

Hochschule Merseburg

Fachbereich Ingenieur- und Naturwissenschaften



Bachelorarbeit

**Erstellung eines Konzeptes für ein automatisch
arbeitendes Fertigungssystem zur
Schleifbearbeitung mit integrierter
Qualitätskontrolle für Werkstücke und
Schleifkörper**

Longwei Chen

Matrikel-Nr. 24692

Bachelorarbeit

Erstellung eines Konzeptes für ein automatisch arbeitendes
Fertigungssystem zur Schleifbearbeitung mit integrierter
Qualitätskontrolle für Werkstücke und Schleifkörper

vorgelegt bei

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

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

Hochschule Merseburg

Lehrgebiet BMMP , Vertiefungsrichtung Mechatronik

eingereicht von

Longwei Chen

Studiengang : BMMP , Vertiefungsrichtung Mechatronik

Merseburg, 10.09.2020

Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne unerlaubte Hilfe Dritter angefertigt habe. Alle Stellen, die inhaltlich oder wörtlich aus Veröffentlichungen stammen, sind kenntlich gemacht. Diese Arbeit lag in gleicher oder ähnlicher Weise noch keiner Prüfungsbehörde vor und wurde bisher noch nicht veröffentlicht.

Longwei Chen

Merseburg , 10.09.2020

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|----|
| 1. Einleitung..... | 6 |
| 1.1 Aufgabenstellung..... | 6 |
| 1.2 Lösung der Aufgabenstellung..... | 6 |
| 2. Flexible Fertigungssysteme (FFS)..... | 7 |
| 2.1 Definition des FFS..... | 7 |
| 2.2 Vorteile und Nachteile..... | 7 |
| 2.3 Aufbau und Planung des FFS..... | 8 |
| 2.3.1 Hauptkomponenten des FFS..... | 8 |
| 2.3.2 Varianten Flexibler Fertigungssysteme..... | 9 |
| 2.4 Das Maschinenkonzept im FFS..... | 10 |
| 2.4.1 Bearbeitungszentrum oder Flexible Fertigungszelle..... | 10 |
| 2.4.2 Werkzeugmagazin und Werkzeugwechsel..... | 11 |
| 2.4.3 Automatische Messeinrichtung..... | 12 |
| 2.5 Materialflusssystem im FFS..... | 12 |
| 2.5.1 Werkzeugverwaltung..... | 12 |
| 2.5.2 Werkstücktransport..... | 13 |
| 2.6 Informationssystem..... | 14 |
| 2.7 Qualitätssicherung in flexiblen Fertigungslösungen..... | 15 |
| 3. Schleifbearbeitung..... | 17 |
| 3.1 Definition..... | 17 |
| 3.2 Schleifverfahren..... | 17 |
| 3.3 Schleifmittel..... | 19 |
| 3.4 Schleiftemperatur und Kühlung..... | 21 |
| 3.4.1 Kühlen von Bauteilen mit Kühlschmierstoff (KSS)..... | 21 |
| 3.4.2 Kühlen von Werkzeugen mit Kühlschmierstoff..... | 22 |
| 3.4.3 Kühlen von Kühlschmierstoff (KSS)..... | 22 |
| 4. Lösungsvarianten der Schleifbearbeitung..... | 23 |
| 4.1 Variante 1..... | 23 |
| 4.1.1 Rundschleifmaschine W 11 CNC..... | 23 |
| 4.1.2 Qualitätskontrolle von W 11 CNC RUNDSCHEIFMASCHINE..... | 25 |
| 4.2 Variante 2..... | 25 |
| 4.2.1 WUG 21—CNC-Universal-Rundschleifmaschine..... | 25 |
| 4.2.2 Qualitätskontrolle von WUG 21 mit EMAG MachineStatus..... | 28 |
| 4.3 Variante 3..... | 29 |
| 4.3.1 VERTIKALE SCHLEIFMASCHINE VG 110..... | 29 |

| | |
|--|----|
| 4.3.2 Qualitätskontrolle von VG110..... | 32 |
| 5. Bewertung von allgemeinen Lösungsvarianten..... | 33 |
| 6. Darstellung des Zusammenhangs im FFS..... | 35 |
| 6.1 Materialfluss..... | 36 |
| 6.2 Transport..... | 37 |
| 6.2.1 Palettentransportsystem..... | 37 |
| 6.2.2 Schwingförderer..... | 39 |
| 6.2.3 Knickförderer Modulband..... | 39 |
| 6.3 Qualitätskontrolle für Werkstücke und Schleifkörper..... | 41 |
| 6.3.1 Qualitätsplanung..... | 41 |
| 6.3.2 Qualitätssteuerung..... | 41 |
| 6.3.3 Qualitätsprüfung..... | 42 |
| 7. Zusammenfassung..... | 43 |
| 8. Quellenverzeichnis..... | 44 |
| 9. Abbildungsverzeichnis..... | 46 |
| 10. Tabellenverzeichnis..... | 47 |

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 Schleifverfahren und -anlagen eine Vielzahl an technischen und organisatorischen Rahmenbedingungen zu beachten gilt.

In Rahmen der Bachelorarbeit sind, gemäß der o.g. Themenstellung, das Qualitätssicherungskonzept zu erstellen, 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 automatisch ablaufender Schleif- sowie Mess-/Prüf- Prozesse als Basisvorgänge unter Beachtung der Prozessabläufe, der einsetzbaren Materialien, Werkzeuge und der möglichen Anlagentechniken sowie erforderlichen Hilfseinrichtungen und Überwachungstechniken
2. Dokumentation der vorhandenen Lösungen für die o. g. technischen Abläufe in derartigen Prozessen
3. Auslegung und Bewertung von allgemeinen Lösungsvarianten für die automatische Realisierung der Abläufe
4. Beschreibung einer möglichen Lösung an einem selbst gewählten Beispielteil (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. Flexible Fertigungssysteme (FFS)

2.1 Definition des FFS

Flexible Fertigungssysteme (abgekürzt FFS, auch FMS für Flexible Manufacturing System) sind Mehrmaschinenysteme zur Bearbeitung von Werkstücken. Die einzelnen Bearbeitungsstationen sind meist handelsübliche numerisch gesteuerte Bearbeitungszentren. Über ein Transport- und Lagersystem sind diese miteinander verkettet verbunden, um so den automatisierten Werkstückfluss zu ermöglichen. Sie haben zusätzlich zu den Bearbeitungsstationen Werkstück- und Werkzeugspeicher mit den entsprechenden Übergabestationen. Das Aufspannen der Werkstücke und das Magazinieren der Werkzeuge können unabhängig und zum Teil zentralisiert durchgeführt werden, wodurch sich Neben- und Verteilzeiten bei den Maschinen einsparen lassen. Durch die Automatisierung des Transports werden außerdem Flächen- und Personalkosten verringert und die Durchlaufzeiten der Aufträge verkürzt.^[1]

2.2 Vorteile und Nachteile

Flexible Fertigungssysteme besitzt Vor- und Nachteile.

Zu den Vorteilen gehört ein hohes Rationalisierungspotential und verkürzen die Rüstzeiten, usw.

Nachteilig sind die hohen Kosten für die Anschaffung und benötigen hochqualifiziertes Personal, das sie bedienen kann. (siehe Tabelle)

Tab. 1: Vor- und Nachteile der Simulation [1]

| Vorteile | Nachteile |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> + hohes Rationalisierungspotential + die Rüstzeiten drastisch verkürzt <li style="padding-left: 20px;">+ hohes Flexibilität + hohe Maschinenauslastung +Hohe Produktqualität <li style="text-align: center;">... .. | <ul style="list-style-type: none"> - hohen Kosten für die Anschaffung - hochqualifiziertes Personal benötigen <li style="padding-left: 20px;">- lange Amortisationszeit <li style="text-align: center;">... .. |

2.3 Aufbau und Planung des FFS

2.3.1 Hauptkomponenten des FFS

Das FFS bildet unter betrieblichen Bedingungen eine technische und organisatorische Einheit aus verschiedenen Einzelkomponenten, wobei periphere Komponenten im Gegensatz zu konventionellen Maschinen fest integrierte Bestandteile des Gesamtsystems sind, sodass FFS als komplexe Einheit geplant werden muss.^[2]



Abb.1: Elemente eines FFS und deren Wechselwirkungen [1]

FFS gliedern sich in drei hauptsächliche Subsysteme^[3]:

1. Bearbeitungssystem

Beim Bearbeitungssystem ist automatische Bearbeitung unterschiedlicher Werkstücke in wahlfreier Folge unter Berücksichtigung von automatisiertem Werkstück- und Werkzeugwechsel.

