



Bachelorarbeit

Im Studiengang Maschinenbau/Mechatronik/Physiktechnik

Thema:

Erstellung eines Konzeptes für ein automatisch arbeitendes Fertigungssystem zur Realisierung von Bohrverfahren an massiven Formteilen aus Gusswerkstoffen

Betreuer: Prof. Dr.-Ing. Rolf Kademann; Hochschule Merseburg, Fachbereich INW

Dipl.-Ing. (FH) Thomas Kirchhofer; Hochschule Merseburg, Fachbereich INW

Verfasser: Chi Wentao

E-mail: 1009072017@qq.com

Anschrift: Eberhard-Leibnitz-Straße1, Zimmer 107

Matrikelnummer: 21934

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	4
1.1 Aufgabestellung	4
1.2 Lösung der Aufgabestellung	5
2. Grundlage.....	6
2.1 Flexibles Fertigungssystem.....	6
2.1.1 Aufbau von FFS.....	6
2.1.2 Abgrenzung des Bearbeitungssystem.....	8
2.1.3 Materialflußsystem.....	9
2.1.4 Informationssystem.....	9
2.2 Bohren.....	10
2.2.1 Einführung.....	10
2.2.2 Bohrverfahren.....	11
2.2.2.1 Profilsenken.....	12
2.2.2.2 Rundbohren-Bohren ins Volle.....	13
2.2.2.3 Tiefbohren.....	15
2.2.2.4 Reiben.....	17
2.2.2.5 Gewindebohren.....	18
2.3 Werkzeugmaschinen.....	19
2.3.1 Aufbau der Werkzeugmaschinen.....	19
2.3.2 Bohrmaschinen.....	20
3. Die Lösung der technischen Einrichtungen.....	22
3.1 Säulenbohrmaschinen	22
3.2 Bohr-Bearbeitungszentren.....	26
3.3 Bohr- und Fräswerke.....	28
3.3.1 Hauptantrieb.....	31
3.4 Tiefbohrmaschinen.....	31
3.4.1 Merkmale von Standard-Tiefbohrmaschinen.....	31

3.4.2 Langbett-Tiefbohrmaschine.....	32
3.4.3 Tiefbohrmaschine für prismatische Werkstücke.....	33
3.4.4 Mehrspindlige Produktionstiefbohrmaschine.....	35
4. Auslegung und Bewertung von Lösungsvarianten.....	36
4.1 Säulenbohrmaschinen.....	36
4.2 Bohr-Bearbeitungszentren.....	37
4.3 Bohr- und Fräswerke.....	38
4.4 Tiefbohrmaschinen.....	39
4.5 Bewertungskriterien und Ergebnis.....	40
5. Beschreibung der Prozesskette von Bohrmaschine.....	40
5.1 Ausstattungen der Maschinen.....	42
5.2 Fertigungsbeispiele der Maschinen.....	42
5.3 Begründung der Wahl.....	45
6. Zusammenhang zwischen den maschinenbaulichen und organisatorischen Schnittstellen.....	46
6.1 Rohteil.....	46
6.2 Transport.....	48
6.2.1 Transportsystem.....	49
6.2.2 Transport von Fertigteilen.....	49
6.3 Handhabung.....	49
6.3.1 CNC-Steuerungen.....	50
6.4 Kühlsystem.....	51
7. Zusammenfassung.....	54

1. Einleitung

Die Forschungsarbeiten im Betrieb der Fertigung sind schon seit Jahren auf die Weiterentwicklung der Produktionsanlagen, der Herstellungsverfahren und der Betriebsorganisation ausgerichtet. Verfolgte Zielstellung sind dabei, die Produktqualität sowie die Flexibilität der Produktion zu verbessern. Die Produktion eines Unternehmens ordnet sich in die Marktsituation ein. So stellt die Flexibilität einen entscheidenden Wettbewerbsfaktor dar.

In diesem Zusammenhang zeigt sich der Einfluß der Automatisierungstechnik als ein Schwerpunkt im Sinne zukunftsorientierter Produktionssysteme. Die Funktionsfähigkeit, Verfügbarkeit und Anpassungsfähigkeit einer automatisch betriebenen Fertigungsanlage hängen deutlich vom vorausgegangenen Planungsprozeß ab. Trotz der immer kürzer werdenden Produktlebenszyklen von einer Produktidee bis zur Produktion und der Ablösung bisheriger Produkte durch veränderte Produkte muss eine Fertigungsanlage an sich verändernde Bedingungen anpassbar sein. Sie kann aufgrund des hohen Investitions- und Zeitaufwandes nicht ständig erneuert werden. Der Produktionsfaktor Zeit steht somit sowohl bei der Markteinführung neuer Produkte und der damit verbundenen Anlagenanpassung als auch beim laufenden Betrieb durch Verkürzung der Durchlaufzeiten im Vordergrund.

1.1 Aufgabestellung

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 der Fertigungslösungen durch automatisches Boren unter Beachtung der Prozessabläufe, der einsetzbaren Materialien, Werkzeuge und der möglichen Anlagentechniken sowie erforderlichen Hilfseinrichtungen.
2. Dokumentation der vorhandenen Lösungen für die o. g. technischen Einrichtungen in derartigen Prozessen
3. Auslegung und Bewertung von allgemeinen Lösungsvarianten für das Koppeln der genannten Fertigungsverfahren
4. Beschreibung einer möglichen Lösung an einem selbst gewählten Beispierteil (mit Begründung)
5. Darstellung des Zusammenhangs zwischen den maschinenbaulichen und organisatorischen Schnittstellen Materialfluss (Ausgangsteil, Fertigteil, Werkzeuge), Transport und Handhabung sowie Ver- und Entsorgung der einzelnen Elemente für die Vorzugsvariante gemäß Abschnitt 4

2.Grundlage

2.1 Flexibles Fertigungssystem

2.1.1 Aufbau von FFS

Nach der Definition von Dolezalek versteht man unter einem Flexiblen Fertigungssystem “eine Reihe von Fertigungseinrichtungen, die über ein gemeinsames Steuer- und Transportsystem so miteinander verknüpft sind, daß einerseits eine automatische Fertigung stattfinden kann, andererseits innerhalb eines gegebenen Bereichs unterschiedliche Bearbeitungsaufgaben durchgeführt werden können”.^[1]

Flexible Fertigungssysteme verknüpfen damit die hohe Flexibilität manueller, nach dem Verrichtungs- oder Werstättenprinzip aufgebauter Fertigungen mit der hohen Produktivität von Fertigungen, die nach dem Fließprinzip arbeiten. Typische Vertreter der Fließfertigung sind Transferstraßen, in denen Liege-, Rüst- und Nebenzeiten durch eine starre Materialflußverkettung, vorgegebene Taktzeiten und optimierte hochautomatisierte Bearbeitungsprozesse minimiert sind. Die Flexibilität solcher Anlagen ist sehr gering, da Änderungen unmittelbaren Einfluß auf die vor- und nachgeschalteten Bearbeitungs- und Transportvorgänge haben.^[1]

In FFS müssen somit ein- und mehrstufige Bearbeitungen ausgeführt werden können. Wesentliche Charakteristika Flexibler Fertigungssysteme sind die wahlfreie Verkettung der Bearbeitungsstationen untereinander, die sogenannte Außenverkettung, bezüglich des Werkstückflusses, eine umfassende Werkstück- und Werkzeuglogistik sowie eine rechnergestützte Steuerung aller Komponenten und Vorgänge im System.^[1]

FFS werden nach REFA aufbauorganisatorisch in die Subsysteme

- Bearbeitungssystem,
- Materialflußsystem,
- Informationssystem

gegliedert.

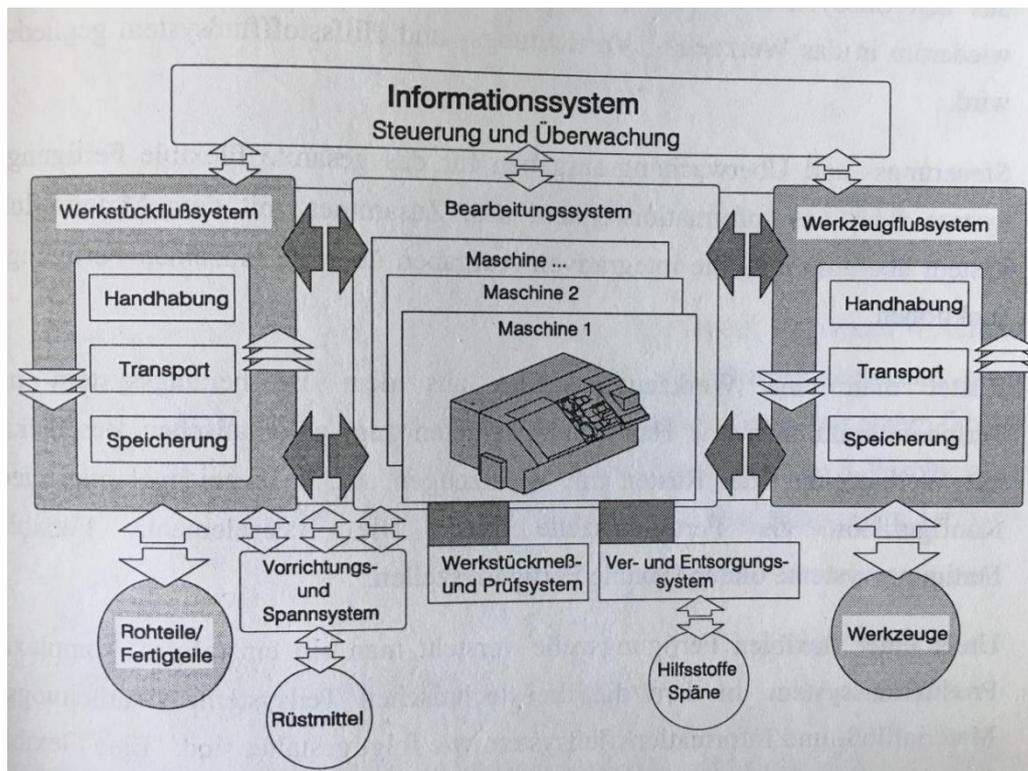


Bild 1: Komponenten eines Flexiblen Fertigungssystems nach [1]

Wirkzusammenhang und Schnittstellen der genannten Subsysteme sind in Bild 1 gezeigt. Kern eines Flexiblen Fertigungssystems ist das Bearbeitungssystem. Die Summe der die Bearbeitungsprozesse ausführenden Fertigungseinrichtungen bildet das Bearbeitungssystem. Dem Bearbeitungssystem wird auch das Werkstückmeß- und Prüfsystem zugeordnet.[1]

2.1.2 Abgrenzung des Bearbeitungssystem

Unter dem Bearbeitungssystem versteht man jenes Subsystem eines Flexiblen

Fertigungssystems, das von den die Bearbeitungsprozesse ausführenden Werkzeugmaschinen gebildet wird. Eingesetzt werden hierzu nahezu ausschließlich CNC gesteuerte Werkzeugmaschinen. Bei der Planung von FFS ist die genaue Kenntnis des zu fertigenden Werkstückspektrums notwendig, da diese von zentraler Bedeutung für die Anpassung des Maschinenumfeldes an das für die Durchführung der Fertigungsaufgaben erforderliche Bearbeitungssystem ist.^[1]

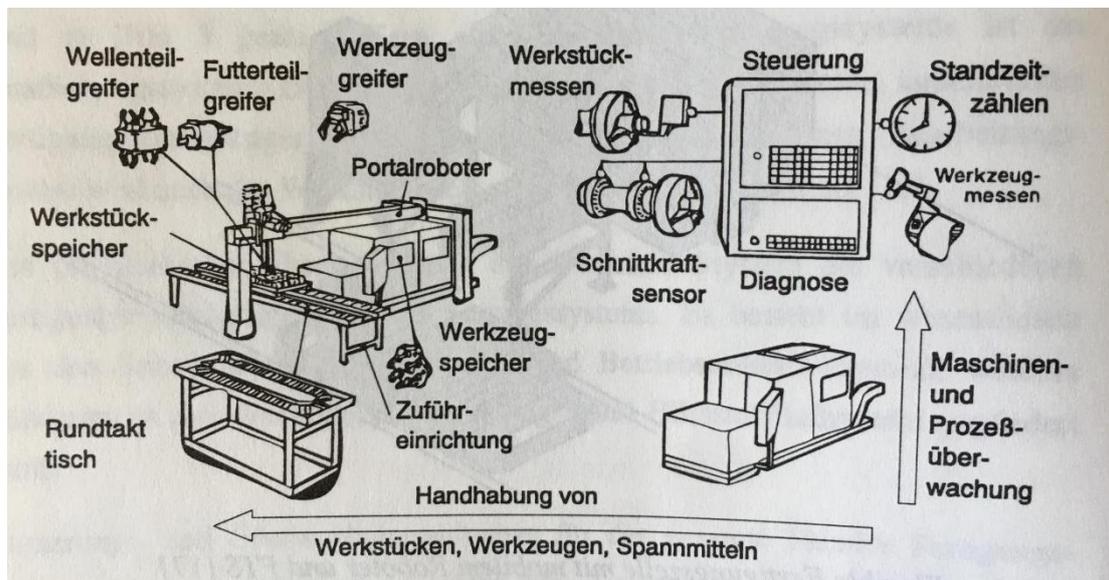


Bild 2: Automatisierung von Werkzeugmaschinen ^[1]

Kern des Bearbeitungssystems ist die Fertigungszelle. Bild 2 zeigt, wie man durch Konfiguration von Peripheriegerät aus einer Werkzeugmaschine in Grundausführung eine Fertigungszelle aufbaut. Dazu wird der Automatisierungsgrad der Bearbeitungsmaschine sukzessive angehoben. Dabei sind zwei Richtungen erkennbar:

- Maschinen- und Prozessüberwachung,
- Handhabungsautomatisierung.

2.1.3 Materialflußsystem

Im Rahmen der Aufbauorganisation eines Flexiblen Fertigungssystems übernimmt das Materialflußsystem den Bereich der physikalischen Verkettung der Zellen. Unter dem Materialflußsystem versteht VDI 2860 alle Einrichtungen, die für eine bedarfsgerechte Ver- und Entsorgung aller Betriebsmittel mit Werkstücken, Werkzeugen, Vorrichtungen, Meßmitteln und Hilfsstoffen erforderlich sind.^[1]

Hauptelemente des Stoffflusses(Bild 3) in einem Flexiblen Fertigungssystem sind die Werkstücke in ihren verschiedenen Fertigungszuständen und die Werkzeuge.

