschinen - Maschinenarten und Anwendungsbereiche, Springer

Abb. 7: eine Metallbandsägemaschine; Quelle: Internet

Abb. 8: Sägeverfahren; Quelle: Werkzeugmaschinen - Maschinenarten und Anwendungsbereiche, Springer

Abb. 9: Universal-Rundschleifmaschine; Quelle: Buderus

Abb. 10: Wirkprinzipien von Schleifmaschinen-Bauarten; Quelle: Werkzeugmaschinen - Maschinenarten und Anwendungsbereiche, Springer

Abb. 11: Ausrichten und Spannen eines Quaders;
Quelle: Fertigungsautomatisierung, Stefan Hesse

Abb. 12: Werkzeughalter: a) Flächenspann-, b) Spannzangen-, c) Hydrodehnspann-, d) Schrumf-, e) Gewindeschneidfutter, f) Aufsteckfräserdorn; Quelle: Taschenbuch der Werkzeugmaschinen, Hanser

Abb. 13: Werkstückspannmittel: a) Backenfutter, b) Spannzangenfutter, c) Spanndorn, d) Spannstock, e) Maschinenschraubstock; Quelle: Taschenbuch der Werkzeugmaschinen, Hanser

Abb. 14: Spannvorrichtungen: a) Hohenstien GmbH, Hohenstein-Ernstthal; b) Heirich Kipp Werk, Sulz am Neckar; c) Böhm, Leipzig; Quelle: Taschenbuch der Werkzeugmaschinen, Hanser

Abb. 15: HSK-Schnittstelle und -Spannsystem; Quelle: Ott-Jakob, Lengenwang

Abb. 16: a) Capto-, b) Steilkegel- und c) VDI-Schnittstelle; Quelle: Sandvik, Düsseldorf

Abb. 17: Nullpunktspannsystem; Quelle: Schunk, Lauffen am Neckar; HHW, Chemnitz

Abb. 18: Spanbildung und Spanstruktur; Quelle: Zerspanung der Eisenwerkstoffe, Stahleisen-Bücher

Abb. 19: Spanformen geordnet nach den Spanarten; Quelle: Werkzeugmaschinen Aufbau, Funktion und Anwendung vonspanenden und abtragenden Werkzeugmaschinen, Springer

Abb. 20: Gleich- und Gegenlaufräsen; Quelle: Werkzeugmaschinen Aufbau, Funktion und Anwendung vonspanenden und abtragenden Werkzeugmaschinen, Springer

Abb. 21: Durchlaufzeitabteile von Losen und Fertigungsaufträgen; Quelle: Heinemyer, IFA

Abb. 22: Zusammensetzung der Durchlaufzeit an einem Arbeitsplatz; Quelle: Heinemyer, IFA

Abb. 23: Einsatzmerkmale zur Bildung von Teileflußeinheiten

Abb. 24: Informationsfunktion von TUL-Hilfsmitteln

Abb. 25: Klassifizierung der Transporthilfsmittel für Teilefertigung

Abb. 26: Beispiel für die Ausführung von Transporthilfsmittelarten; Quelle: Flexible

Abb. 27: Vorzugslösung für Fördereinrichtung in flexible Fertigungssystemen; Quelle: Flexible Fertigungssysteme, VEB Verlag Technik Berlin

Abb. 28: Flächenportalroboter mit NC-gesteuerten Bewegungsbaugruppen; Quelle: Flexible Fertigungssysteme, VEB Verlag Technik Berlin

Abb. 29: Bereitstellereinrichtung für Fertigungsplätze spezielles TUL-Hilfsmittel; 0, 1, 2, 3, 4 Nenngrößen nach Standard; Quelle: Flexible Fertigungssysteme, VEB Verlag Technik Berlin

Abb. 30: Klassifizierung Speicher/Lagerungseinrichtung für Teilflußsysteme 2. Ordnung; Quelle: Flexible Fertigungssysteme, VEB Verlag Technik Berlin

Abb. 31: Sich ergänzende und sich ersetzende Maschinen bei unterschiedlichen Fertigungsabfolgen im Mehrmaschinensystem

Abb. 32: Ritzelwelle; Quelle: Zahnradfabrik S.Liesen

Abb. 33: Prozessschritte zur Herstellung einer Ritzelwelle

Abb. 34: Verzweigte Verkettungsstruktur

Abb. 35: Doppelgurt-Förderer mit auf die Werkstückgröße einstellbarer Breite; Quelle:
MAG

Abb. 36: Werkstückhandling zur Beschickung einer Fräsmaschine mittels
Knickarmroboter; Quelle: Hermle, Kuka

Abb. 37: Lochrasteraufnahme für den Palettentransport

Abb. 38: Allegemeingültiges und vereinfachtes eindimensionales und
zweidimensionales Durchlaufelement; Quelle: Bechte/Heinemeyer/Erdlenbruch, IFA