2. Materialflusssystem

Materialflusssystem gliedert sich in Transport-, Lager- und Handhabungssysteme.

Materialflusssystem gewährleistet eine automatische, taktgebundene, variable Verkettung der Fertigungseinrichtungen, wie z.B. dem Lager und dem Bearbeitungssystem mit dem Transportsystem, Bsp.: Werkstückflusssystem und Werkzeugsystem.

3. Informationssystem

Informationssystem dient zur Prozesssteuerung und -überwachung, automatische Steuerung der Bearbeitungs- und Materialflusssysteme, und auch Online-Betriebsdatenerfassung.

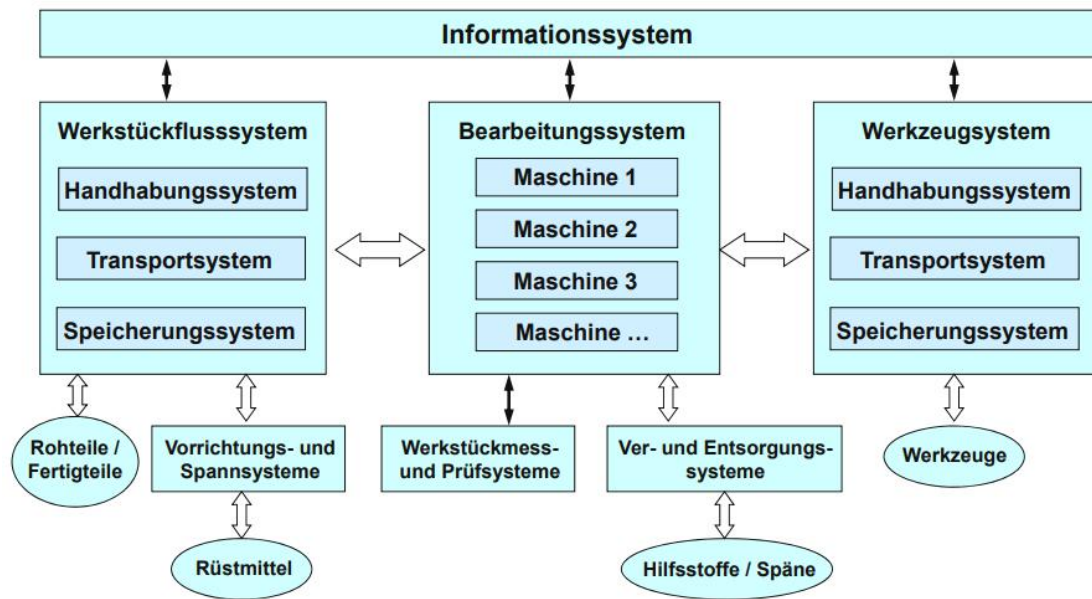


Abb.2: Komponenten und Schnittstellen eines flexiblen Fertigungssystems [2]

2.3.2 Varianten Flexibler Fertigungssysteme

Flexible Fertigungskonzepte weisen auf Grund ihrer jeweiligen Charakteristika unterschiedliche Einsatzbereiche auf. Die Einordnung wird allgemein nach den Hauptmerkmalen: Anzahl der unterschiedlichen Werkstücke, Jahresstückzahl pro Werkstück, Produktivität und Flexibilität vorgenommen.^[2]

Anhand dieser Merkmale lassen sich drei Einsatzbereiche abzuleiten^[2]:

- Einzelmaschinen: NC-Maschine, konventionelle Universalmaschinen, Bearbeitungszentrum
- Flexible Fertigungskonzepte: Fertigungsinsel, flexible Fertigungszelle, Flexibles Fertigungssystem.
- Starre Fertigungseinrichtungen: Flexible Transferstraße, konventionelle Transferstraße, Sondermaschinen.

In Abbildung 3 ist ein Überblick über die wichtigsten automatisierten Fertigungskonzepte für die spanabhebende Bearbeitung kleiner und mittlerer Stückzahlen gegeben^[2].

- Maschine: Der von mechanischen Elementen gesteuerte Automat ist heute weitgehend von der NC- oder CNC-Maschine abgelöst.
- Bearbeitungszentrum: Werkzeugspeicher und automatischer Werkzeugwechsler.
- Zelle: Eine oder mehrere Bearbeitungsmaschinen, die über einen Werkstückspeicher

verfügen. Zusätzlich können Handhabungsgeräte und Meßstationen integriert sein. Koordinierung durch einen zentralen Zellenrechner.

- Automatisiertes flexibles Fertigungssystem (AFFS) und Transferstraßen besitzen einen automatischen Werkstückfluss. Sie sind aus Rohteillager, Bearbeitungs-, Mess- und Montagestationen zusammengesetzt.^[3]

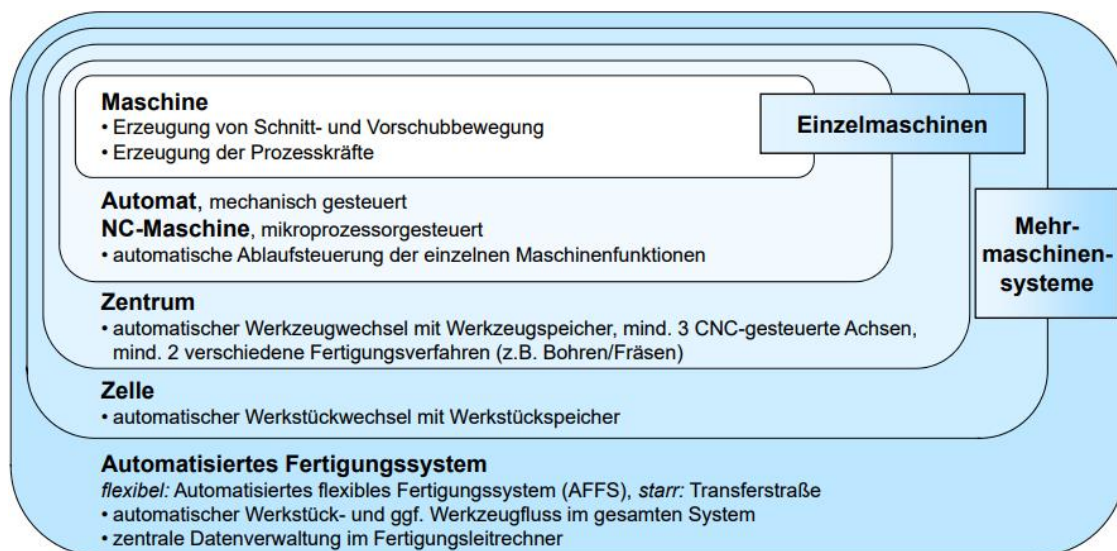


Abb.3: Einteilung von Fertigungssystemen nach dem Automatisierungsgrad [3]

2.4 Das Maschinenkonzept im FFS

2.4.1 Bearbeitungszentrum oder Flexible Fertigungszelle

Ein Bearbeitungszentrum ist eine NC- (meist CNC-) Werkzeugmaschine, die zur Ausführung von mindestens zwei Bearbeitungsoperationen und zu automatischem Werkzeugwechsel aus einem Magazin oder einer ähnlichen Speichervorrichtung entsprechend dem Bearbeitungsprogramm geeignet ist^[3].



Abb.4: Bearbeitungszentrum[4]

2.4.2 Werkzeugmagazin und Werkzeugwechsel

Werkzeugmaschinen sind häufig mit Werkzeugspeichern ausgestattet, aus denen je nach Bedarf Werkzeuge direkt oder über einen vollautomatischen Werkzeugwechsler in Arbeitsspindel oder Werkzeughalter eingewechselt werden können. Drehmaschinen besitzen häufig Revolver, die das benötigte Werkzeug nicht wechseln, sondern in die Arbeitsebene drehen. Bei modernen Werkzeugmaschinen wird zunehmend auch nach Ablauf einer programmierten Standzeit oder nach dem tatsächlichen Werkzeugverschleiß selbstständig ein bereitgestelltes Ersatzwerkzeug eingewechselt, sodass solche Maschinen dann in Kombination mit automatischen Werkstückwechslern weitgehend unbeaufsichtigt Werkstücke bearbeiten können.^[4]

Das Folgende sind drei verschiedene Magazinbauformen.