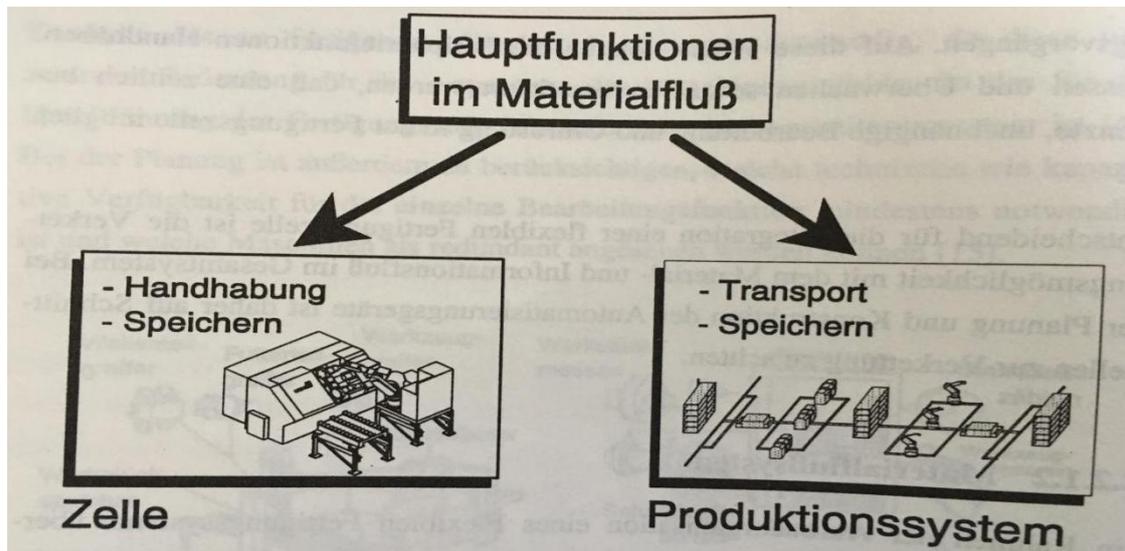


Bild 3: Strukturierung der Hauptfunktionen im Materialfluß von FFS^[1]

Die Strukturierung der Hauptfunktionen des Materialflusses in FFS zeigt Bild 6. Im Detail betrachtet läuft ein Transportvorgang für ein Werkstück folgendermaßen ab: Zunächst wird das Teil aus der Maschine entnommen und auf eine Transportvorrichtung abgelegt werden.^[1]

2.1.4 Informationssystem

Zur Koordination der in den vorangegangenen Abschnitten beschriebenen Fertigungs- und Hilfsfunktionen ist ein leistungsfähiges Informationsverarbeitungssystem erforderlich. Die Anforderungen an den Informationsfluß

werden durch die Forderung nach einem erhöhten Flexibilitätsgrad noch weiter gesteigert.^[1]

Um die Vorgänge in einem komplexen Fertigungssystem koordinieren zu können, bedarf es eines hierarchisch gegliederten Steuerungssystems(Bild 4).

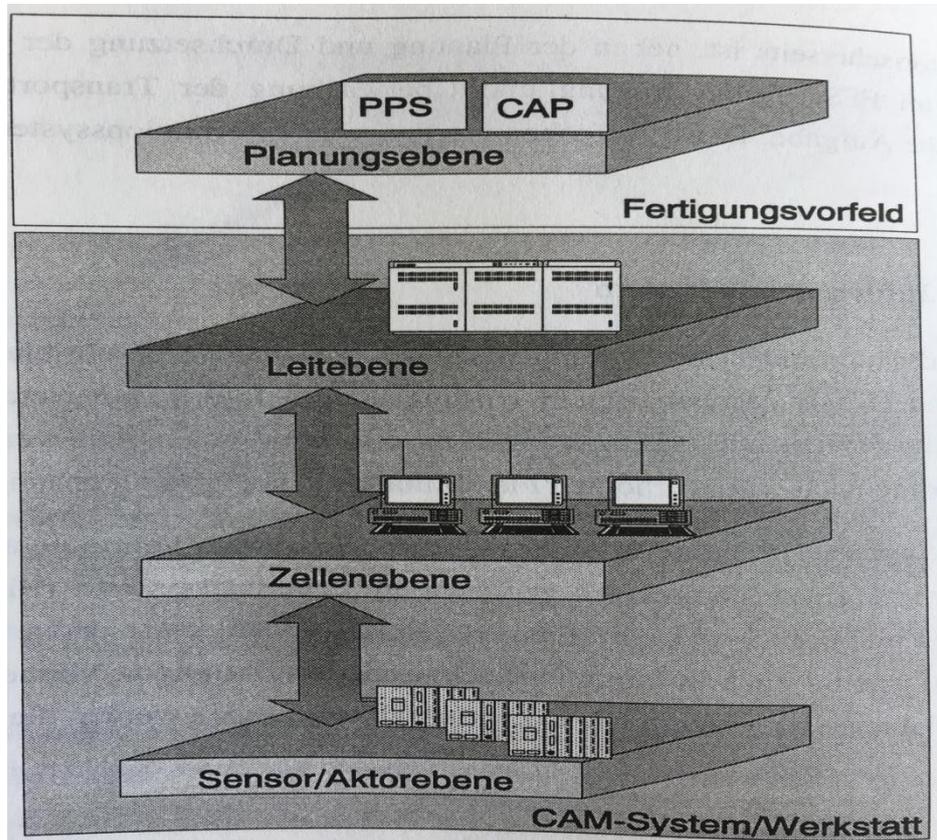


Bild 4: Hierarchieebenen der Informationsverarbeitung in der Flexiblen Fertigung nach^[1]

2.2 Bohren

2.2.1 Einführung

Bohren ist Spanen mit Kreisförmiger Schnittbewegung, bei dem die Drehachse des Werkzeugs und die Achse der zu erzeugenden Innenfläche identisch sind und die Vorschubbewegung im Vergleich zum Innendrehen nur in Richtung dieser Drehachse verlaufen darf.^[1]

Senken ist Bohren zum Erzeugen von senkrecht zur Drehachse liegenden Planflächen oder symmetrisch zur Drehachse liegenden Kegelflächen bei

meist gleichzeitigem Erzeugen von zylindrischen Innenflächen.

Reiben ist ein Aufbohren zwecks Erhöhung der Oberflächengüte bei geringen Spanungsdicken.^[1]

2.2.2 Bohrverfahren

Die Einteilung der Bohrverfahren nach DIN 8589, Teil 2, zeigt Abb. 5. Unter Plansenken versteht man Senken zur Erzeugung von senkrecht zur Drehachse der Schnittbewegung liegenden ebenen Flächen. Es kann zwischen dem Planansenken und dem Paneinsenken unterschieden werden.^[2]

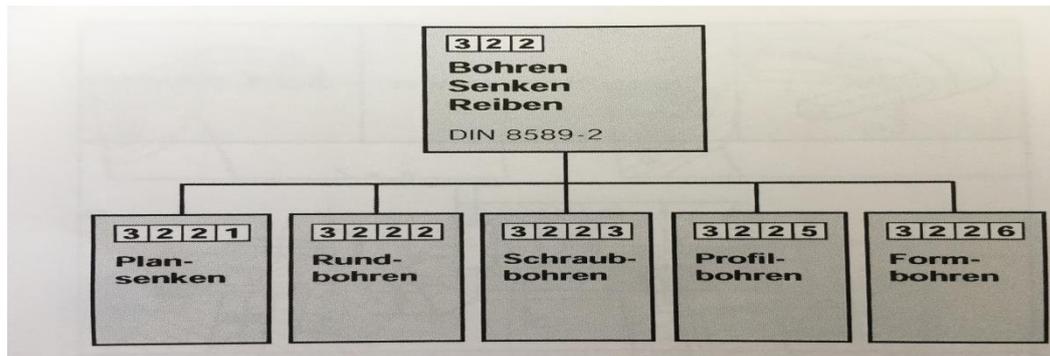


Abbildung 5: Einteilung der Bohrverfahren (nach DIN 8589-2)

Mit Bohren wird das spanende Verfahren mit rotatorischer Hauptbewegung bezeichnet, bei denen das Werkzeug nur eine Vorschubbewegung in Richtung der Werkzeughauptachse erlaubt. Die wesentlichen Verfahrensvarianten zeigt Abb. 6 zusammen mit den jeweils üblichen Bewegungsrichtungen [DIN 8589b]. Besonderheiten bei der Bohrbearbeitung sind:

- die bis auf Null abfallende Schnittgeschwindigkeit zur Bohrermitte,
- der schwierige Abtransport der Späne,
- die ungünstige Wärmeverteilung an der Wirkstelle,
- der erhöhte Verschleiß an den scharfkantigen Schneidenecken und
- das Reiben der Führungsfasen an der Bohrungswand.^[2]

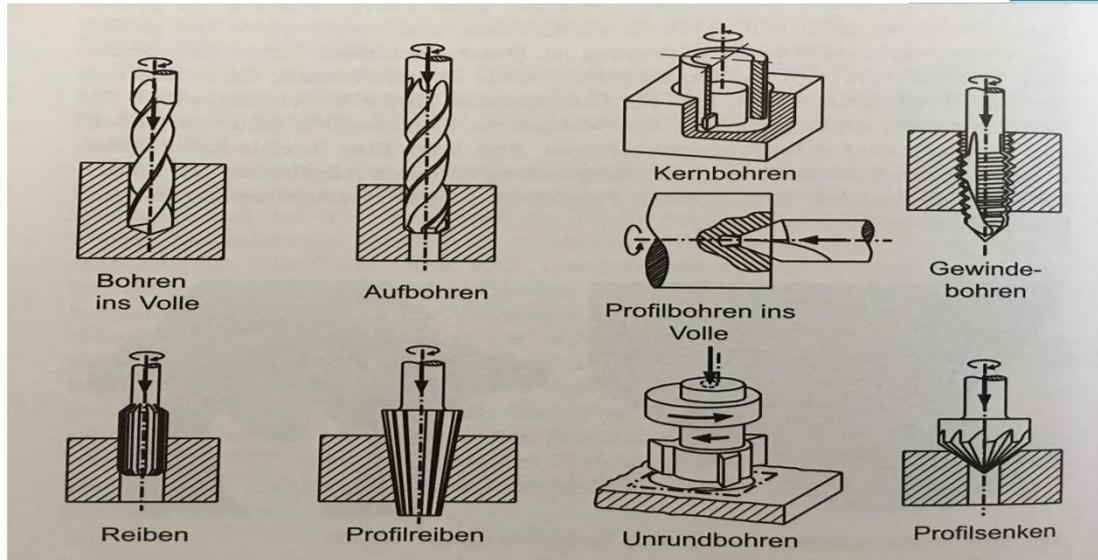


Abbildung 6: Verfahrensvarianten beim Bohren, nach DIN 8589-2^[2]

2.2.2.1 Profilsenken

Das Bearbeitungsverfahren Senken unterscheidet sich vom Bohren im Wesentlichen dadurch, dass nicht ins volle Material gebohrt wird, sondern vielmehr ein vorbereitetes Loch, das z.B. gebohrt oder gestanzt wurde, auf Unter- oder Fertigungsmaß gesenkt wird.^[2]

Es werden zwei Verfahrensvarianten nach DIN 8589-2 unterschieden:

- Planansenzen
- Planeinsenzen

Beim Planansenzen wird eine am Werkstück hervorstehende, senkrecht zur Drehachse der Schnittbewegung liegende ebene Fläche erzeugt. Das Planeinsenzen dient aber zur Erzeugung einer am Werkstück vertieften, senkrecht zur Drehachse der Schnittbewegung liegenden ebenen Fläche. Hierbei entsteht gleichzeitig eine kreiszylindrische Innenfläche. Zum Planeinsenzen vorgegossener oder vorgebohrter Bohrungen dienen überwiegend Wendelsenker(Dreischneider). Im Vergleich zum Wendelbohrer gibt die dreischneidige, schraubengewundene Ausführung dem Wendelsenker eine wesentlich höhere Steifigkeit und führt damit zu einer weit höheren Arbeitsgenauigkeit.^[2]

Die Automatisierung in der Fertigung setzt oft den Einsatz von Werkzeugen voraus, die einer speziellen Bearbeitungsaufgabe angepasst sind. Diese sogenannten Sonderwerkzeuge, zu denen der Formsenker in Abb. 7 gehört, verkürzen die Fertigungszeiten z.T. ganz erheblich, da mehrere Arbeitsgänge in einem Spindelhub zusammengefasst werden können. So ist es in der Großserienfertigung, für eine Schraubverbindung üblich, mit einem Formwerkzeug eine Durchgangsbohrung zu bohren, danach den Zylinder für den Kopf einer Innensechskantschraube zu senken und anschließend den Bohrungsrand anzufasen.^[2]

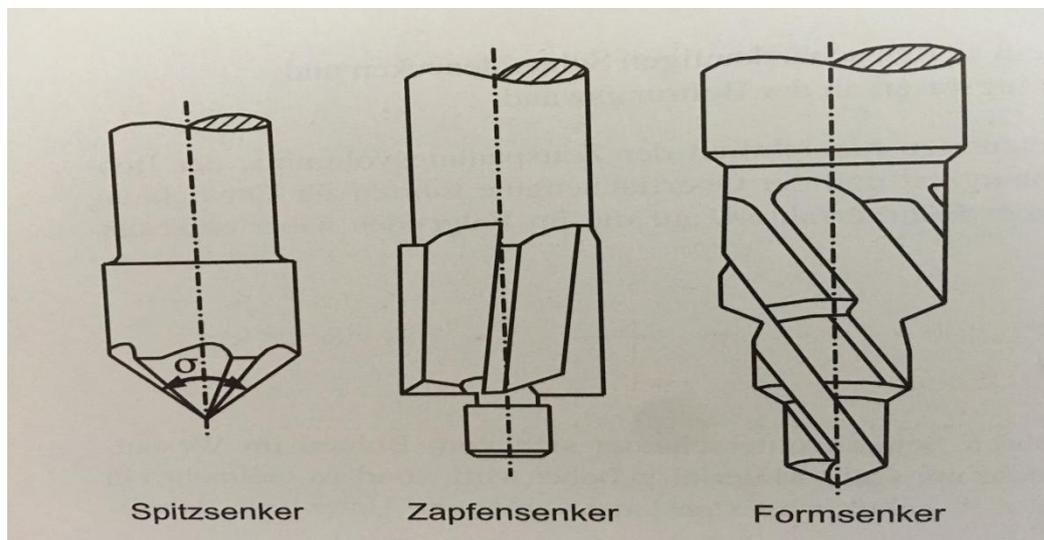


Abbildung 7: Senkwerkzeug ^[2]