Tab. 2: Magazinbauformen [2]

| Magazinbauformen | Bild | Beschreibung |
|------------------|---|---|
| Kettenmagazin |  <p><i>Abb.5: Kettenmagazin [5]</i></p> | <ul style="list-style-type: none"> • Stationäre Ausführung mit schwenkbarer Wechseinheit • hier 86 Werkzeugplätze • Hauptzeitparallele Bereitstellung des neuen Werkzeuges im Doppelgreifer |
| Kassettenmagazin |  <p><i>Abb.6: Kassettenmagazin [6]</i></p> | <ul style="list-style-type: none"> • Stationäre Ausführung mit Handhabungsgerät in Portalbauweise, • hier zwischen 117 und 225 Werkzeuge, • Drehtischausführung für hauptzeitparallelen Werkzeugaustausch, • Automatischer Kassettenwechsel bei Einsatz in flexiblen Fertigungssystem |
| Scheibenmagazin |  <p><i>Abb.7: Scheibenmagazin [7]</i></p> | <ul style="list-style-type: none"> • Stationäre Ausführung mit automatisierter Wechseinheit • Hier 30 Werkzeugplätze |

2.4.3 Automatische Messeinrichtung

Moderne Werkzeugmaschinen besitzen Messsysteme, die zur Erfassung der Lage z. B. des Werkzeug oder eines Achsschlittens dienen. Die dazu nötigen Winkel- und Längenmessungen erfolgen überwiegend optoelektronisch, z. B. mit Inkrementalgebern oder Absolutwertgebern auf drehenden Wellen und direkt die Position messenden Glasmaßstäben. Des Weiteren sind ohmsche, induktive, kapazitive, magnetische oder elektromagnetische Wirkprinzipien der Aufnehmer üblich.^[5]

Bei den Messeinrichtungen unterscheidet man direkte und indirekte Wegmesssysteme. Bei beiden Messsystemen werden über Sensoren die zurückgelegten Skalenabschnitte gezählt, und aus dieser Anzahl wird dann der zurückgelegte Weg errechnet. Bei indirekten Wegmesssystemen ist die Skala kreisförmig angeordnet, so dass das System die Winkeländerung der Gewindespindel misst und über die Steigung des Gewindes dann die Wegänderung berechnet. Bei den genaueren direkten Wegmesssystemen ist die Skala parallel zur Bewegungsrichtung angebracht, so dass die Länge der Abschnitte direkt dem zurückgelegten Weg entspricht.^{[6][7]}

2.5 Materialflusssystem im FFS

Materialflusssystem ist die Bezeichnung für ein technisches System zum Lagern, Verteilen, Zusammenführen oder Bewegen von Waren und Gütern. Es besteht aus Fördertechnik und Lagertechnik und aus einem Informations- und Steuerungssystem.^[8]

2.5.1 Werkzeugverwaltung

Die Werkzeugverwaltung beinhaltet den automatischen Werkzeugaustausch zwischen dem Magazin an der Bearbeitungseinheit und einem zentralen Werkzeuglager, den automatischen Werkzeugwechsel zwischen Hauptspindel und Werkzeugmagazin einer Maschine, die Fixierung des jeweils programmierten Werkzeuges in der Arbeitsposition sowie die Überwachung der zulässigen Einsatzdauer und des technischen Zustandes während dieses Zeitraumes inklusive seiner Identifikation und Zuordnung zum Aufgabengebiet.^[2]

2.5.2 Werkstücktransport

Die Gesamtheit des Werkstücktransportes ist in Flexiblen Fertigungssystemen durch ein integriertes Transportsystem vorzunehmen, das sowohl eine technische als auch eine informationsorientierte Schnittstelle zum innerbetrieblichen Gesamtprozess sowie zur jeweiligen Leiteinheit des FFS besitzt. Da die werkstückseitige Verkettung der Bearbeitungsstationen das wesentliche Kennzeichen eines FFS darstellt, kommen dem Transportsystem die Aufgaben Erkennen, Handhaben und Transportieren der Werkstücke mit oder ohne Spannvorrichtungen zu.^[2]



Abb.8: Transferstraße [8]



Abb.9: Handling-Roboter von Yaskawa [9]

Um die Fertigung ähnlicher Werkstücke mit hohen Stückzahlen bei minimaler Durchlaufzeit zu realisieren, werden Bearbeitungsstationen in einer vorgegebenen Reihenfolge miteinander verkettet. Die Werkstücke durchlaufen alle Bearbeitungsstationen der Fertigungslinie. Der automatisierte Fertigungsablauf ist taktgebunden.^[9]

Die flexible Transferstraße kennzeichnen folgende Merkmale^[9]:

- Mehrere Bearbeitungsstationen sind zu einer Fertigungslinie verkettet
- das Werkstück durchläuft alle Bearbeitungsstationen
- der Werkstückfluss ist automatisiert und taktgebunden
- zur Abstimmung der Bearbeitungszeiten je Station werden Ausgleichspuffer eingerichtet.

Vorteile der flexiblen Transferstraße sind z. B. Hohe Produktivität, Minimierung der Durchlaufzeit und meist nur angelerntes Personal erforderlich.

Nachteile der flexiblen Transferstraße sind z. B. Beeinträchtigung der gesamten Fertigungslinie beim Ausfall einer Bearbeitungsstation und auch bei Änderungen des

Fertigungsprogramms ist eine aufwändige Taktabstimmung erforderlich.

2.6 Informationssystem

Informationssystem ist eine Summe aller geregelten betriebsinternen und -externen Informationsverbindungen sowie deren technische und organisatorische Einrichtung zur Informationsgewinnung und -verarbeitung.

Ein Informationssystem dient der rechnergestützten Erfassung, Speicherung, Verarbeitung, Pflege, Analyse, Benutzung, Verbreitung, Disposition, Übertragung und Anzeige von Information. Ein Informationssystem besteht aus Hardware (Rechner oder Rechnerverbund), Datenbanken, Software, Daten und all deren Anwendungen. Informationssysteme sind soziotechnische Systeme, die aus Teilsystemen für optimale Bereitstellung von Information und (technischer) Kommunikation dienen. Die dafür notwendige Kommunikation beschränkt sich i.a. auf technische Vorgänge, ohne auf die daran beteiligten Personen stärker einzugehen. Dies kann Probleme der zwischenmenschlichen Kommunikation vermeiden, aber solche auch verursachen bzw. bewusstmachen.^[10]

Die Abbildung 10 unten zeigt Aufgabenverteilung betrieblicher Informationssysteme. ERP-Systeme bilden das Rückgrat der betrieblichen Auftragsbearbeitung.

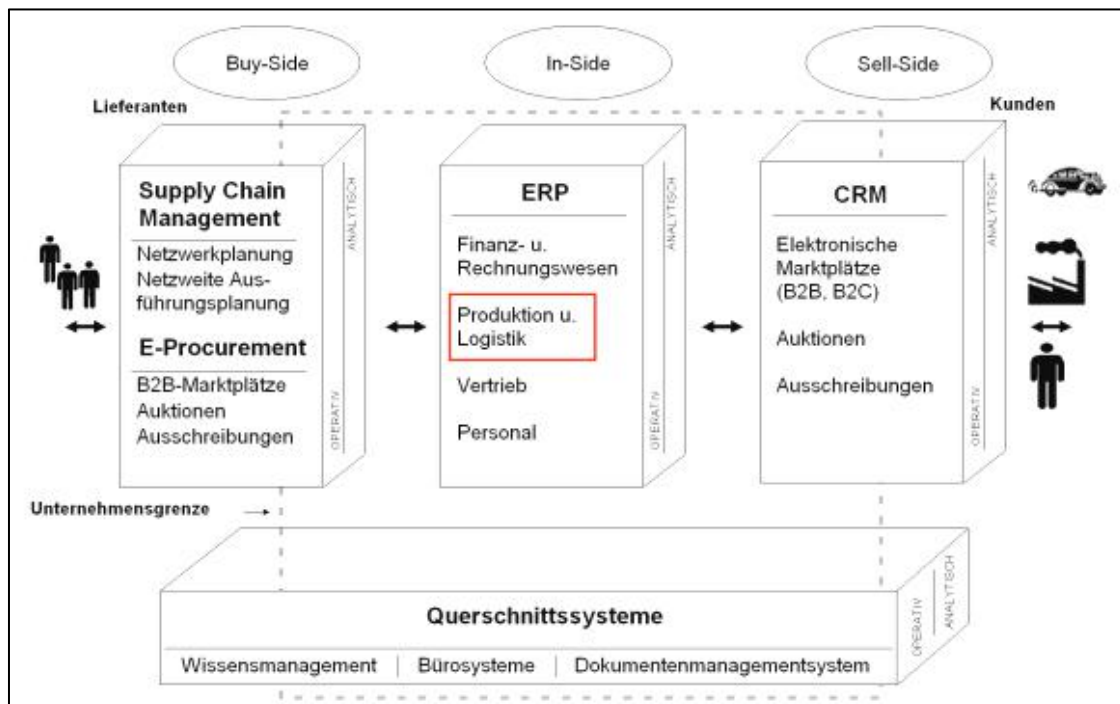


Abb. 10: Aufgabenverteilung betrieblicher Informationssysteme [10]

(Quelle: Gronau 2010, S. 11)

Die schwache Unterstützung der Fertigungssteuerungsaufgaben in den PPS-Systemen bzw. ERP-Systemen hat zu Beginn der 1990er Jahre zur Entwicklung von dedizierten Informationssystemen geführt, z. B. Leitstandssystemen. Derartige Systeme waren im Gegensatz zu den zentralen, hostbasierten PPS-Systemen PC- oder Workstation-basiert und nutzten zur Visualisierung von Terminierung und Maschinenbelegung die Möglichkeit der graphischen Benutzeroberfläche^[11].

Heute wird ein System, das die wesentlichen Funktionen der Fertigungssteuerung übernimmt und die Schnittstelle zu den Systemen der Produktionsebene (z. B. Flexible Fertigungssysteme, Roboter, automatisierte Lager- und Transportsysteme) realisiert, als Manufacturing Execution System (MES) bezeichnet. Der zunehmende Einsatz des Internet der Dinge und cyber-physischer Systeme (CPS) in der Produktion (Industrie 4.0) führt zu besseren Informationen über den Produktionsablauf (Datenmenge, -qualität und -aktualität), so dass neue Verfahren zur Fertigungssteuerung entwickelt werden können, bspw. Steuerung in Echtzeit (Echtzeitunternehmen) oder autonome Planung und Koordination der CPS (Multiagentensysteme).^[12]

2.7 Qualitätssicherung in flexiblen Fertigungslösungen

Stabile Bearbeitungsprozesse sind die Grundlage für eine gute Qualität.

Die Qualitätssicherung besteht darin, dass " ein Teil des Qualitätsmanagements darauf ausgerichtet ist, das Vertrauen in die Erfüllung der Qualitätsanforderungen zu schaffen."

Inspektion ist der Prozess des Messens, Untersuchens und Prüfens, um eine oder mehrere Eigenschaften eines Produkts zu messen und diese mit bestimmten Anforderungen zu vergleichen, um die Konformität zu bestimmen. Produkte, Prozesse und verschiedene andere Ergebnisse können inspiziert werden, um sicherzustellen, dass das Objekt, das von einer Produktionslinie kommt, korrekt ist und die Spezifikationen erfüllt. Eine Qualitätssicherung dient zur Festlegung und Erhaltung von Qualitätsstandards und ist ein Sammelbegriff für Methoden und Ansätze dafür.^[13]

Eine vorbeugende Qualitätssicherung wirkt Kosten senkend. Die Fertigungsprüfung dient der Qualitätslenkung, indem sie die laufende Fertigung überwacht und aus den Prüfergebnissen Daten zur Steuerung und Optimierung des Fertigungsprozesses zur

Verfügung stellt. Darüber spielt Fertigungsmesstechnik eine wichtige Rolle.

Mit Mehrkoordinatenmessgeräten erfolgt im Gegensatz zur konventionellen Abstandsmessung mit Einkoordinaten- und Unterschiedsmessgeräten eine punktweise Erfassung der Geometrielemente.

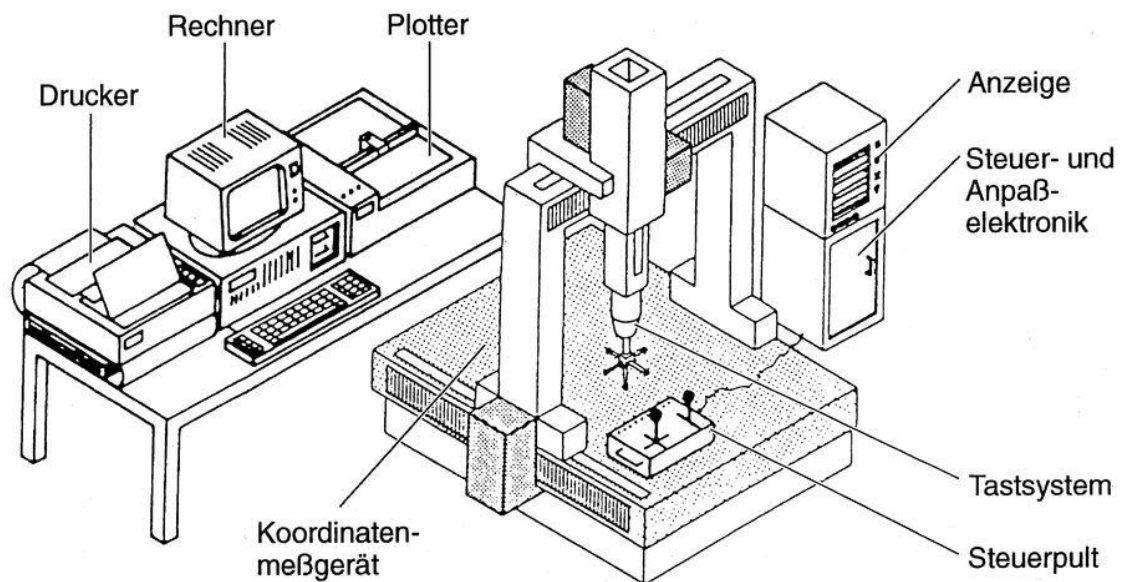


Abb.11: Koordinatenmessgeräte [11]

Nachfolgend werden mit Hilfe der analytischen Geometrie aus den Messpunktkoordinaten die Ist-Formelemente des Werkstücks berechnet und mit der im Rechner gespeicherten Sollgeometrie verglichen. Die ermittelten Maße, Maßabweichungen, Form- und Lageabweichungen werden ausgegeben oder zur schnellen Korrektur von Prozessparametern, zur Optimierung der Montage sowie für die statistische Messdatenverarbeitung weitergeleitet.^[14]

3. Schleifbearbeitung

3.1 Definition

Schleifen ist ein Verfahren der Oberflächenbearbeitung mit sehr präzisen Genauigkeiten und gehört nach DIN 8589 zu den Trennverfahren mit geometrisch unbestimmten Schneiden. Diese Technologie dient der Glättung von Oberflächen und Definition der Endkonturen, welche mit konventionellen Verfahren wie dem Drehen oder Fräsen nicht realisierbar sind. Doch beruht der Schleifvorgang auf einer ähnlichen Funktionsweise wie andere spanende Fertigungsverfahren und kann manuell oder mit automatisierten Schleifmaschinen ausgeführt werden. Dabei wird überschüssiges Material mit den Schleifwerkzeugen spanförmig abgetrennt und eine maximale Planheit der Oberfläche mit einer gleichbleibenden Abtragsrate erreicht. So können selbst die härtesten Materialien wie Hartmetall oder Keramik sicher und mit hohem Maß- und Formgenauigkeiten sowie einer optimalen Oberflächenrauheit wirtschaftlich bearbeitet werden.^[15]

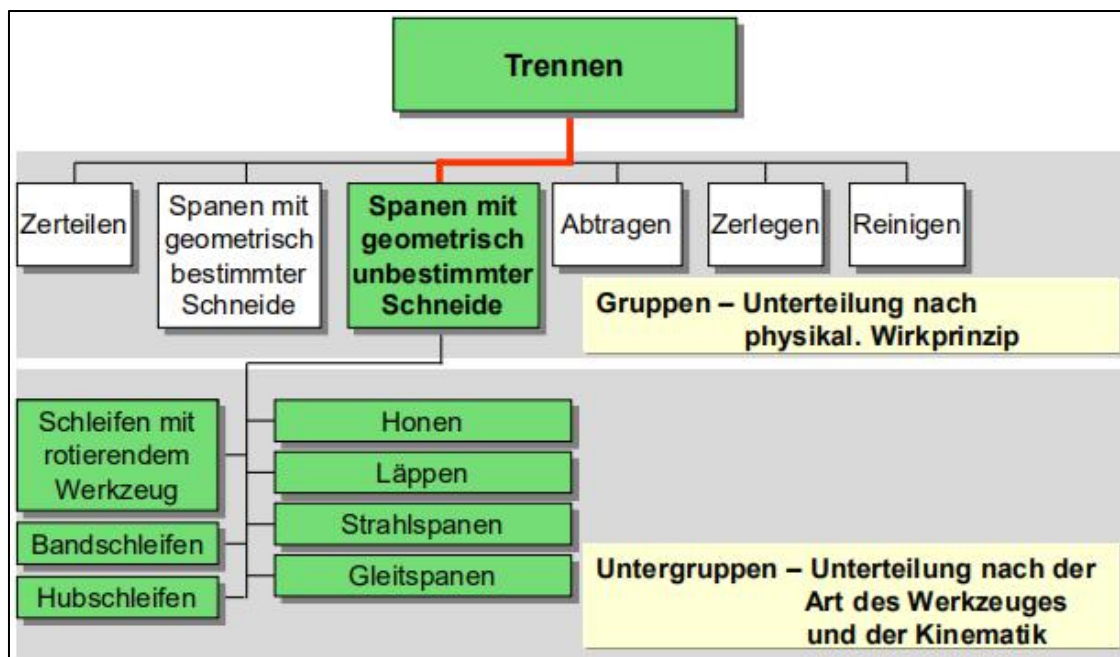


Abb.12: Spanen mit geometrisch unbestimmter Schneide DIN 8589 Teil 0 [12]