2.2.2.2 Rundbohren-Bohren ins Volle

Dem Wendelbohrer kommt unter den Bohrwerkzeugen die größte Bedeutung zu, denn er gibt als wichtigstes Werkzeug zum Herstellen zylindrischer Bohrungen aus dem Vollen oder zum Vergrößern eines vorgegebenen Bohrungsdurchmessers beim Ausbohren. Sein Anteil an der spanenden Fertigung wird auf 20%-25% geschätzt, und er ist heute das in den größten Stückzahlen erzeugte und am weitesten verbreitete spanende Werkzeug.^[2]

Vereinfacht setzt sich der Wendelbohrer aus Schaft und Schneidteil zusammen, vgl. Abbildung 8. Erst eine genauere Betrachtung zeigt die komplexe geometrische Gestaltung, insbesondere der Bohrerspitze.^[2]

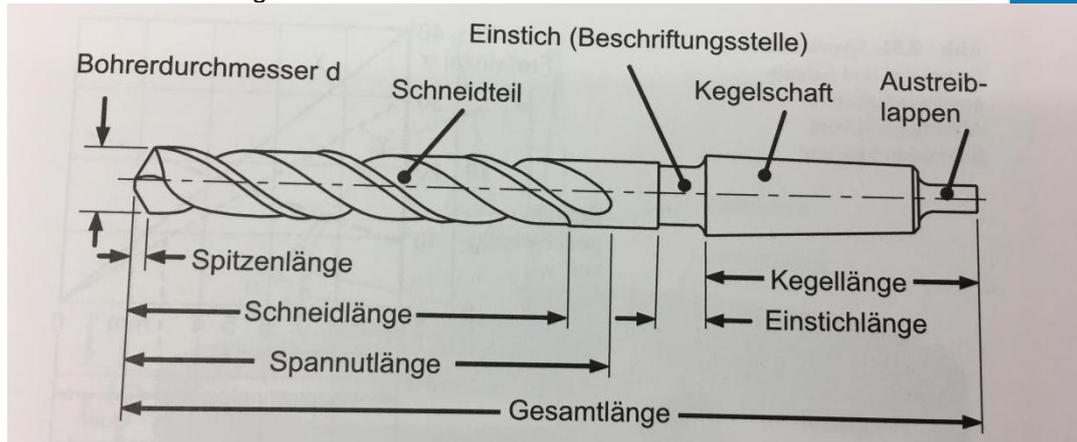


Abbildung 8: Wendelbohrer mit Kegelschaft, nach DIN 1412^[2]

Abbildung 9 zeigt die Schneidteilgeometrie eines Wendelbohrers. Da laut Definition die Hauptschneiden in Vorschubrichtung weisen, ist auch die Querschneide Bestandteil der Hauptschneide, obwohl sie auf Grund ihres stark negativen Spanwinkels kaum schneidet, sondern vielmehr den Werkstoff plastisch verformt und zu den Hauptschneiden drängt.^[2]

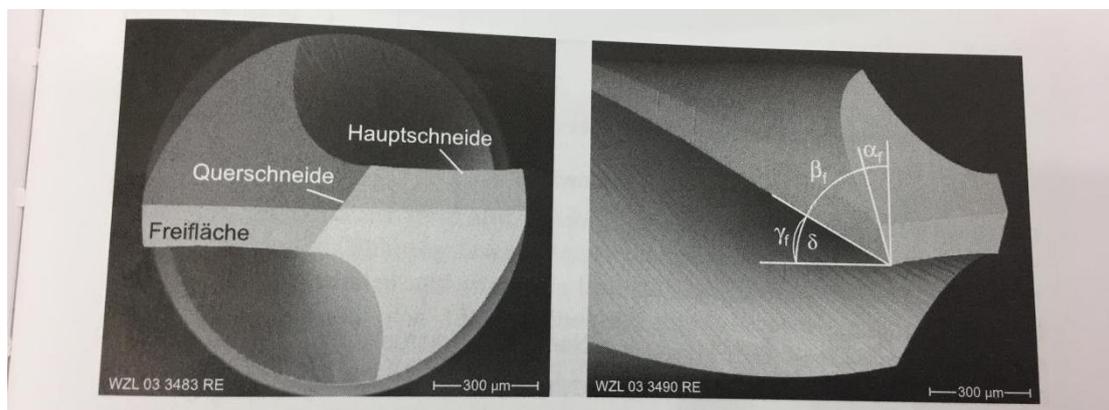


Abbildung 9: Geometrie am Schneidteil eines Wendelbohrers^[2]

Durch das Zusammenwirken von Schnittbewegung (Rotation) und Vorschubbewegung bewegt sich die Werkzeugschneide entlang einer Schraubenlinie. Unter Berücksichtigung der Schnittbedingungen (Wirkgeschwindigkeit) ist der Freiwinkel so auszulegen, dass der effektive Freiwinkel positiv ist. Damit wird ein "Drücken" oder "Aufsitzen" des Bohrwerkzeuges vermieden. Eine obere Grenze des Freiwinkels ist jedoch durch die Schwächung des Schneidteils und die Neigung zum Rattern gegeben.^[2]

2.2.2.3 Tiefbohren

Tiefbohren ist ein spanabhebendes Verfahren zur Herstellung bzw. Bearbeitung von Bohrungen. Tiefbohrung sind Bohrungen mit einem Durchmesser zwischen ca. 1-1500 mm und einer Bohrtiefe ab ca. dreifachem Durchmessermaß. Eine generelle Abgrenzung des Tiefbohrens gegenüber anderen "konventionellen" Bohrtechniken durch z.B. eine allgemein gültige Definition ist nicht möglich. Mit allen Tiefbohrverfahren kann ein sehr großes Verhältnis von Bohrtiefe zu Durchmesser erreicht werden. Die weiteren Vorteile des Tieflochbohrens gegenüber herkömmlichem Bohren mit Spiralbohrern liegen vor allem in der höheren Qualität der Bohrungen und der ausgezeichneten Wirtschaftlichkeit.^[2]

Vom herkömmlichen Bohren unterscheidet sich das Tiefbohren außer durch eine unsymmetrische Schneidenanordnung am Werkzeug dadurch, dass das Kühlschmiermittel unter Druck direkt zu den Schneiden geführt wird, und dass seine Spülwirkung den alleinigen Transportmechanismus für die anfallenden Späne darstellt. Der Schneidteil besteht aus Hartmetall, so dass hohe Schnittgeschwindigkeiten erreicht werden können, die wiederum eine Erhöhung des Zeitspannungsvolumens ermöglichen. Zur industriellen Fertigung tiefer Bohrungen werden die folgenden drei Verfahrensarten verwendet:^[2]

- Einlippenbohrverfahren (ELB-Verfahren),
- BTA-Bohrverfahren,
- Ejektor-Bohrverfahren.

Das Einlippenbohrverfahren wird im Durchmesserbereich von ca. 0,8-40 mm eingesetzt. Abbildung 10 zeigt die wesentlichen Merkmale dieses Verfahrens. Beim Einlippenbohrverfahren ist als charakteristisches Merkmal und Hauptvorteil zu nennen, dass bei den Tiefbohrwerkzeugen die Kühlmittelzufuhr durch eine oder mehrere Bohrungen innerhalb des

Werkzeuge und die sichere Abführung des KSS-Spänegemischs durch eine Längsnut (Sicke) am äußeren Werkzeugschaft erfolgt.^[2]

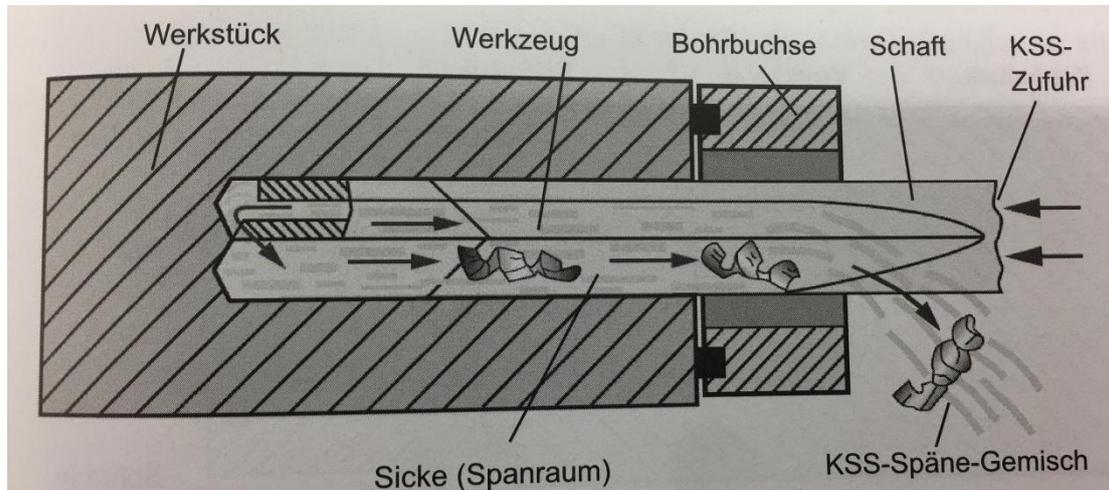


Abbildung 10: ELB-Verfahren für Durchmesser von 0,8-40mm

[2]

Das BTA-Verfahren (Bohring and Trepanning Association - BTA) wurde Ende der 1930er Jahre erfunden, um das Kratzen der Späne beim Transport an der Bohrlochwand und die daraus resultierende Beeinträchtigung der Oberflächengüte zu vermeiden. Der Versuch, die Spannuten des Einlippenbohrers nach außen hin abzudecken, hatte jedoch eine starke Verminderung des zur Verfügung stehenden Spanraums zur Folge, was wiederum die Zeitspannungsvolumina begrenzt. Die Lösung wurde schließlich von der "Bohring and Trepanning Association" gefunden, die die Verfahrenscharakteristik des Einlippenbohrens umkehrte und das Kühlschmiermittel von außen durch den ringförmigen Spalt zwischen Bohrröhr und Wandung zuführte (vgl. Abbildung 11). Der Rückfluss erfolgt zusammen mit den Spänen durch das Spanmaul und das Bohrröhr, dessen Durchmesser nicht unter 6mm betragen sollte. Der obere Durchmesser liegt für vollbohrwerkzeuge bei ca. 300mm und für Aufbohrwerkzeuge bei ca. 1000 mm, wobei diese Grenzen maßgeblich von der verfügbaren Maschinenleistung abhängen.^[2]

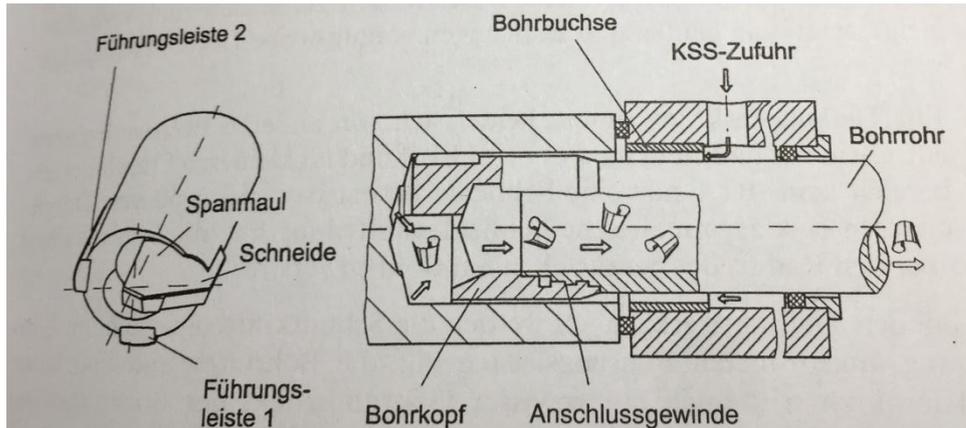


Abb. 11 BTA-Verfahren für Durchmesser von 6-300 mm^[2]

Die Einsatzgrenzen der Tiefbohrverfahren werden im Wesentlichen von folgenden Faktoren bestimmt:

- Zerspanbarkeit des Werkstoffs,
- Stabilität des Werkzeug und der Maschine,
- Genauigkeit der Maschine,
- Zusammensetzung des Kühlschmiermittels und
- Schneidstoff

2.2.2.4 Reiben

Reiben zählt zu den Feinbearbeitungsverfahren und dient zur Verbesserung der Bohrungsqualität, wobei Lage- und Formfehler nicht beeinflusst werden können. Bezüglich der Kinematik entspricht das Reiben dem Aufbohren mit geringer Spanndicke, vgl. Abb. 12.^[2]

Die Schneiden der mehrschneidigen Reibahlen können achsparallel oder auf einer Schraubenlinie angeordnet sein. Bohrungen mit Nut werden mit gedrehten Werkzeugen gerieben, um einen Eingriffsstoß der Schneide zu vermeiden.^[2]



Abb. 12 Reibwerkzeuge, nach DIN 8589-2^[3]

2.2.2.5 Gewindebohren

Gewindebohren ist Aufbohren zur Erzeugung eines Innengewindes, da koaxial zur Drehachse der Schnittbewegung liegt, vgl. Abb.13



Abb 13. Gewindebohrer^[4]

Gewindebohrer bestehen aus einem Schaft und einem Gewindeteil. Beim Gewindeteil ist zwischen dem Schneidteil, an dem die Zerspaltung stattfindet und dem Führungsteil, der für eine stabile Lage des Werkzeugs sorgt, zu unterscheiden. Gewindebohrer für Durchgangsbohrungen haben einen Anschnitt, der eine gute Führung des Werkzeugs gewährleistet.^[2]

2.3 Werkzeugmaschinen

2.3.1 Aufbau der Werkzeugmaschinen

Eine Werkzeugmaschine ist eine Arbeitsmaschine, die ein Werkzeug an einem Werkstück unter gegenseitiger bestimmter Führung zur Wirkung bringt.