3.2 Schleifverfahren

Alle schleifenden Verfahren zählen zum Spanen mit gebundenem Korn. Das Wirkprinzip wird als „bahngebunden“ bezeichnet, da sich die einzelnen Körner auf einer durch das Werkzeug vorgegebenen Bahn bewegen.^[16]

Das Folgende sind verschiedene Schleifverfahren:

- Bandschleifen ist eine etablierte Methode zur effektiven Oberflächenbearbeitung. Aktuelle Verfahrensfortschritte gibt es durch neuartige präzisionsgeformete Keramik-Schleifkörner, mit denen Abtragsleistung und Langlebigkeit weiter verbessert werden konnten.
- Das Honen von Zylindern in einem Kurbelgehäuse (oft auch als Motorblock bezeichnet) ist ein entscheidender Prozess während der Restauration oder Überholung eines Motors. Richtig angewandt entscheidet es mit über Leistung, Laufruhe und Lebensdauer.
- Läppen gehört zu den schonendsten Bearbeitungsformen aller Schleifverfahren. Gleichzeitig sind kleine Rautiefen erreichbar. Möglich machen dies hochentwickelte Läppmittel, etwa auf Borcarbid Basis, die Diamant-ähnliche Eigenschaften aufweisen.
- Im industriellen Einsatz ist das Planschleifen an Planseiten von Werkstücken recht verbreitet, wie etwa bei Zylinderköpfen, wo es auf absolute Ebenheit ankommt. Es ist durch ein breites Spektrum an Verfahren und Einsatzmöglichkeiten geprägt. Bei hochfesten, spröden Werkstoffen wie Werkzeugstahl oder Keramik kommen als Schleifmittel Scheiben aus Diamant oder kubischem Bornitrid (CBN) zum Einsatz.
- Schruppschleifen wird zur Erzielung eines großen Spanvolumens in kurzer Zeit bei Metall oder Stein eingesetzt. Wichtig ist dabei, für jeden Werkstoff die entsprechende Scheibe mit dem passenden Schleifkorn zu wählen. Hochleistungskeramikkerne können die Standzeit dabei drastisch verlängern und die Bearbeitungszeit verringern.
- Trennschleifen ist ein bewährtes Verfahren zum Trennen von Metall und Stein bei gleichzeitig glatten, sauberen Kanten. Hierfür und für einen kühlen Schliff sorgen heute etwa scharfe Präzisions-Keramikschleifkörner moderner HighTech-Trennscheiben. Mit Gewebereinlagen-Verstärkung und halb-elastischer Kunstharzbindung halten sie auch hohen Belastungen stand.
- Das Rundschleifen ist nach DIN 8589 durch Ordnungspunkte gegliedert. Danach wird unterschieden nach Außen- und Innenrundbearbeitung, der eingesetzten Schleifbelagfläche und der Art der Einstech- oder Längsvorschubbewegung. Bild 13 zeigt die Verfahren zum Innen- und Außenrundschleifen mit Längsvorschub und radialem Vorschub.^[17]

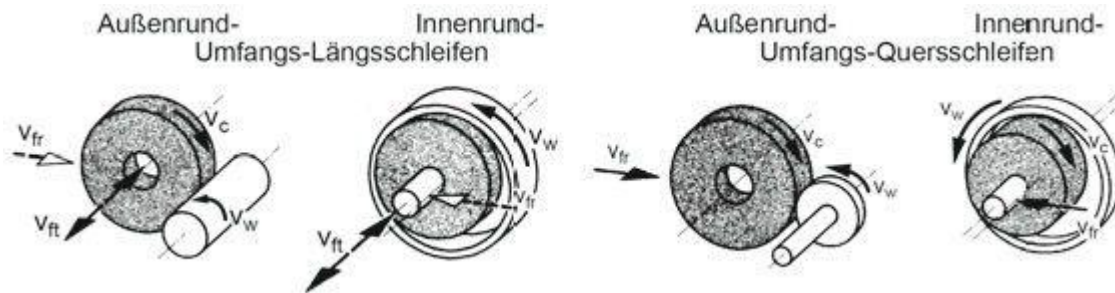
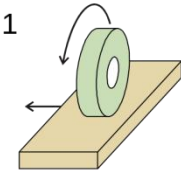
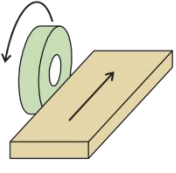
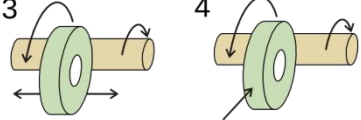
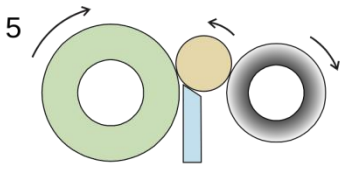
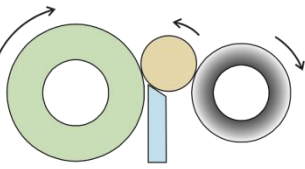


Abb.13: Außen- und Innenrundscheifverfahren [13]

Tab. 3: Beispiele diverser Schleifverfahren [3]

| Beispiele diverser Schleifverfahren | |
|--|--|
| 1.  | 1. Umfangs-Planschleifen |
| 2.  | 2. Seiten-Längsschleifen |
| 3.  | 3. Längs-Rundscheifen |
| 4.  | 4. Quer-Rundscheifen (Einstichschleifen) |
| 5.  | 5. Spitzenloses Rundscheifen |

3.3 Schleifmittel

Der Kornwerkstoff von Schleifmitteln sollte^[18]:

- möglichst hart und zäh sein, damit vom Werkstück Material abgetragen wird und Schleifkörner lange scharf bleiben;
- beständig sein gegen thermische (Wechsel-)Belastung, um hohen Bearbeitungstemperaturen und schnellen Temperaturwechseln standzuhalten, welche beim Schleifen durch Reibung entstehen;
- chemisch beständig sein, um bei hohen Drücken und Temperaturen im Kontakt Luft, Kühlschmierstoff und dem Material des Werkstücks keine unerwünschten chemischen Verbindungen einzugehen.

Man kann grundsätzlich zwischen natürlichen und synthetischen Schleifmittel unterscheiden. Technische Bedeutung haben nur die synthetischen Schleifmittel, von denen Elektrokorund, Siliciumcarbid, kubisch kristallines Bornitrid und Diamant die wichtigsten sind.

Kubisch kristallines Bornitrid ist nach Diamant das härteste Schleifmittel. Seine Herstellung erfolgt aus dem hexagonal kristallinen Bornitrid durch Kristallumwandlung. Gegenüber dem Diamanten weist kubisches Bornitrid eine höhere thermische Stabilität auf, da es erst oberhalb 1000 °C erste Oxidationserscheinungen zeigt.

Der Diamant gilt als härtestes Schleifmittel. Bei der Synthetisierung können gezielt die Eigenschaften des Diamanten gesteuert werden. Beim Schleifen von niedrig legierten kohlenstoffarmen Stählen ist der Diamantverschleiß wesentlich größer als man aufgrund seiner Härte vermuten könnte. Infolge der chemischen Affinität des Diamanten zu den Legierungsbestandteilen von Stahl bei höheren Temperaturen kommt es zu einem chemisch bedingten Verschleiß, zudem kommt es bereits bei einer Temperatur von 700 °C zu Oxidationserscheinungen.

Tab.4: Kornwerkstoffe [4]

| Schleifmittel | Anwendungen |
|--|--|
| Elektrokorund (Al ₂ O ₃) | Bearbeitung langspanender Werkstoffe mit hoher Zugfestigkeit; z. B. unlegierte, legierte, ungehärtete und gehärtete Stähle sowie Stahlguss |
| Siliciumcarbid (SiC) | Bearbeitung kurzspanender Werkstoffe mit zumeist niedriger Zugfestigkeit; z. B. Grauguss, Hartmetalle, NE-Metalle und nichtmetallische Werkstoffe |
| Sol-Gel-Korund | Bearbeitung langspanender Werkstoffe mit hoher Zugfestigkeit bei höheren Schnittgeschwindigkeiten u. Zeitspannungsvolumina |
| Kubisch kristallines Bornitrid (CBN) | Bearbeitung schwer zerspanbarer Schnellarbeitsstähle mit hohem Karbidanteil sowie Nickelbasislegierungen |
| Diamant | Bearbeitung von Hartmetall und Keramik, Glas, Beton, Naturund Kunststein, Kunststoff sowie Halbleiterwerkstoffen; nicht geeignet für die Bearbeitung von niedrig legierten, kohlenstoffarmen Stählen wegen der Affinität zu Eisen und Legierungselementen, sogenannten Carbiddbildnern |

3.4 Schleiftemperatur und Kühlung

Das Schleifen wird in nahezu allen Fällen zur Hart-Fein-Bearbeitung von metallischen Bauteilen (Werkstücken) eingesetzt. Beim Schleifen entsteht, gerade bei industrieller Anwendung auf CNC-Schleifmaschinen, verfahrensbedingt sehr viel Wärme. Zur Bauteilbearbeitung auf CNC-Schleifmaschinen wird eine poröse Schleifscheibe mit hoher Umfangsgeschwindigkeit in den Eingriff mit dem Bauteil gebracht und hebt so Späne von der Bauteiloberfläche ab. Schleifen ist ein spanendes Bearbeitungsverfahren mit geometrisch unbestimmter Schneide. Durch die Reibung zwischen der Schleifscheibe und dem Bauteil, sowie der Scherarbeit beim Heraustrennen der Späne aus dem Bauteil entsteht Wärme. Diese Wärme stellt eine der zentralen Herausforderungen beim Schleifen dar, denn sie kann im schlimmsten Fall zu einer Schädigung des Bauteils und damit zu dessen Ausschuss führen, da das Bauteil seine Belastungsanforderungen nicht mehr erfüllen kann (z.B. wegen Schleifbrand).

3.4.1 Kühlen von Bauteilen mit Kühlschmierstoff (KSS)

Durch übermäßigen Eintrag von Wärme in das Bauteil entsteht Schleifbrand, eine thermische Randzonenschädigung des Bauteils durch Anlass- und Neuhärtungszonen und/oder Mikrorisse. Schleifbrand verändert die Bauteileigenschaften, sodass das Bauteil unter Umständen für seinen Einsatzzweck unbrauchbar wird. Um Schleifprozesse zu stabilisieren und entsprechende Schnittgeschwindigkeiten sowie Zustellungen ermöglichen zu können, werden Schleifprozesse auf CNC-Schleifmaschinen mit Kühlschmierstoff (KSS) gekühlt. Hierzu werden entweder Öle oder Emulsionen (Öl + Wasser + Additive) verwendet. Durch den KSS wird die Reibung verringert und die Prozesswärme im KSS gebunden. Der Schleifprozess verläuft erheblich kühler und kann mit höherer Schnittgeschwindigkeit und Zustellung durchgeführt werden.

Neben der Kühlung des Schleifprozesses als primäre Aufgabe, kann der Kühlschmierstoff (KSS) noch weitere Aufgaben innerhalb der Werkzeugmaschine übernehmen. Die Reinigung der Schleifscheibe von Bearbeitungsrückständen zählt ebenso zu den Aufgaben des KSS, wie das Ausspülen von Spänen aus der Maschine oder das Ablöschen des Funkenstrahls.

Um den Kühlschmierstoff (KSS) an genau die Stelle in der Werkzeugmaschine zu fördern, an der er gebraucht wird, werden KSS-Düsen eingesetzt. Durch die

Kombination von Düsen- und Versorgungsparametern wird neben der Richtung auch den Volumenstrom und die Austrittsgeschwindigkeit des Kühlschmierstoffs eingestellt. Zum optimalen Betrieb der Bearbeitungsaufgabe muss eine genaue Abstimmung dieser Parameter, unter Berücksichtigung der Prozessparameter erfolgen.

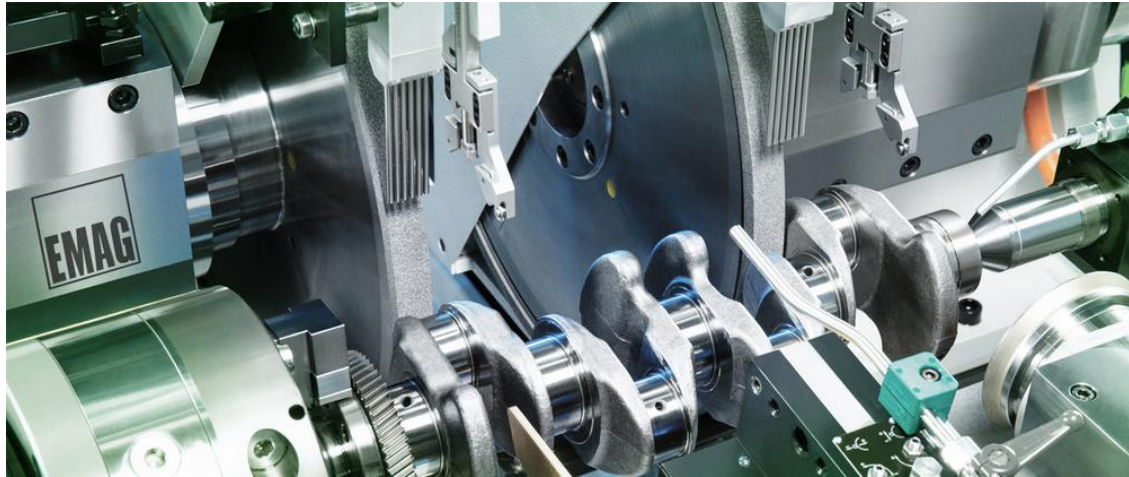


Abb.14: Prozesskühlung wurde mit Nadeldüsen [14]

3.4.2 Kühlen von Werkzeugen mit Kühlschmierstoff

Durch eine effektive Kühlung der Schleifscheibe wird die Standzeit erheblich verlängert, da dann auch hier eine deutlich geringere thermische Beanspruchung auftritt. Besonders die Schleifscheibe ist dieser thermischen Belastung während der gesamten Bearbeitungsdauer ausgesetzt. Zu hoher Temperatureintrag in die Schleifscheibe schädigt sowohl die Schleifscheibenbindung als auch die Schleifkörner. Auch Abrichtwerkzeuge müssen gekühlt werden, da beim Abrichten im Eingriff mit der Schleifscheibe viel Wärme entsteht. Um ein zufriedenstellendes Abrichterergebnis zu erhalten und auch eine entsprechende Lebensdauer des Abrichtwerkzeuges zu gewährleisten ist eine ausreichende Kühlung notwendig.

3.4.3 Kühlen von Kühlschmierstoff (KSS)

Durch seine hohe Wärmekapazität nimmt der Kühlschmierstoff (KSS) die anfallende Prozesswärme auf und führt diese aus der Bearbeitungszone ab. Durch die Aufnahme der Prozesswärme erwärmt sich der Kühlschmierstoff (KSS). Um die Verfahrenssicherheit nicht negativ zu beeinflussen muss der Kühlschmierstoff (KSS) gekühlt werden. Dies geschieht zentral bei der Kühlschmierstoffaufbereitung (KSS-Filtration) mit Hilfe von KSS-Kühlanlagen. Zur Kühlschmierstoff-Aufbereitung zählt auch die Filtration des Kühlschmierstoffs. Diese wird von speziellen KSS-Filtrationsanlagen übernommen.