Werkzeugmaschinen können auch als technische Systeme definiert werden, die aus Rohteilen durch Anwendung der Fertigungsverfahren Fertigteile herstellen. Wie bei allen technischen Systemen werden die drei Grundgrößen Energie, Material und Information im System gewandelt. Die Werkzeugmaschinen sind Mittel zu Zweck in der Produktion und realisieren damit die Kernprozesse der Fertigung. Die sich daraus ergebenden Herausforderungen für die Entwickler und Anwender von Werkzeugmaschinen sind Anlass, sich ständig mit neuerten Techniken auseinander zu setzen.^[5]

Die vielfältigen Aufgabenstellungen entsprechend, hat sich ein breites Spektrum von Werkzeugmaschinen entwickelt. Für die Erstellung einer Gliederung der Werkzeugmaschinen bestand die Notwendigkeit, die historisch gewachsenen Bezeichnungen zu systematisieren und begrifflich eindeutig festzulegen. Die Aufgabe einer Werkzeugmaschine ist die Erzeugung eines gebrauchsfähigen (d.h. alle Spezifikationen eingehenden) Werkstücks unter möglichst geringem Kostenaufwand. Demzufolge ist das letztlich entscheidende Kriterium bei der Beurteilung einer Maschine die Gesamtkosten pro gefertigtem verwendbarem Werkstück. Dies bedeutet, dass sich höhere Anschaffungskosten für Maschine oder Betriebsmittel durchaus rechtfertigen lassen, wenn sie durch höhere Produktivität, geringere Aufwendungen oder größere Prozesssicherheit letztlich zu geringeren Stückkosten führen.^[5]

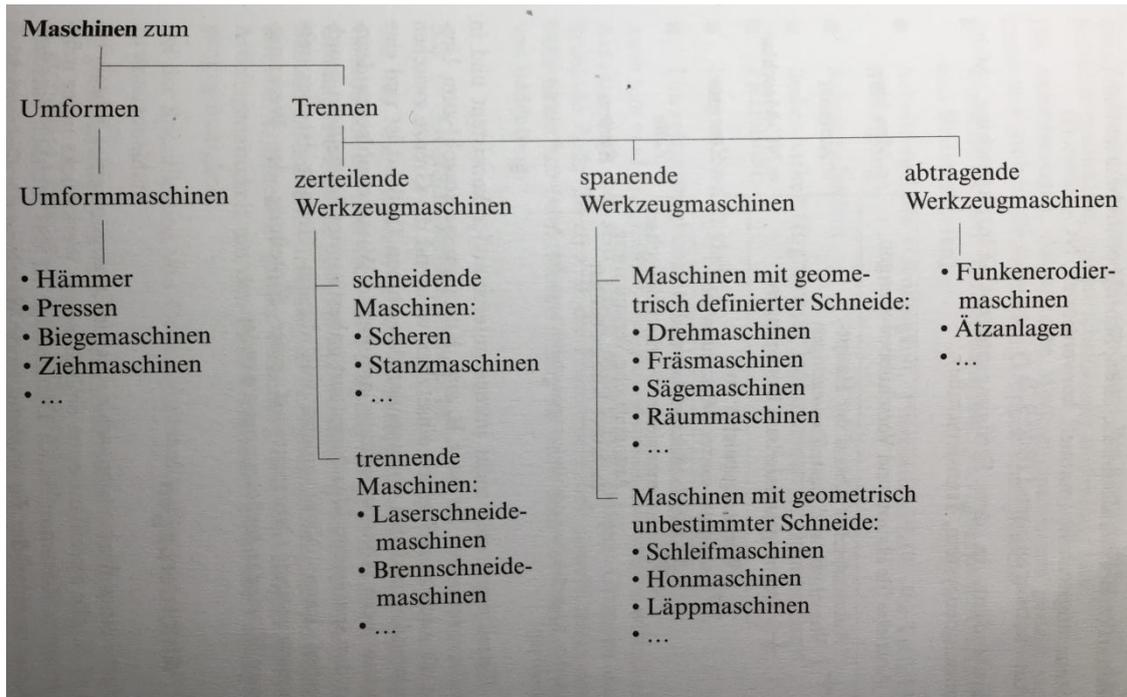


Abb. 14 Klassifizierung von Werkzeugmaschinen
nach den Fertigungsverfahren^[5]

Diese Einteilung ist nicht immer untereinander konsistent und in sich widerspruchsfrei. So ist z.B. eine Kurbelpresse sowohl zum Umformen als auch zum Stanzen einsetzbar, während die Grenze zwischen den trennenden und den Abtragenden Maschinen fließend ist und eine mit Zusatz eines Abrasivmedium arbeitende Wasserstrahlschneideanlage gar den spanenden Maschinen mit unbestimmter Schneide zugeordnet werden kann. Nicht zuletzt aus diesem Grunde ist der rein verfahrensorientierte Normentwurf einer Einteilung der Werkzeugmaschinen wieder zurückgezogen worden.^[5]

2.3.2 Bohrmaschinen

Beim Bohren ergibt sich die Spanbildung durch eine rotatorische Schnittbewegung des Werkzeugs. Die Vorschubbewegung erfolgt entweder durch das Werkstück oder durch das Werkzeug in Richtung der Drehachse des Werkzeugs. Bohrmaschinen sind Werkzeugmaschinen für die Herstellung von kreisrunden Aussparungen in Werkstücken. Die Schnittbewegung und die

Vorschubbewegung werden je nach Verfahren dem Werkzeug oder dem Werkstück zuordnet.^[5]

Auf einem Koordinaten-Maschinentisch wird das zu bearbeitende Werkstück aufgespannt und in den Achsen X und Y unter der Bohr- und Frässpindel bewegt und positioniert. Die Bewegung des Werkzeuges erfolgt nur in der Z-Achse.^[5]

Bild 15 zeigt ein Bearbeitungszentrum in Kreuztischbauweise mit Verfahrenswegen: $X=1200\text{mm}$, $Y=600\text{mm}$, $Z=800/1000\text{mm}$. Als Werkzeugspeicher ist ein Tellermagazin zur Aufnahme von 24 Werkzeugen vorgesehen mit Doppelgreifer für den Werkzeugwechsel. Ein bewegliches Bedienteil enthält die CNC-Steuerung.^[5]



Abb. 15 Bearbeitungszentrum CS1200(ALZMETALL, Altenmarkt)^[5]

Der Vorteile bei Kreuztischmaschinen liegt in den möglichen großen Z-Achsenwegen, die mit geringen Kostenaufwand flexibel erweiterbar sind. Außerdem ist die Werkstück- und Vorrichtungsmasse mit einem Koordinatentisch kostengünstiger zu bewegen als die Masse von hohen Maschinenständern.^[5]

3. Die Lösung der technischen Einrichtungen

Um der Form, Größe, Stückzahl und Qualität der herzustellenden Bohrungen gerecht zu werden, sind Bohrmaschinen in vielfältigen Ausführungsarten entwickelt worden. Die am häufigsten auftretenden Bauformen sind:^[6]

1. Handbohrmaschinen für die Herstellung kleinerer Bohrungen an Sperringen oder ortsfesten Maschinenteilen, meistens bei Montagevorgängen.
2. Ortsfeste Bohrmaschinen
 - a) Senkrecht-Bohrmaschinen (Spindelachse senkrecht) als Tisch-, Säulen- und Auslegerbohrmaschinen
 - b) Bohr-Bearbeitungszentren
 - c) Bohr- und Fräswerke^[6]

3.1 Säulenbohrmaschinen

Säulenbohrmaschinen werden für Bohrdurchmesser von ca. 10-15 mm gebaut. Die Angabe der max. Bohrdurchmesser bezieht sich immer auf das Bohren ins Volle in Stahl St 60.^[6]

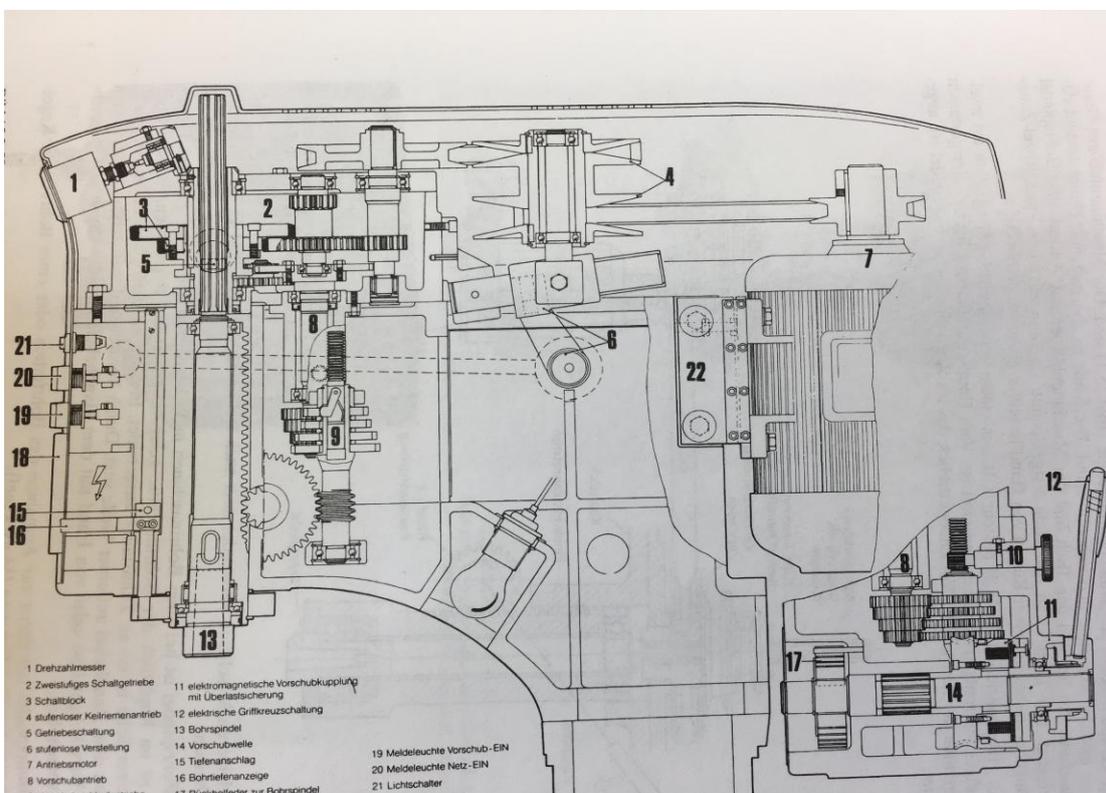
Die Hauptelemente der Säulenbohrmaschine (Abb. 16) sind: Der Maschinenfuß aus Grauguss gibt der Maschine den sicheren Stand. Die Säule ist das tragende Hauptelement der Maschine. An ihr sind der Tisch und der Maschinenkörper mit Antrieb und Bohrspindel befestigt. Der Tisch ist an der Säule festgeklemmt. Er kann mit Hilfe eines Ritzel-Zahn-stangengetriebes mit

einer Kurbel von Hand in seiner Höhe verstellt werden.^[6]



Abb 16: Hochleistungs-Säulenbohrmaschine ^[7]

Der Hauptantrieb (Abb. 17) besteht z.B. aus einem stufenlosen Getriebe, dem ein Zweistufiges Stirnradgetriebe nachgeschaltet ist. Vom Hauptgetriebe wird bei der hier gezeigten Maschine der Antrieb des Vorschubgetriebes, das als Zieckeilgetriebe ausgebildet ist, abgeleitet.^[6]



1.Drehzahlmesser 2.Zweistufiges Schaltgetriebe 3.Schaltblock 4.stufenloser

Keilriemenantrieb 5. Getriebebeschaltung 6. stufenlose Verstellung
7. Antriebmotor 8. Vorschubantrieb 9. Vorschubziehkeilgetriebe
10. Vorschubwähler 11. elektromagnetische Vorschubkupplung mit
Überlastsicherung 12. elektrische Griffkreuzschaltung 13. Bohrspindel
14. Vorschubwelle 15. Tiefenanschlag 16. Bohrtiefenanzeige 17. Rückholfeder
zur Bohrspindel 18. Hauptschalter 19. Meldeleuchte Vorschub-EIN
20. Meldeleuchte Netz-EIN 21. Lichtschalter 22. Motoraufhängung

Abb. 17 Haupt- und Vorschubgetriebe der Säulenbohrmaschine Typ AB 45/2

(Werkbild Fa. Alzmetall, Altenmarkt)^[6]

Bei kleineren Maschinen verwendet man auch Keilriemengetriebe mit drei Stufenscheiben.

Die Bohrspindel ist bei allen Bohrmaschinen in Wälzlagern in der Pinole gelagert. Die Pinole ist im Kopfstück der Bohrmaschine gelagert. Sie ist in Längsrichtung verschiebbar. Auch einer Seite ist sie als Zahnstange ausgebildet. In diese Zahnstange greift ein Ritzel ein, das mit dem Handhebel auf einer Welle sitzt.

Durch Verdrehen des Ritzels, mechanisch mit dem Vorschubgetriebe oder von Hand mit dem Handhebel, wird die Pinole in Längsrichtung verschoben.^[6]

Die Bohrspindel hat unten zur Aufnahme des Bohrfutters oder eines Bohrers mit Kegelschaft eine kegelige Bohrung (Morsekegel)

Im oberen Teil ist die Bohrspindel als Keilwelle ausgebildet. Sie wird von einem außengelagerten Zahnrad 3 (Abb. 17), das auf einer Nabe befestigt ist, angetrieben. Durch diese Keilwelle bleibt der Kraftfluss, auch wenn die Pinole nach unten verschoben wird, erhalten.^[6]

Eine Neuentwicklung bei den Säulenbohrmaschinen ist die im Abb. 16 gezeigte CNC-Hochleistungs-Säulenbohrmaschine.

Diese mit einem Technologiереchner ausgestattete Maschine, mit der in der

Steuerung gespeicherten werkstoff- und prozessbezogenen Daten, ermittelt automatisch die optimalen Schnittbedingungen beim Bohren. Man gibt in die Steuerung nur die technologischen Werte ein wie:

- Materialart
- Bearbeitungsart (Bohren, Senken, Gewindeschneiden)
- Werkzeugdurchmesser
- Bohrtiefe (bzw. Pinolenweg)

Über die Starttaste wird dann der Bohrprozess ausgelöst.^[6]

Bohrspindelantrieb

Der Bohrspindelantrieb hat einen Regelbereich von 1: 100. Dies ermöglicht Spindeldrehzahlen von 50-5000 min⁻¹. Ein eintouriger Drehstrom-Motor treibt, über ein Riemengetriebe in Verbindung mit einem elektromagnetisch gesteuerten Schaltgetriebe, die Bohrspindel an.