4. Lösungsvarianten der Schleifbearbeitung

4.1 Variante 1

4.1.1 Rundschleifmaschine W 11 CNC

Wenn eine High-End-CNC-Maschine zu viel ist und eine konventionelle Maschine zu wenig, dann heißt die Lösung: EMAG WEISS W 11 CNC RUNDSCHEIFMASCHINE. Mit der W 11 CNC können Werkstücke mit einem Durchmesser von bis zu 350 mm und einer Länge von 2.000 mm bearbeitet werden.^[19]



Abb.15: Rundschleifmaschine W 11 CNC [15]

Die W 11 CNC Rundschleifmaschine ist prädestiniert für die Einzelteil- und Prototypenfertigung. Auch bei Kleinserien mit nur kleinen Durchmessern, beim Paarungsschleifen, bei der Musterfertigung und in den Bereichen der Ausbildung und Instandhaltung kommt die Rundschleifmaschine zum Einsatz.^[19]

Die W 11 CNC Rundschleifmaschine bietet folgende Ausführung:

- hydraulikfrei
- Achsantriebe mit Servomotor und Kugelgewindetrieb
- Technologieeingabe der Schleifparameter via Touchscreen
- automatisches Parallelabrichten mit Kompensation
- automatisches Freifahren

Werkstückspindelstock, Reitstock und Schleifspindelstock

Die Spindelaufnahme (MK4/MK5/MK6) bietet eine Präzisionsspindellagerung mit einem Rundlauf kleiner 0,5 μm . Die Drehzahl ist stufenlos von 1 – 650 U/min

einstellbar, optional sind 2.000 U/min möglich. Weitere Optionen sind:

- stehende Spitze
- Sonderspannmittel, Zentralklemmung

Der Reitstock (MK4) ist manuell und pneumatisch mit Fußschalter bedienbar. Die Pinolenaufnahme (MK4) ermöglicht eine Beladung zwischen Spitzen bis zu einem Gewicht von 250 kg. Der Pinolenhub beträgt 45 mm. Der Schleifspindelstock verfügt über eine Präzisionsspindellagerung/Schräggugellager oder hydrodynamische Gleitlagerung.^[19]

Folgende Schleifscheibenabmessung sind möglich:

- Ø 400/500 mm, Breite 10 – 120 mm
- Antriebsleistung 4,5 – 7,5 kW

Optional steht eine B-Achse (direktangetriebene Torqueachse) zum stufenlosen Schwenken/Positionieren des Schleifspindelstocks zur Verfügung. Weitere Optionen sind:

- Transformation der Drehpunktkoordinaten der Schleifscheibe
- SUG
- GAP-/Crash-Control

Tab. 5: Technische Daten von Rundschleifmaschine W 11 CNC [5]

| | | |
|------------------------------------|----------|----------------------------|
| Spitzenlänge | mm in | 650 / 2.000 25,5 / 78,5 |
| Spitzenhöhe | mm in | 180 / 320 7 / 12,5 |
| Schleif-Ø außen | mm in | 1 / 350 0 / 14 |
| max. Werkstückgewicht fliegend MK4 | kg lb | 100 / 250 220,5 / 551 |
| max. Werkstückgewicht zw. Spitzen | kg lb | 250 / 450 551 / 992 |

4.1.2 Qualitätskontrolle von W 11 CNC RUNDSCHLEIFMASCHINE

Die Qualitätskontrolle kann durch die Steuerung der W11 realisieren.

Die Steuerung der W 11 ist eine moderne, schnelle, schleiforientierte Steuerung mit einer Windows-Oberfläche sowie USB- und Netzwerk-Schnittstelle zur einfachen Programmverwaltung. Die Programmierung erfolgt über eine Dialogoberfläche oder wahlweise in DIN/ISO-Programmierung.^[19]

Sämtliche gängigen Schleifzyklen sind im Basisumfang enthalten. Als Optionen stehen unter anderem ein DXF-Konverter, Geometrie-Editor und Sonderschleifzyklen zur Verfügung.^[19]

Mit der CNC-Steuerung ist ein automatisches Abrichten, Schleifen von mehreren Durchmessern, Abspeichern von Schleifabläufen, Konturabrachten und auch Kegelschleifen im Bahnbetrieb problemlos möglich.

Mit dem Abrichten wird ein genauer Rundlauf und eine korrekte geometrische Form der Schleifscheibe erreicht. Zudem dient das Abrichten dazu, eine Schleifscheibe zu profilieren bzw. zu kalibrieren. Es hat auch den Zweck, Verunreinigungen und die stumpf gewordene Körnerschicht aus dem Schleifkörper herauszubrechen und somit scharfe Körner freizulegen. Dadurch wird die Wärmeentwicklung beim Schleifvorgang reduziert.^[20]

Dies verbessert die Oberflächenglätte des Werkstücks bis zu einem gewissen Grad, wodurch die Qualität des Werkstücks optimiert wird.

4.2 Variante 2

4.2.1 WUG 21 --- CNC-Universal-Rundschleifmaschine

Flexibles Außen- und Innenschleifen können mit der universalen Rundschleifmaschine WUG 21 realisieren.

Mit der CNC-Universal-Rundschleifmaschine WUG 21 muss man sich nicht für das eine oder das andere entscheiden, denn mit nur einem Knopfdruck kann zwischen manuellem oder vollautomatischem Schleifen gewechselt werden. Dank dieses Features sowie des breiten Ausstattungskatalogs ist die Rundschleifmaschine WUG 21 die ideale Maschine für Kleinserien, Einzelteile und die Prototypenfertigung.^[19]



Abb.16: WUG 21 – CNC-Universal-Rundschleifmaschine [16]

Zum breiten Ausstattungskatalog der CNC-Universal-Rundschleifmaschine WUG 21 gehören alleine 25 verschiedene Varianten zum Aufbau des Schleifspindelstocks, die unterschiedlichste Kombinationen von Außen- und Innenschleifspindeln ermöglichen. Dafür lässt sich die Schleifspindel mit einer B-Achse für ein schnelles und hochpräzises Schwenken ausstatten. Neben den Schleifspindeln besteht die Option, einen 4-fach Revolver zu integrieren, der sich wahlweise mit Drehwerkzeugen (für das Hart-Vordrehen) oder zusätzlichen Innenschleifspindeln ausrüsten lässt. Damit können zahlreiche Bearbeitungsszenarien umgesetzt werden. Die Universal-Rundschleifmaschine WUG 21 ermöglicht Schleiflängen von 650/1000/1500/2000 mm und Spitzenhöhen von 200/250/320 mm.^[19]

Ebenso flexibel zeigt sich der Werkstückspindelstock mit seiner Spindelaufnahme MK4/MK5/MK6 und einer Präzisionsspindellagerung mit einem Rundlauf kleiner 0,5 μm . Die Drehzahl lässt sich stufenlos auf bis 1000 U/min regeln und erlaubt ein Werkstückgewicht von fliegend 100 – 250 kg (je nach Ausstattung).

Die perfekte Ergänzung dazu ist der Reitstock mit einer Pinolenaufnahme MK4, ebenfalls für ein Werkstückgewicht zwischen Spitzen bis 250 kg.

Im automatischen Betrieb sorgt eine moderne, schnelle und schleiforientierte Steuerung mit Windowsoberfläche sowie USB- und Netzwerk-Schnittstelle zur einfachen Programmverwaltung für optimale Prozesse. Die Programmierung erfolgt über eine Dialogoberfläche oder wahlweise in DIN/ISO-Programmierung. Im Standard sind sämtliche gängigen Schleifzyklen enthalten.^[19]

Optionen:

- Inprozess-Messsteuerung
- automatisches Auswuchten
- GAP-Sensorik
- Transformation B-Achse
- Unrundscheifen 2D/3D
- rotierendes Abrichtrad
- Hochfrequenzspindel in verschiedenen Ausführungen
- Touchprobe zum aktiven Längspositionieren
- Automatisierung mit Ladeportal oder Roboter

Tab.6: Technische Daten von WUG 2 [6]

| | | |
|---|----------|-----------------------------------|
| Schleiflänge max. | mm in | 650 / 2.000 25,5 / 78,5 |
| Spitzenhöhe | mm in | 250 / 250 / 320 10 / 10 / 12,5 |
| Schleifbarer Durchmesser | mm in | 360 / 500 14 / 19,5 |
| Schleiflänge (Scheibe links) | mm in | 650 / 2.000 25,5 / 78,5 |
| Schleiflänge (Scheibe rechts 26°) | mm in | 450 / 1.750 17,5 / 69 |
| Werkstückgewicht zw. Spitzen* | kg lb | 300 / 400 661,5 / 882 |
| *Option mit Linearschiene Z-Achse bis 500 kg zwischen den Spitzen | | |

Vorteile:

- Wechsel zwischen manuellem und automatisiertem Betrieb mit nur einem Knopfdruck
- hochflexibles Maschinensystem dank zahlreicher Optionen
- moderne, schnelle und schleiforientierte Steuerung

Beispiel kombinierte Rundschleifbearbeitung ist wie folgende Abbildung 16 gezeigt:
Fliegend Außenrundscheifen eines Präzisionsspindelflansch mit einer 15 kW