Die von Technologierechner ermittelte Spindeldrehzahl wird zur Anzeige gebracht, und danach wird die Spindel automatisch auf die Sollzahl eingeregelt.^[6]

Vorschubantrieb

Auch der Vorschubantrieb ist stufenlos regelbar. Die Pinole wird von einem Vorschubmotor (Schrittmotor) über einen Kugelgewindetrieb bewegt. Ein internes Messsystem zeigt den Pinolenweg an. Durch eine Verknüpfung des Vorschubantriebs mit der Bohrspindeldrehzahl über eine "elektrische Welle" wird eine genaue Abgleichung von Bohrspindeldrehzahl und Vorschubgröße erzielt.^[6]

Bohrtiefeneinstellung

Start- und Endpunkt des Bohrvorganges werden durch Anfahen dieser Punkte in der Steuerung über Knopfdruck gespeichert. Beim Beginn des

Bohrvorganges fährt die Pinole im Eilgang bis zum Startpunkt der Bearbeitung. Ist der Endpunkt der Bohrbearbeitung erreicht, dann fährt die Pinole ebenfalls im Eilgang zum Referenzpunkt der Maschine zurück.^[6]

3.2 Bohr-Bearbeitungszentren

Das CNC-Bearbeitungszentrum BAZ 35 CNC (Abb. 18) ist eine Maschine mit hoher Zerspanungsleistung und mit Lehrenbohrwerksqualität. Sie wird deshalb für die Präzisionsbearbeitung für Werkstücke mit hohen Güteforderungen, aber auch für die allgemeine Produktion eingesetzt.^[6]



Abb.18 Bearbeitungszentrum BAZ 35 CNC

Starrständermaschine in Gussausführung mit hohen Dämpfungseigenschaften ^[8]

Bei dieser Maschine wird das Werkstück mittels integriertem Koordinatentisch in der X- und Y-Achse verfahren. Für das Werkzeug, Verfahrweg in der Z-Achse, wird eine Bohr- und Frässchlitteneinheit eingesetzt. Alle drei Achsen

sind mit wartungsfreien AC-Servomotoren und spielfrei vorgespannten Kugelgewindetrieben ausgestattet. Die Wegmessung erfolgt inkremental oder direkt über Längenmesssysteme.^[6]

Die Verfahrswege in den drei Achsen sind:

X-Achse: 600-2500 mm

Y-Achse: 400-600 mm

Z-Achse: 600-900 mm

Die Hauptspindel wird von einem hochdynamischen AC-Motor mit hoher Antriebsleistung (16-38 kW) über einen einstufigen Riementrieb angetrieben.

Der stufenlos regelbare Drehzahlbereich der Hauptspindel beträgt

30-13000 U/min

Die Maximale Drehzahl (30-13000 U/min) liegt bereits im Bereich der Hochgeschwindigkeitszerspannung.

Die Bohrleistung, bezogen auf den Werkstoff St 60 ist

mit HSS-Werkzeugen: 35 bis 45 mm Durchmesser

mit HM-Wendeschnidplatten: bis 50 mm Durchmesser

Bei einer Verfahrgeschwindigkeit von 25m/min.

Die Werkzeugspeicher sind als Teller- oder Kettenmagazine (Abb.19) mit Doppelgreifern, die das Werkzeug in die Hauptspindel einsetzen, ausgeführt. Das Tellermagazin kann 24 und das Kettenmagazin bis zu 40 Werkzeuge aufnehmen.^[6]

Während der Bohr- oder Fräsbearbeitung am Werkstück wird an den Werkzeugspeichern das Werkzeug, das als nächstes zum Einsatz kommen

soll, schon in die Wechsellage gefahren. Deshalb werden dann zum Werkzeugwechsel nur noch 1,9 Sekunden benötigt.

Die Maschinen werden mit werkstattprogrammierbaren CNC-Steuerungen der neuesten Generation in Digitalausführung von Heidenhain oder Siemens ausgerüstet.^[6]

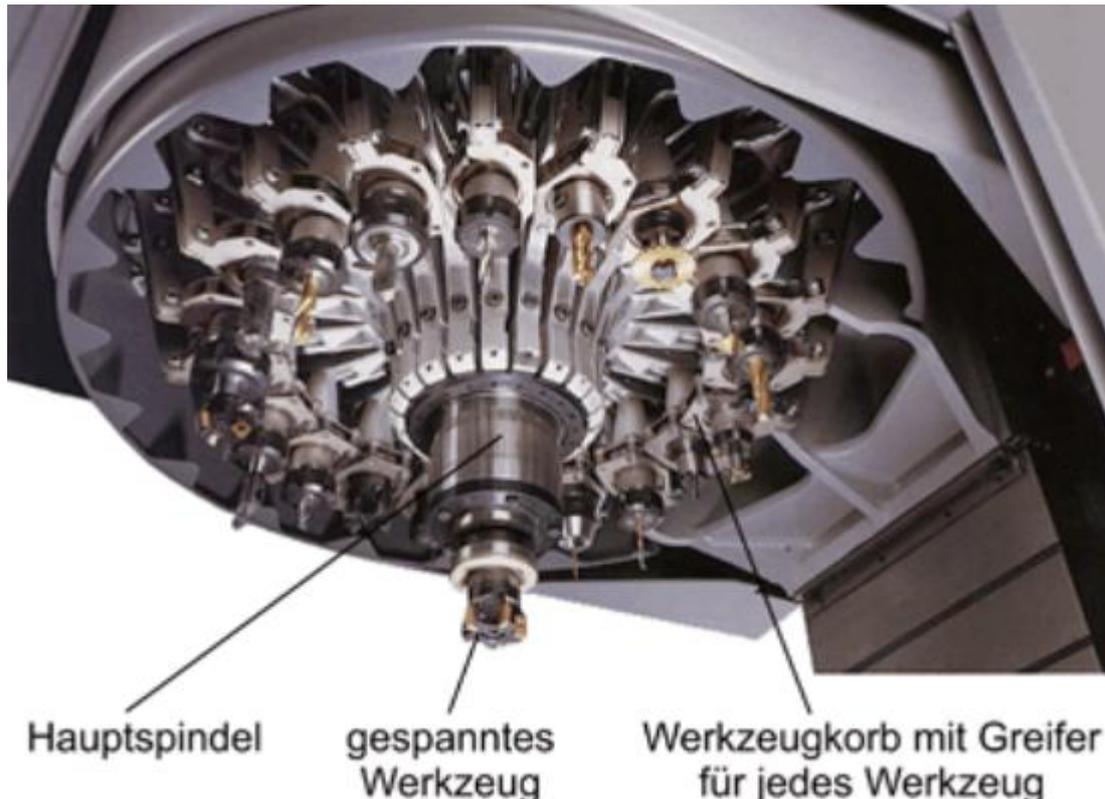


Abb. 19 Tellermagazin zur Aufnahme von 24 Werkzeugen mit Doppelreifer^[9]

Mit der vierten Achse kann z.B. ein Rundtisch zusätzlich gesteuert werden. Durch die gleichzeitige Bewegung von Rundtisch und einer Längsachse lassen sich z.B. Spiralen, Gewinde und Steuerkurven sowie Bohrungen auf unterschiedlichen Winkelschritten herstellen.^[6]

3.3 Bohr- und Fräswerke

Auf diesen Großmaschinen werden Werkstücke wie Betten, Gestelle, Getriebegehäuse usw. bearbeitet (Bohren, Senken, Drehen, Fräsen). Diese

Maschinen werden heute in zwei Versionen in Kreuzbettbauform (Abb. 20) und als Platten-Bohr- und Fräsmaschinen (Abb. 21) gebaut.^[6]



Abb. 20 Kreuzbettbauform^[10]



Abb. 21 Platten-Bohr- und Fräsmaschinen^[11]

Bei der Kreuzbettbauform (Abb. 19) sind zwei kreuzförmig angeordnete Maschinenbetten (Tischbett und Ständerbett) starr miteinander verbunden. Sie bilden eine Einheit. Das Tischbett nimmt den Maschinentisch auf, der die Werkstücklast trägt. Das Ständerbett nimmt den Ständerschleiten mit dem

Ständer und dem Spindelstock auf.^[6]

Die größten Maschinen dieser Art haben etwa folgende Kenndaten in Tabelle (1).

Die Platten-Bohr- und Fräsmaschinen (Abb. 20) sind die Giganten unter den Fräswerken. Sie werden besonders zur Bearbeitung großer sperriger Werkstück, die neben dem Bohrwerk auf einer großen Spannplatte befestigt werden, eingesetzt.^[6]

Technische Daten	WFT 13 Platten-Bohr- und Fräsmaschinen
Bohrspindeldurchmesser	130 mm
Spindelkegel	ISO-50 / BT-50
Drehzahlbereich der Arbeitsspindel	10-4.000 U/min
Hauptantriebsleistung S1/S6	37/56 kW
Querverstellung des Tisches X	2.000 / 3.000 / 4.000 / 5.000 mm
Vertikalverstellung des Spindelstocks Y	2.000 / 2.500 / 3.000 / 3.500 mm
Längsverstellung des Ständers Z	1.500 / 2.000 mm
Spindelvorschub W	730 mm
Vorschub der Achsen X,Y,Z,V	1-8.000 mm/min
W	1-6.000 mm/min
B	1-1,7 U/min
Eilgang der Achsen X,Y	12.000 mm/min
Z,W	8.000 / 10.000 mm/min
B	2 U/min
Max. Tischbelastung	8.000 / 15.000 / 20.000 / 25.000/ 40.000 / 50.000 kg
Tischabmessungen	T15 - 1.600x1.800 / 1.800x2.200 mm T20 - 2.000x2.400 mm

Tabelle 1 : Technische Daten von WFT 13 Platten-Bohrmaschinen ^[11]

Die Platten-Bohr- und Fräsmaschinen (Abb. 20) sind die Giganten unter den Fräswerken. Sie werden besonders zur Bearbeitung großer sperriger Werkstück, die neben dem Bohrwerk auf einer großen Spannplatte befestigt werden, eingesetzt. ^[6]

3.3.1 Hauptantrieb

Der Hauptantrieb dieser Großbohr- und Fräsmaschinen besteht aus einem mikroprozessorgeregelten Drehstrommotor und einem nachgeschalteten Getrieb. Die Hauptspindel (Abb. 22) ist hydrostatisch gelagert.^[6]

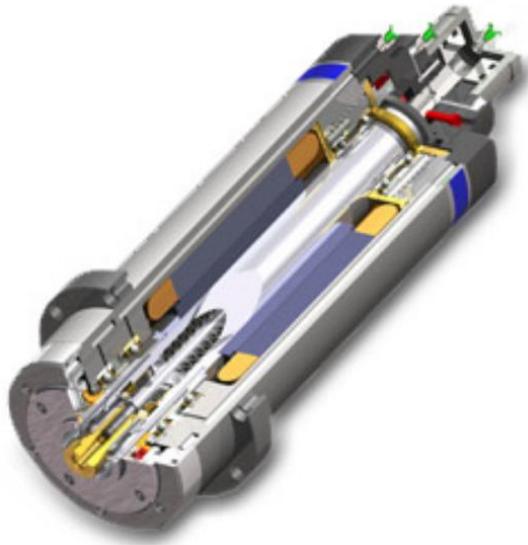


Abb. 22 Hydrostatische Spindellagerung^[6]

3.4 Tiefbohrmaschinen

Normalerweise werden Tiefbohrwerkzeuge auf speziell dafür ausgelegten Maschinen eingesetzt. Grundsätzlich ist eine Kühlschmierstoffanlage erforderlich, die den KSS mit (gegenüber anderen Bohrverfahren) überdurchschnittlich hohem Volumenstrom bei hohen Drücken bereitstellt.^[5]

3.4.1 Merkmale von Standard-Tiefbohrmaschinen

Standard-Tiefbohrmaschinen haben folgende Merkmale:

- Drehbewegung für Werkzeug und/oder Werkstück
- Stufenlose Vorschub- und Drehzahleinstellung
- Kühlschmierstoffeinrichtung mit Hochdruckpumpen, Filterung und ggf. Kühlaggregat

- Die für den Bediener nicht einsehbare Bearbeitungsprozess erfordert eine tiefbohrgerechte Steuerung der Maschine. In diesem Zusammenhang ist es wichtig, die Prozessdaten auf dem Bildschirm anzuzeigen. Bei Überschreiten der einstellbaren Grenzwerte muss die Maschine sich automatisch abschalten. Folgende Daten sollten während des Bohrprozesses auf dem Bildschirm beobachtet werden können:
 - Kühlmitteldruck und/oder Durchflussmenge
 - Wirkleistung an der Bohrspindel
 - Vorschubkraft
 - Werkstückzähler zur Festlegung des Standweges^[5]

Da die Einstellparameter beim Tiefbohren gegenüber konventionellen Bearbeitungsverfahren teilweise unterschiedlich sind, ist eine tiefbohrgerechte Programmierung mit speziellen Unterprogramm sehr wichtig. Einstellwerte sind unter anderem:^[5]

- Anbohrweg, Überkreuzbohrweg, Ausbohrweg mit entsprechenden Vorschüben und Drehzahlen
- Progressive Vorschub- und Drehzahlprogrammierung zur Optimierung der Schnittparameter entsprechend der Bohrtiefe
- Eingabe der Prozessdaten einschließlich entsprechender Grenzwerte

3.4.2 Langbett-Tiefbohrmaschine

Für das BTA-Bohren, insbesondere bei größeren Bohrdurchmessern, werden in der Hauptsache Langbett-Tiefbohrmaschinen eingesetzt.^[5]

Für große Werkstücke wie Hydraulikzylinder, Landebeine, Kokillen und Turbinenläufer werden entsprechend große Maschinen benötigt, welche für die großen Massen der Werkstücke ebenso geeignet sind wie für die entsprechend anspruchsvollen Bohraufgaben. Wichtigste Baugruppe dafür ist das Maschinenbett in Kastenbett- oder Schrägbettausführung, dessen Länge

sich aus der doppelten erreichbaren Bohrtiefe und entsprechenden Verlustlängen für den Bohrölzuführapparat und die Spindelstöcke zur Werkzeug- bzw. Werkstückspannung ergibt. Die Anordnung der wichtigsten Baugruppen einer Tiefbohrmaschine in Kastenbettauflührung zeigt die Abb. 23. Die für die Spanbildung erforderliche Rotation wird in dieser Baugröße überwiegend werkzeug- und werkstückseitig erzeugt. Der Bohrschlitten mit dem Hauptantrieb und der Werkzeugspannung realisiert während der Bearbeitung die Vorschubbewegung. Die verschiebbaren Setzstücke dienen der Werkzeugunterstützung. Da der Werkstückspindelstock fest steht, kann der Bohrölzuführapparat zur Anpassung an verschiedene Werkstücklängen verfahren werden. Auch das Werkstück wird durch Rollensetzstücke abgestützt. Die dargestellte Maschine wird für Werkstücklängen bis 21 m bei einem maximalen Umlaufdurchmesser über dem Bett von 1.000 mm ausgeführt.^[9]

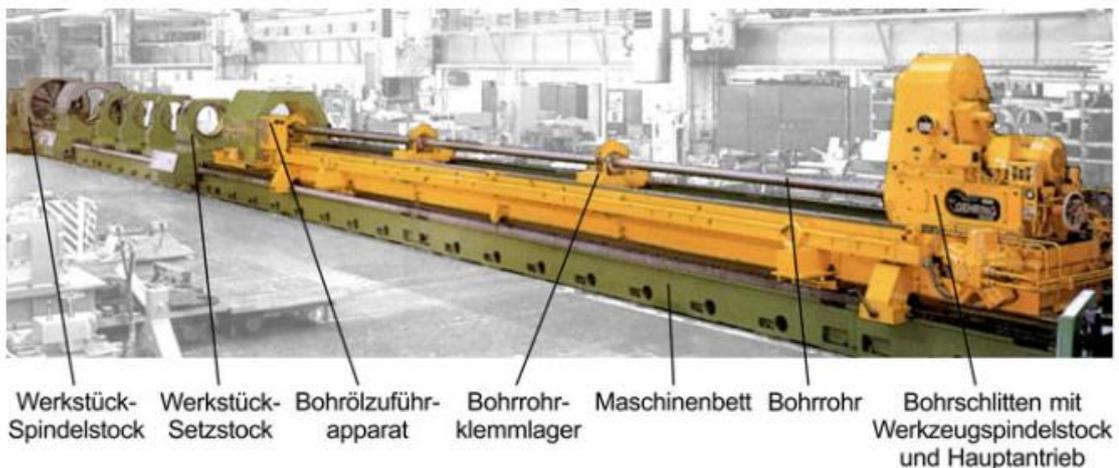


Abb. 23 Langbett-Tiefbohrmaschine ^[9]

3.4.3 Tiefbohrmaschine für prismatische Werkstücke

Aus den aufgeführten technologischen Eigenschaften ergeben sich nun Aufbau und Eigenschaften der entsprechenden Tiefbohrmaschinen. Abbildung 24 zeigt den Aufbau einer Tiefbohrmaschine in Kreuzbettbauweise, welche

sich aufgrund einer kombinierten Fräs-Tiefbohrspindel auch für konventionelle Bearbeitungsarten eignet. Aufgebaut ist die Grundmaschine als 5- Achs-Maschine. Die translatorischen Achsen X, Y und Z tragen dabei den Werkstückdrehtisch (B-Achse) und die Schwenkachse der Tiefbohr-Einheit (A-Achse). Mit der Realisierung der Vorschubbewegung des Tiefbohrwerkzeuges auf dem Bohrschlitten ergibt sich eine sechste NC-Achse W. Die Tiefbohrfräseinheit ist so konzipiert, dass sowohl das ELB- als auch das BTA-Verfahren verfügbar sind. Geführt wird das Werkzeug in mehreren mitfahrenden und mit einem Kettenrückzugsystem ausgerüsteten Werkzeugstützlagern (Lünetten), welche gleichzeitig auch dämpfende Wirkung haben. Neben einem halbautomatischen Werkzeugwechsel für Fräswerkzeuge ist die Maschine auch mit einem Universalwerkzeugwechsler ausrüstbar. Dieser erlaubt den vollautomatischen Wechsel von bis zu 24 Standardwerkzeugen und/oder Einlippenbohrern inklusive der Lünette innerhalb einer Minute.^[9]

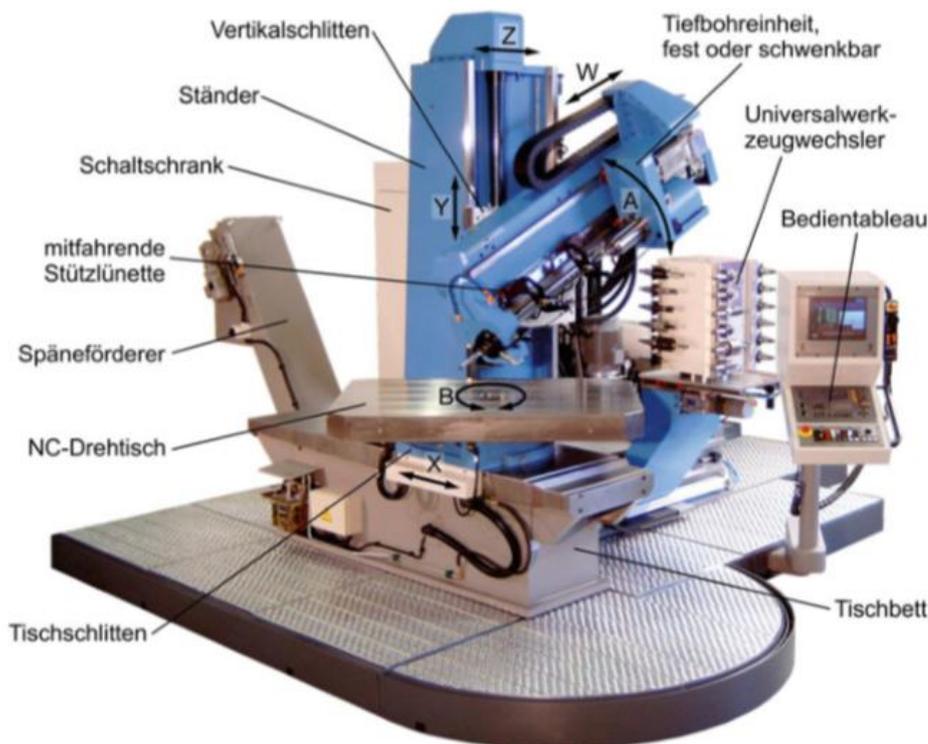


Abb. 24 Tiefbohrmaschine für prismatische Werkstücke^[9]

3.4.4 Mehrspindlige Produktionstiefbohrmaschine

Eine universelle Tiefbohrmaschine für rotationssymmetrische Werkstücke ist in der Abb. 25 dargestellt. Sie ist als 1- bis 6-spindlige Ausführung mit Standard-HSKAufnahmen für die Einlippenbohrwerkzeuge konzipiert. Jede Spindel ist separat angetrieben, was eine Drehmomentüberwachung für jede Spindel ermöglicht. Jedes Werkzeug wird von bis zu 3 Werkzeuglänetten mit Kettenrückzugssystem geführt. Die Werkstückspannung besteht aus einem feststehenden Bohrbuchsenträger mit Späneschleuse und einem NC-gesteuerten Reitstock mit Einzellängenausgleich. Wie bereits beschrieben, ermöglichen Gegenlaufräder eine Verringerung des Bohrungsverlaufes im Werkstück. Die kundenspezifische Werkstückzuführung erlaubt maschinenübergreifende Verkettungen. Zur Späneentsorgung dient ein Späneförderer mit Schmutztank und kontinuierlicher Spänezentrifuge zur Trennung der Bohrspäne vom Tiefbohröl. Das Öl wird weiterhin gefiltert und wenn erforderlich gekühlt. Der Hochdruckbereich der Kühlschmierstoffanlage ist zur Geräuschreduzierung und aus thermischen Gesichtspunkten von der Maschine gekapselt.^[9]

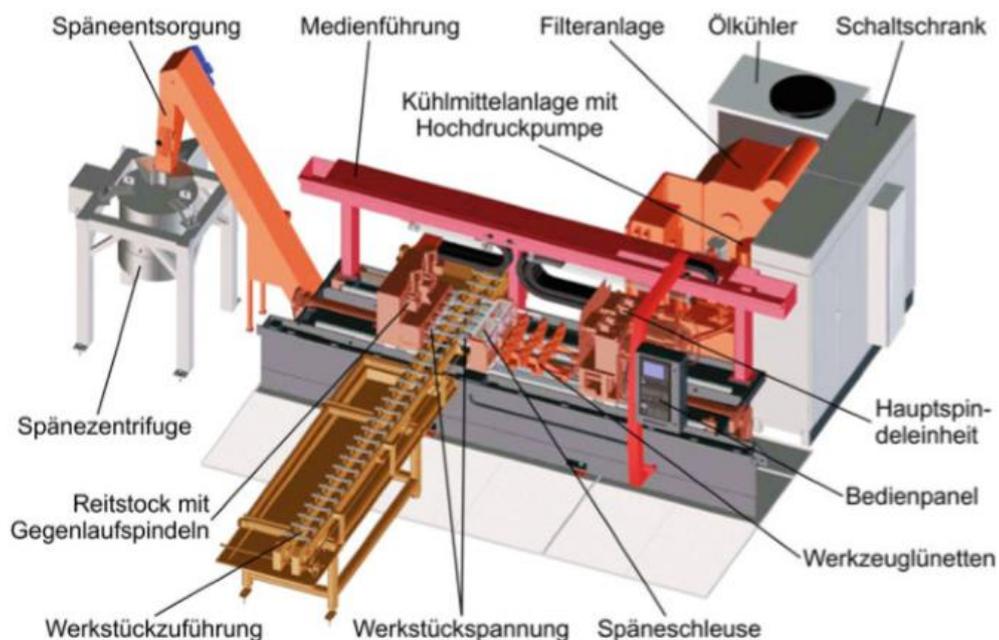


Abb. 25 Mehrspindlige Produktionstiefbohrmaschine^[9]

4. Auslegung und Bewertung von Lösungsvarianten

4.1 Säulenbohrmaschinen

Für den Einsatz in metallverarbeitenden Werkstätten werden in der Regel Bohrmaschinen mit senkrechter Spindelanordnung gewählt. Wegen ihrer einfachen Bedienungsweise und ihres geringen Wartungsaufwandes haben Säulenbohrmaschinen den größten Verbreitungsgrad in diesem Bereich.^[13]

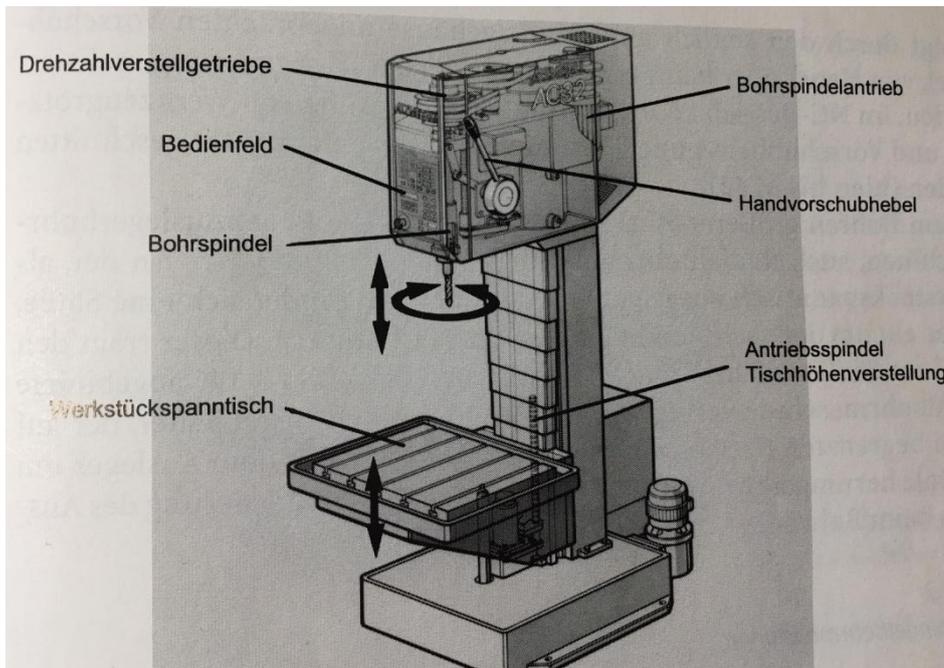


Abb. 26 Säulenbohrmaschinen^[13]

Stationäre Bohrmaschinen bieten viele Vorteile und sind daher in vielen Werkstätten zu finden. Blieben sie vor einiger Zeit aufgrund ihrer Größe und des Gewichtes noch dem professionellen Bereich vorbehalten, sind sie heute aufgrund leichter Motoren und verbesserter Technologien auch für Heimwerker erschwinglich und vor allem transportabel.

Vor- und Nachteile der Säulenbohrmaschine:

Vorteile:

- Einfach zu transportieren und zu handhaben

- Einfache Herstellung um Größere Löcher mit Forstnerbohrern oder Eine Lochsäge
- Abbrechung von Bohrer bei der Metallbearbeitung nicht so schnell
- mit Einer Tiefenbegrenzung
- Löcher in Serie bohren und ohne immer neu messen

Nachteile:

- keine sehr Automatisierung
- Von Hand ist das wirklich sehr anstrengend und ungenau
- zu kleiner Bohrtisch

4.2 Bohr-Bearbeitungszentren

Bearbeitungszentren sind CNC-gesteuerte Werkzeugmaschinen, die durch ein Werkzeugmagazin und eine automatisierte Werkzeugwechseleinrichtung für den Einsatz von mehreren Zerspanungswerkzeugen ausgerüstet sind. In der industriellen Anwendung werden konventionelle Fräsmaschinen zunehmend durch Bearbeitungszentren ersetzt.^[14]

Bearbeitungszentren stellen auf Grund ihres Einsatzes und der Anwendung umfangreiche und schwierige Anforderungen an die Eigenschaften von Gestellbauteilen, die vielen konstruktiven, fertigungstechnischen und auf spezielle Maschineneigenschaften hin optimierten Auslegungen folgen müssen.^[14]

Vorteile:

- Schnelle Herstellung von Serienteilen und komplexer Teile
- Komplizierte Werkstücke erstellbar, die nicht manuell herzustellen sind
- Maßeinhaltung bei der Herstellung
- Geringe Rüstzeiten, da viele Vorgänge komplett automatisiert sein können

- CNC Bearbeitungszentren haben großes Portfolio an unterschiedlichen Werkzeugen
- Schnelle Werkzeugführung
- Vorschub- und Schnittgeschwindigkeiten exakt geregelt
- Flexible Fertigung

Nachteile:

- Je nach Umfang der Maschine können die Anschaffungskosten eines Bearbeitungszentrums hoch ausfallen
- Ein CNC Bearbeitungszentrum ist ein komplexes Gebilde, weswegen die Wartung sehr aufwendig sein kann
- Bei Ausfall sind bei einigen Maschinen aufgrund der vielen Bedienteile ein Spezialist gerufen werden

4.3 Bohr- und Fräswerke

Entwicklungstrends zeigen, dass zukünftig immer stärker die Anwendung von Linearantrieben im Werkzeugmaschinenbau Einzug halten wird. Diese birgt beim Einsatz in Verbindung mit der Gantry-Bauweise noch folgende zusätzliche Vorteile im Vergleich zu den konventionellen Kugelrollspindeln:

Vorteile:

- zur Bearbeitung großer sperriger Werkstück, die neben dem Bohrwerk auf einer großen Spannplatte befestigt werden, eingesetzt.
- höhere Dynamik der Maschine durch Minimierung der zu verfahrenen Massen und bedeutet höhere Produktivität
- höhere Steifigkeit
- höhere Bearbeitungsgenauigkeit
- längere Lebensdauer

Nachteile:

- höherer Stromverbrauch
- höhere notwendige Anschlussleistung
- niedrigere Vorschubkraft

4.4 Tiefbohrmaschinen

Für Bohrungen, bei denen das Verhältnis der Bohrlochlänge zum Bohrungsdurchmesser größer als 10 ist, sind spezielle Maschinen und Werkzeuge notwendig. Aufgrund der großen Bohrungstiefe werden besondere Anforderungen an die Schlankheit des Werkzeugs, die Kühlschmiermittelzufuhr und die Späneabfuhr gestellt.^[5]

Das Tiefbohren weist gegenüber anderen Bohrverfahren folgende Vorteile auf:^[5]

- Enge Durchmesser toleranzen, sehr gute Oberflächengüten und geringe Form- und Lageabweichungen
- Durch das Erzielen einer Präzisionsbohrung in einem Arbeitsgang können in vielen Fällen nachfolgende Operationen entfallen. Vielfach führt die erreichbare enge Bohrungstoleranz dazu, dass bei anschließenden Arbeitsgängen, wie z.B. Honen, mit sehr viel geringerem Aufwand gearbeitet werden kann.
- Hohe Produktivität des Tiefbohrverfahrens
- Alle Tiefbohrverfahren haben einen kontinuierlichen Spanablauf. Das Entspannen während des Bohrvorgangs entfällt

Nachteile:

- höherer Stromverbrauch
- höhere notwendige Anschlussleistung
- Feste Form von Werkstück
- Mehre Kühlschmierstoffmenge und Öl

4.5 Bewertungskriterien und Ergebnis

Die Bewertungskriterien werden in 3 Unterpunkte eingeteilt:

- Funktional
- Ergonomisch
- Betrieblich

Die sind 3 wichtige Anforderungen, um die obengenannte Strangpressanlagen zu bewerten.

Funktional

- Präzision
- Zuverlässigkeit
- Anwendungsbereich
- Montage

Ergonomisch

- Arbeitssicherheit
- Bedienbarkeit

Betrieblich

- Anschaffungskosten
- Energieeffizienz
- Zeitkosten

Ergebnis

	Säulen- bohrmaschinen	Bohr- Bearbeitungszentren	Bohr- und Fräswerke	Tiefbohr- maschinen
Präzision	1	2	2	2
Zuverlässigkeit	1	2	2	2
Anwendungsbereich	1	2	2	1
Montage	2	2	2	2
Arbeitssicherheit	1	2	2	1
Bedienbarkeit	1	2	2	2
Anschaffungskosten	2	2	1	2
Energiefizienz	2	1	1	1
Zeitkosten	0	2	2	2
Summe	11	17	16	15

Tabelle 2: Bewerbung von Lösungsvarianten

2-Sehr gut, 1-gut, 0-schlecht

Aus dieser Tabelle kann ich ablesen, dass Bohr-Bearbeitungszentren die beste Lösung ist.



Abb. 27 Schwenkmontagen^[5]

Zuerst Wie Abbildung 28 zeigt, dass das verwendete Werkstück durch Robort automatisch an eine Plattform festgelegt wird. Aber vorher werden die Daten (Material und Bemaßung) über dieses Werkstück im Bedienpult eingegeben. Das verwendete Werkstück wird von dem Robort an der Maschine positioniert.

Zur Bearbeitung von Werkstücken kommen Werkzeuge zum Einsatz wie: Zentrierbohrer, Spiralbohrer, Aufbohrer, Reibahlen, Spindelwerkzeuge, Gewindebohrer, Gewindefräser aller Art.^[5]

Die gebräuhlichsten Werkstückspannvorrichtungen sind heute ein 2-, 3- oder 4-Backenfutter, oder ein 2-Backen-Spannstock. Hinzu kommen noch viele Baukastensystem, aber auch individuelle Sonderspanneinrichtung.^[5]

Nach Eingabe einiger relevanter Werkstück-, Werkstoff- und Werkzeugdaten können Sie den Prozess und Abtrag bestimmen, und nach der Positionierung des Werkzeugs bereits mit dem Bohren zu beginnen. Der Durchmesser und alle relevanten Parameter zur Werkstückbearbeitung werden automatisch berechnet.^[5]

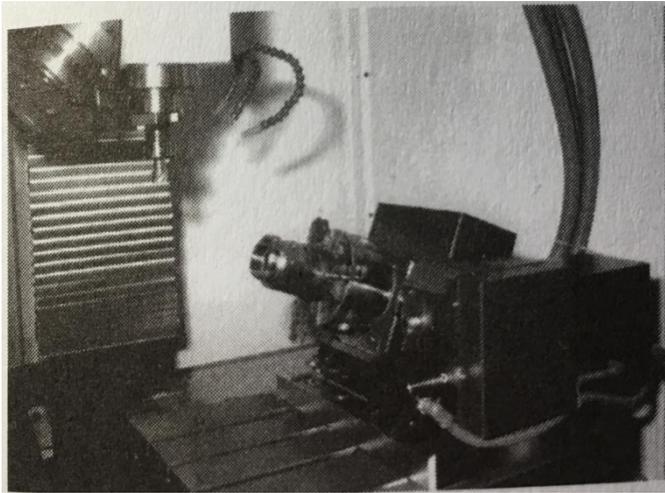


Abb. 28 Bearbeitung von hochpräzisen Schwenkontage^[5]

Nach der Überprüfung startet man die Maschine. Die nutzerfreundliche, übersichtliche Bedienoberfläche des Bedienpultes sowie der Programmassistent (Abbildung 29) erleichtern die Bedienung.



Abb. 29 Bedienpult^[15]

Das zur Bearbeitung erforderliche NC-Programm wird durch die Steuerung automatisch generiert, so dass für die normale Bearbeitung keine zusätzlichen Programmierkenntnisse erforderlich sind.

Zusätzlich werden während der Bearbeitung die Iswerte der Maschinenauslastung sowie die Weginformationen angezeigt.^[5]

Bei anspruchsvollen Bearbeitungsaufgaben kann jedoch die gesamte Funktionalität der CNC-Steuerung vorteilhaft genutzt werden.^[5]

Wenn das Werkstück bearbeitet wird, beginnt die Kühlmittelanlagen das Kühlmittel zu versprühen, um Wärme von der Werkstück abzuleiten. Es zeigt gleich wie Abb. 30. Die fertige Werkstück wird nach der Bearbeitung mit einem Roboterarm auf ein Fließband gestellt und abtransportiert.

Der Prozess kann mit der automatischen Ladeluke und Entladeeinrichtung schnell und präzise durchgeführt werden.



Abb. 30 Kühlmittelanlagen^[16]

5.3 Begründung der Wahl

Ich wähle ein Bohr-Bearbeitungszentren bei meiner Arbeit aus.

Die Bohr-Bearbeitungszentren ermöglicht durch den NC-Schwenkkopf die hochpräzise 5-Achs-Bearbeitung komplizierter Werkstückformen in den Verfahren Fräsen, Bohren und Gewindebearbeitung. Innerhalb des Schwenkwinkels $\pm 180^\circ$ lassen sich Formelemente in beliebiger Raumlage herstellen. Das hochflexible Baukastenprinzip auf Basis der Athletic-Serie

sichert die individuell maßgeschneiderte Kundenlösung für die Einzelteil-, Serien- oder Massenfertigung. Einsatzgebiete der Bearbeitungszentren sind schwerpunktmäßig die Bereiche Transportation & Industrial Components. Die Bearbeitungszentren können als Stand-alone-Maschinen, erweitert mit Palettenspeicherung oder integriert in Flexible Fertigungssysteme für die bedienerlose Produktion geliefert werden. Der Wechsel der Bohrstangen erfolgt automatisch. Außer den herkömmlichen Tiefbohroperationen ist auch der Einsatz von NC-Bohrstangen vorgesehen. Dabei wird die Werkzeugschneide über eine unabhängige NC-Achse programmiert – sie kann zusammen mit der horizontalen Bewegung des Bettschlittens (Z-Achse) komplizierte Innenkonturen mit Hinterschnitten und besser erzeugen.^[17]

6. Zusammenhang zwischen den maschinenbau- lichen und organisatorischen Schnittstellen

6.1 Rohteil

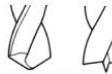
Beim Bohren werden viele Materialien von Bohrmaschinen verwendet. Unterschiedliche Bohrkronen gibt viele Unterschiedliche Anwendungsbereiche und Vorteile beim Materialien, daher muss die Maschine vor der Bearbeitung die Eignung des Bohrers berücksichtigen. Dabei lässt sich heute das gehobene Werkstoffspektrum in etwa wie folgt aufgliedern:

- | | | |
|---------------|----------------|----------------|
| 1. Stahl | 2. Stahlguss | 3. Grauguss, |
| 4. Temperguss | 5. Sintereisen | 6. Graphit |
| 7. Bronze | 8. Messing, | 9. Aluminium |
| 10. Edelstahl | | 11. NE-Metalle |

Die Werkstoffe kommen vor allem zur Anwendung im Kraftfahrzeugbau, in der Hydraulik- und Pneumatikindustrie, im Werkzeug- und Werkzeugmaschinenbau, in der Kältemaschinenindustrie, im Bereich der Feinwerktechnik und

Mechatronik, im Elektromaschinenbereich, bei optischen Komponenten, bei der Medizintechnik und in der Luftfahrt.^[18]

Bevor Sie aber mit dem Bohren beginnen können, sollten Sie unbedingt auf die Drehzahl und ebenso auf den Vorschub achten. Diese beiden Punkte, sowohl Drehzahl als auch Vorschub sind komplett abhängig vom Durchmesser und auch vom Werkstoff des anzuwendenden Bohrers, vor allem aber vom Werkstoff des Werkstücks (in diesem Fall Edelstahl). Allgemeine Richtwerte sind die Vorschübe und die Drehzahlen. Diese orientieren sich an dem eingesetzten Bohrer und dem spezifischen Edelstahl, der gebohrt werden soll. Abb.31 zeigt die Drehzahl für die unterschiedliche Werkstoffe.^[19]

Drehzahltable für die wichtigsten Werkstoffe:						
						
	Holz und Holzwerkstoffe	Stahl St 37	Edelstahl	Aluminium	Messing	Kunststoffe
	HSS-Spiralbohrer od. Holzbohrer mit Zentrierspitze	HSS-Spiralbohrer	HSS-Spiralbohrer	HSS-Spiralbohrer	HSS-Spiralbohrer	HSS-Spiralbohrer oder Stufenbohrer
Bohrer Ø	Drehzahlgeschwindigkeiten in Umdrehungen pro Minute (U/min)					
2 mm	3500	2400	1500	5000	4000	2000
3 mm	3000	2100	1200	4500	3500	1700
4 mm	2600	1800	1000	4000	3000	1400
5 mm	2150	1500	800	3500	2600	1150
6 mm	1800	1200	600	3000	2200	950
7 mm	1400	1000	450	2500	1800	750
8 mm	1100	800	360	2000	1450	600
9 mm	850	650	270	1600	1150	450
10 mm	650	500	220	1200	900	350
12 mm	500	400	180	900	700	300
14 mm	370	340	150	700	500	250
16 mm	300	300	140	580	400	220
18 mm	275	270	130	500	330	200
20 mm	260	250	120	440	310	190
25 mm	250	240	110	400	300	170

Merke:	Beim Senken mit dem Kegelsenker verwenden wir bei allen Materialien eine Drehzahl, die einem Bohrer von 20 mm entspricht!	
---------------	---	---

Abb. 31 Drehzahltable für die wichtigsten Werkstoffe^[19]

6.2 Transport

6.2.1 Transportsystem

An Veränderungen der Situation (z. B. Auftragsbestand, Kapazität) anpassbare Kombination aus Werkstattproduktion und Fließproduktion, welche mit Hilfe eines automatischen Transportsystems einen reibungslosen Arbeitsablauf garantieren soll. Voraussetzung für die Planung und Steuerung eines FFS ist eine möglichst exakte Abschätzung der Konfigurationsvariablen wie z. B. Anzahl und Kapazität der Bearbeitungsmaschinen, die logische Abfolge des Materialflusssystems sowie notwendige Lagerbestände und Durchlaufzeiten. Teil des FFS ist somit ein flexibles Montagesystem mit einem flexiblen Transportsystem. Man spricht auch von gerichtetem Materialfluss und taktgebundener Werkstückweitergabe im Sinne einer Innenverkettung als Gegenstück zur Außenverkettung bei der Fließfertigung.^[20]

Die werkstückseitige Verkettung der Bearbeitungsstationen darstellt das wesentliche Kennzeichen eines FFS, dass kommen dem Transportsystem die Aufgaben:

- Erkennen
- Handhaben
- Transportieren

der Werkstücke mit oder ohne Spannvorrichtungen zu.

Eine wichtige Grundlage für die Auslegung eines FFS bezüglich der Anordnung der Bearbeitungsstationen stellt das Transportsystem dar, woraus sich prinzipiell die vier Grundstrukturen

- Linearstruktur
- Ringstruktur
- Flächenstruktur
- Leiterstruktur

des Transportsystems ableiten lassen.^[21]

6.2.2 Transport von Fertigteilen

Der Manipulator oder Roboterarm ist ein multifunktionaler Handhabungsautomat, der aus einer Reihe von starren Gliedern besteht, die miteinander durch Dreh- oder Schubgelenke verbunden sind, wobei die Gelenke durch gesteuerte Antriebe verstellt werden können. Ein Ende dieser „Gliederkette“ ist die Basis, während das andere Ende frei beweglich ist und mit einem Werkzeug oder Greifer zur Durchführung von Produktionsarbeiten bestückt ist.

Der Industrieroboter (Abb. 32) ist speziell für die Handhabung schwerer Lasten konzipiert. Das extrastarke Handgelenk vom Roboter hebt und bewegt automatisch problemlos ganze Werkstücke oder sperrige Gussteile auf Bearbeitungsvorrichtungen.



Abb. 32: Industrieroboter^[22]

6.3 Handhabung

Moderne Bohr-Bearbeitungszentren (Starrständermaschine) sind mit CNC-Steuerungen ausgestattet.

Über eine Bedienerführung sind nur die technologischen und geometrischen Daten direkt in die Software abgebildeten Masken einzugeben.



Abb. 33 Steuerzentrale [23]

6.3.1 CNC-Steuerungen

Für die Bearbeitungszentren werden jeweils CNC-Bahnsteuerungen der neuesten Generation eingesetzt. Der Markt verlangt von den Werkzeugmaschinenherstellern, dass die Maschinen immer kompakter, schneller, präziser, universeller und kostengünstiger sein müssen, bei immer kürzeren Lieferzeiten. Das ist nur noch mit Standardmaschinen und NC-Steuerungen zu realisieren, die hierauf ausgerichtet sind. Das heißt, mit Standard-Steuerungen die sich aus wenigen Komponenten individuell zusammenstellen und sich problemlos um spezifisches Know-how der Maschinenhersteller ergänzen lassen.^[5]

Zur Zeit werden aktuelle Bahnsteuerungen eingesetzt von:

- Heidenhain
- Siemens

Alle Steuerungen sind als digitale Systeme ausgeführt und für fast alle Anwendungen einsetzbar.

Diese Steuerungen überzeugen durch eine Fülle richtungsweisender technologischer Funktionen. Für die Technologien Bohren, Gewinden, Spindeln und Fäsen stehen für häufig wiederkehrende Bearbeitungsaufgaben Standardzyklen zur Verfügung, und auch anspruchsvolle Anwendungen wie das 5-Achs-Simultan-Fräsen im Werkzeug- und Formenbau sind für die Steuerungen kein Problem.^[5]

Die Steuerungen sind so vielseitig und universell ausgelegt, dass sie sich der Organisation der jeweiligen Unternehmen anpassen lassen. Egal, ob Einzelteile oder Serien zu fertigen, ob einfache oder Komplizierte Teile herzustellen sind, ob an der Maschine werkstattgerecht oder extern, -beispielsweise am CAD/CAM-System - entweder im Heidenhain-Klartext oder im Siemens-Shop-Mill- oder im DIN/ISO-Format zu programmieren ist.^[3]

Das Programmieren mit Grafikunterstützung bietet zusätzliche Hilfe bei der Programmieringabe und gibt Sicherheit bei der abschließenden Programmüberprüfung.^[5]

Das programmierte Werkstück kann auf verschiedene Arten dargestellt werden:

- in der Draufsicht mit unterschiedlichen Tiefenniveaus
- in drei Projektion (wie in der Werkstückzeichnung)
- in der 3D-Darstellung

Dateils können auch vergrößert dargestellt werden.^[5]

6.4 Kühlsystem

Die Aufbereitung von schmierenden und kühlenden Flüssigkeiten ist für eine reibungslose Funktionsweise von Werkzeugmaschinen von zentraler Bedeutung. Die Kühlmittelanlagen zeichnen sich durch eine kompakte Bauweise, höchste Zuverlässigkeit und enorme Flexibilität aus. Durch die modulare Bauweise können die Anlagen je nach Einsatzzweck und Aufstellort individuell konfiguriert werden. Abb.34 zeigt, wie Kühlsystem und

Kühlmittelanlagen in der Bearbeitung im Bohr-Bearbeitungszentrum funktionieren.



Abb. 34 Kühlsystem und Kühlmittelanlagen^[24]

Durch die Reibungshitze beim Bohren kann der Metallbohrer im schlimmsten Fall ausglühen und ist dann unbrauchbar. Ihr solltet also zwischendurch den Bohrer aus dem Werkstück ziehen und abkühlen lassen. Gerade bei grösseren Bohrdurchmessern bzw. Materialstärke ist ein Schneid- oder Bohröl sinnvoll, teilweise sogar unverzichtbar. Das erleichtert das Bohren und kühlt den Bohrer. Dadurch bleiben auch die Bohrschneiden länger scharf. Man muss nicht unbedingt spezielles Schneid- oder Bohröl nehmen, wenn man eher selten in Metall bohrt. In solchen Fällen reicht es auch, während des Bohrens zwischendurch einen Tropfen Öl einzuträufeln. Bei Messing sollte man nicht schmieren oder ölen.^[25]

Kühlen ist extern wichtig.

Sofern keine automatische Kühlvorrichtung genutzt werden kann, zu Schneidöl (auch bekannt als Bohröl) greifen. Aber auch eine Kühlschmieremulsion kann verwendet werden. Hauptsache ein Kühlschmierstoff daran überhaupt genutzt wird, so sorgt man nicht nur

dafür, dass die Bohrung sauber und einwandfrei gelingt, sondern erhalten Ihren Bohrer auch auf Dauer. Der Kühlstoff minimiert nicht nur die Reibung zwischen Edelstahl und Spiralbohrer und senkt damit die Temperatur, sondern er spült die Edelstahlspäne weg. Ein weiterer positiver Nebeneffekt ist, dass sich die Oberflächengüte erhöhen kann.

7. Zusammenfassung

Das Ziel dieser Bachelorarbeit war die Konzeption, sowie Erstellung eines Konzeptes für ein automatisch arbeitendes Fertigungssystem zur Realisierung von Bohrverfahren an massiven Formteilen aus Gusswerkstoff. Diese Bachelorarbeit enthält viele Inhalte vom Bohren. Die Grundlage des automatischen arbeitenden Fertigungssystem zur Realisierung von Bohrverfahren wird zu erst beschrieben. Diese Teile enthält Flexibles Fertigungssystem (Aufbau von FFS) und die viele unterschiedliche Bohrverfahren (Profilsenken, Rundbohren-Bohren ins Volle, Tiefbohren, Reiben, Gewindebohren). In der Bachelorarbeit werden Werkzeugmaschinen beschrieben. Es zeigt, wie Werkzeugmaschinen aufgebaut werden und was die Bohrmaschinen ist. In der Arbeit wird die vorhandenen Lösungen für die o.g. technischen Einrichtungen in derartigen Prozessen geschrieben. Es gibt Säulenbohrmaschinen, Bohr-Bearbeitungszentren, Bohr- und Fräswerke, Tiefbohrmaschinen, Langbett-Tiefbohrmaschine, Tiefbohrmaschine für prismatische Werkstücke, Mehrspindlige Produktionstiefbohrmaschine. Auslegung und Bewertung von Lösungsvarianten wird in der Arbeit gezeigt. Die Vorteile und die Nachteile von der allgemeinen Lösungsvarianten für das Koppeln der genannten Fertigungsverfahren werden einzeln aufgelistet. Und die Lösung an einem selbst gewählten Beispierteil wird geschrieben. Danach wird Zusammenhang zwischen den maschinenbau-lichen und organisatorisch- en Schnittstellen gezeigt. Die Inhalt enthält Rohteil, Transportsystem, Transport von Fertigteilen, Handhabung, CNC-Steuerungen, Kühlsystem und Kühlmittelanlagen. Das ist die letzte Anteil.

Die Substitution von Arbeitsleistungen durch Automaten kann zwar die Menschen von ermüdenden formallogischen oder auch gefährlichen Tätigkeiten befreien, was aber auf der anderen Seite zur Freisetzung von Arbeitskräften führt. In anderen Fällen werden die Menschen durch Automaten

unterstützt, indem bei bestehender Arbeit ihre Tätigkeit erleichtert, ihre Sicherheit erhöht oder auch ihr Komfort gesteigert wird. Automatisierung leistet somit wesentliche Beiträge zum allgemeinen Fortschritt.

Abbildungverzeichnis

Abb. 1: Komponenten eines Flexiblen Fertigungssystems nach ^[1]	7
Abb. 2: Automatisierung von Werkzeugmaschinen ^[1]	8
Abb. 3: Strukturierung der Hauptfunktionen im Materialfluß von FFS ^[1]	9
Abb. 4: Hierarchieebenen der Informationsverarbeitung in der Flexiblen Fertigung nach ^[1]	10
Abb. 5: Einteilung der Bohrverfahren (nach DIN 8589-2) ^[2]	11
Abb. 6: Verfahrensvarianten beim Bohren, nach DIN 8589-2 ^[2]	12
Abb. 7: Senkwerkzeug ^[2]	13
Abb. 8: Wendelbohrer mit Kegelschaft, nach DIN 1412 ^[2]	14
Abb. 9: Geometrie am Schneidteil eines Wendelbohrers ^[2]	14
Abb. 10: ELB-Verfahren für Durchmesser von 0,8-40mm ^[2]	16
Abb. 11 BTA-Verfahren für Durchmesser von 6-300 mm ^[2]	17
Abb. 12 Reibwerkzeuge, nach DIN 8589-2 ^[3]	18
Abb 13. Gewindebohrer ^[4]	18
Abb. 14 Klassifizierung von Werkzeugmaschinen nach den Ferigungsverfahren ^[5]	20
Abb. 15 Bearbeitungszentrum CS1200(ALZMETALL, Altenmarkt) ^[5]	21
Abb 16: Hochleistungs-Säulenbohrmaschine ^[7]	23
Abb. 17 Haupt- und Vorschubgetriebe der Säulenbohrmaschine Typ AB 45/2 (Werkbild Fa. Alzmetall, Altenmarkt) ^[6]	23
Abb.18 Bearbeitungszentrum BAZ 35 CNC Starrständermaschine in Gussausführung mit hohen Dämpfungseigen- schaften ^[8]	26
Abb. 19 Tellermagazin zur Aufnahme von 24 Werkzeugen mit Doppelreifer ^[9]	28
Abb. 20 Kreuzbettbauform ^[10]	29
Abb. 21 Platten-Bohr- und Fräsmaschinen ^[11]	29
Abb. 22 Hydrostatische Spindellagerung ^[6]	31

Abb. 23 Langbett-Tiefbohrmaschine ^[9]	33
Abb. 24 Tiefbohrmaschine für prismatische Werkstücke ^[9]	34
Abb. 25 Mehrspindlige Produktionstiefbohrmaschine ^[9]	35
Abb. 26 Säulenbohrmaschinen ^[13]	36
Abb. 27 Schwenkmontagen ^[5]	43
Abb. 28 Bearbeitung von hochpräzisen Schwenkontage ^[5]	44
Abb. 29 Bedienpult ^[15]	44
Abb. 30 Kühlmittelanlagen ^[16]	45
Abb. 31 Drehzahltable für die wichtigsten Werkstoffe ^[19]	47
Abb. 32: Industrieroboter ^[22]	49
Abb. 33 Steuerzentrale ^[23]	50
Abb. 34 Kühlsystem und Kühlmittelanlagen ^[24]	52

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 : Technische Daten von WFT 13 Platten-Bohrmaschinen ^[11]	30
Tabelle 2: Bewerbung von Lösungsvarianten.....	41

Quelle

- [1] Fertigungsverfahren Drehen, Fräsen, Bohren 8., neu bearbeitete Auflage; Fritz Klocke ., Wilfried König
- [2] Fertigungstechnik 5. Auflage; A. Herbert Fritz. Günter Schulze (Hrsg)
- [3] <https://monaghantooling.com/high-performance-cutting/high-performance-reaming/reaming-head-style-diatool-reamers-001/>
- [4] <https://www.tooler.de/werkzeuge/zerspanungstechnik/gewindeschneidwerkzeuge/maschinengewindebohrer/format-maschinen-gewindebohrer-din-352-d-hsse-1738.html>
- [5] Taschenbuch der Werkzeugmaschinen; 2. Auflage, im Carl Hanser Verlag Klaus-Jörg Conrad (Hrsg)
- [6] Werkzeugmaschinen der spanlosen und spanenden Formgebung; 7. neue bearbeitete Auflage; Heinz Tschätsch
- [7] <https://webshop.schachermayer.com/cat/de-AT/product/alzmetall-hochleistungs-saeulenbohrmaschine-alzstar-30-s-100-1800-u-min/109963169>
- [8] https://www.maschinen-kistner.de/maschinenmarkt/gruppe/gebrauchte_bearbeitungszentren_gebrauchte_werkzeugmaschinen/product/vertikalbearbeitungszentrum_vertical_machining_center_alzmetall_baz_35_cnc_lb.html
- [9] Werkzeugmaschinen Aufbau, Funktion und Anwendung von spanenden und abtragenden Werkzeugmaschinen; Reimund Neugebauer (Hrsg.)
- [10] <https://fr.pama.it/accessori/magazzini-utensili/#>
- [11] <http://www.helmuth-rauscher.de/fermat-kreuzbett.html>
- [12] https://www.zhaw.ch/no_cache/de/forschung/personen-publikationen-projekte/detailansicht-publikation/publikation/936/
- [13] Werkzeugmaschinen Maschinenarten und Anwendungsbereiche 5. Auflage; Manfred Weck
- [14] <https://www.maschinewerkzeug.de/basics/fraesen/fraesmaschinen/artikel/bearbeitungszentren-1237703.html?article.page=2>

- [15]https://www.google.de/search?q=Bedienpult&rlz=1C1CHBF_zh-CNDE813DE813&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=2ahUKEwiHkPCkhMjdAhXOposKHV6nBk4QsAR6BAgFEAE&biw=911&bih=417
- [16]https://www.google.de/search?q=K%C3%BChlmittelanlagen&rlz=1C1CHBF_zh-CNDE813DE813&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjo9PnphMjdAhUqplsKHUpjClkQ_AUICygC&biw=911&bih=417
- [17]<http://www.nauticexpo.de/prod/starrag/product-54169-512888.html>
- [18]Honen Umweltbewusst und kostengünstig Fertigen; Dipl.-Ing. Ulrich Klink, IHT Innovative Hontechnologie, Neuffen,Verlag Hanser
- [19]<https://www.edelstahlrohrshop.com/blog/montageanleitungen/womit-bohrt-man-edelstahl.html>
- [20]<https://www.finanzen.net/wirtschaftslexikon/Flexibles-Fertigungssystem-FFS>
- [21]Arbeitsblätter zur Lehrveranstaltung: Fertigungssysteme;
Prof.Dr.-Ing R.Kademann
- [22]<http://m-tool.eu/angebot/industrieroboter/>
- [23]https://www.lagermaschinen.de/Bohr--und-Fr%C3%A4smaschine_IXION__1008-9141309.html
- [24]<https://www.ebay.de/itm/Kuehlmittelkonzentrat-Kuehlmittel-Bohrwasser-Bohrmilch-Schneidoel-Bohrmaschine-Kuehl-/371479424041>
- [25]<https://www.befestigungsfuchs.de/blog/tipps-fuer-das-bohren-in-metall/>

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, daß ich die vorliegende Arbeit ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Quellen und Hilfsmittel angefertigt habe, die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.

Merseburg, 20.09.2018

Wentao Chi