Außenschleifspindel \varnothing 240 mm h5 mit Rundlauf/Planlauf $< 1 \mu\text{m}$ Aufbau mit Touchprobe und GAP-Fluidsensor Schleifen in einer Operation, Schwenken auf die vorgewählte Schleifscheibe über die B-Achse, Schwenkgenauigkeit $0,0001^\circ$.^[19]

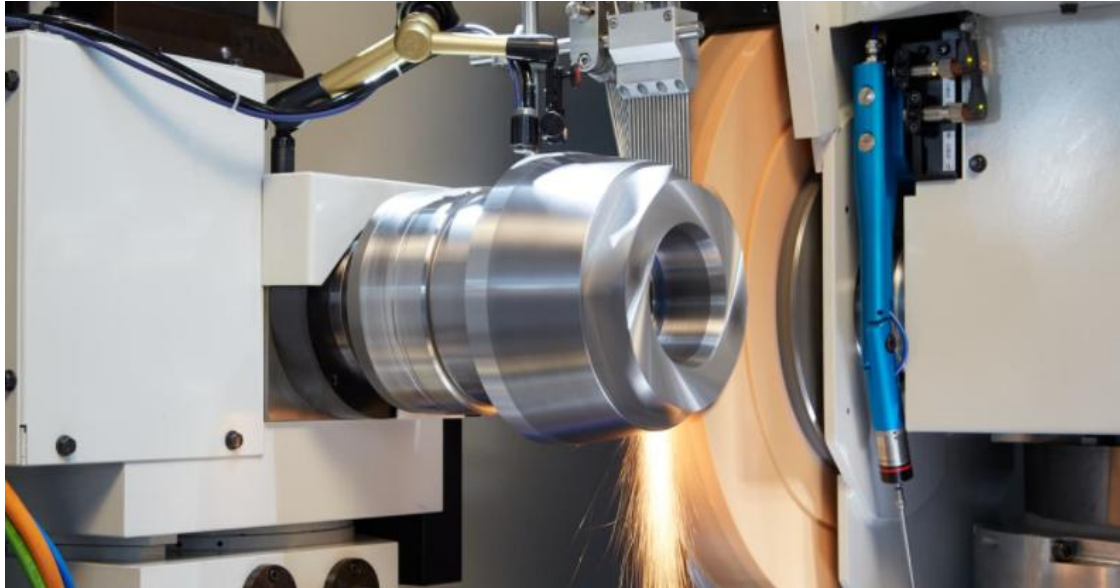


Abb.17: kombinierte Rundschleifbearbeitung [17]

4.2.2 Qualitätskontrolle von WUG 21 mit EMAG MachineStatus

EMAG MachineStatus bietet eine übersichtlich aufbereitete Anzeige von Betriebs- und Energieeffizienzdaten von einer bzw. mehrerer EMAG Maschinen. Ob Tablet, Laptop oder Desktop-PC – das System lässt sich auf jede Anforderung anpassen.

MachineStatus bietet eine schnelle Übersicht über alle Maschinen in der Produktion und liefert Kennwerte und Analysen. Diese Kennzahlen ermöglichen klare Rückschlüsse auf die Produktivität und Effizienz der Maschinen und informieren den Nutzer über Betriebszustand, Betriebsdaten und den Energieverbrauch.

Mit MachineStatus verfügt der Anwender über eine Softwarelösung, die ihm auf Tastendruck detaillierte Angaben zu Stückzahlen, Taktzeiten, Messergebnissen sowie zu Strom- und Luftverbrauch liefert.^[19]

EMAG MachineStatus besteht aus vier Komponenten:

1. EMAG Wifi SecureConnect, ein WLAN Router zur sicheren Vernetzung der Maschine mit den Endgeräten.
2. MachineStatus-Operate, die eigentliche Analysesoftware, die auf der

NC-Steuerung installiert wird und die Daten für die Endgeräte zur Verfügung stellt.

3. MachineStatus-Sensor, ein Datentracker für die Energieverbrauchsanalyse.

MachineStatus-Device, die Software, die auf einem beliebigen Endgerät installiert wird, um die Analysedaten aufzubereiten.^[19]

Vorteile:

- Alle Betriebs- und Produktionsdaten übersichtlich überall verfügbar
- Gutteile- / Ausschussteile-Statistiken für Qualitätsanalysen
- Effizienzvergleiche über Produktionsschichten
- Vergleich der Maschineneffizienz inklusive Benchmarking
- Werkzeugverschleißanalysen auch über mehrere Aufträge
- Energieeffizienzanalyse der einzelnen Maschinen bzw. Vergleich der Energieeffizienz mehrerer Operationen

4.3 Variante 3

4.3.1 VERTIKALE SCHLEIFMASCHINE VG 110


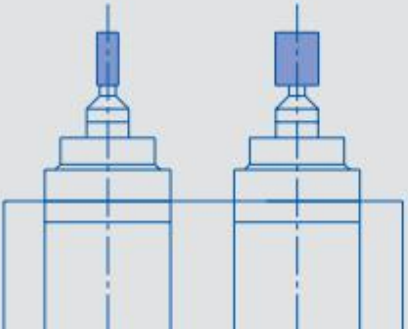
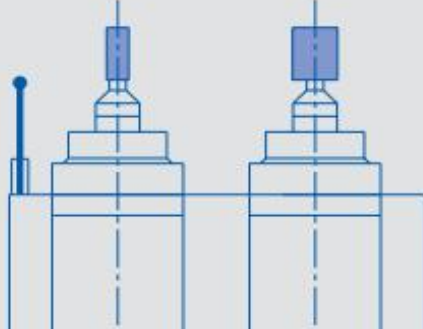
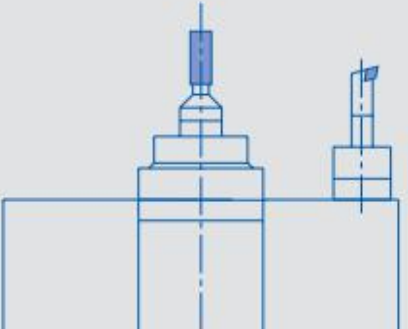
Die vertikale Planschleifmaschine ist ein wahrer Alleskönner zur Präzisionsbearbeitung (z.B. Innenschleifen und Planschleifen) kleiner Futterteile. Mit der modularen Baureihe der VG 110 Planschleifmaschinen kann der Anwender wahlweise „klassisch“ schleifen oder ihre Multifunktionalität mit der Kombinationsbearbeitung „Drehen und Schleifen“ in einer Maschine voll ausnutzen. Hauptanwendungsgebiet dieser Innenschleifmaschinen ist die wirtschaftliche Bearbeitung kleiner Werkstücke von 2 bis 60 mm Durchmesser in großen Stückzahlen.



Abb.18: Schleifmaschine VG110 [18] Abb.19: interne Schleifmaschine VG110 [19]

Zum Einsatz kommen die klassischen Schleifverfahren wie Innenrundscheifen, Innenschleifen, Außenrundscheifen, Planschleifen, Unrundscheifen sowie die Kombinationsbearbeitung Hartdrehen und Schleifen. Dabei werden alle durch Drehen prozesssicher herstellbaren Partien weich oder hart fertiggedreht. Anschließend, meist nach dem Vordrehen, werden diese in derselben Werkstückspannung nur noch dort finishgeschliffen (z.B. Planschleifen), wo es die Qualität erfordert. Dadurch wird eine höhere Werkstückqualität erreicht und gleichzeitig die Taktzeit verkürzt. Zudem reduziert sich der Verschleiß der Schleifwerkzeuge und damit die Anzahl der Abrichtvorgänge.^[19]

Tab.7: Bearbeitung-klasisch oder kombiniert [7]

| | |
|---|---|
|  |  |
| <p>Auf der Z-Achse können eine oder zwei Schleifspindeln aufgebaut werden.</p> | <p>Die Schleifspindeln werden dem Werkstückspektrum entsprechend ausgelegt.</p> |
|  |  |
| <p>Zusätzlich zum Schleifprozess ist es auch möglich zu honen und zu messen.</p> | <p>Anstatt einer zweiten Innenschleifspindel lässt sich der Werkzeugträger auch mit einem Drehwerkzeug bestücken. Damit ist eine sehr kostengünstige und schnelle Komplettbearbeitung eines Werkstücks gegeben.</p> |

Die Planschleifmaschine VG 110 steht für kurze Verfahwege, hohe Geschwindigkeiten, extreme Steifigkeit und ein integriertes Kühlsystem. Dies führt zu kurzen Nebenzeiten, zu hoher Produktivität und Präzision. Um höchste Bearbeitungsgenauigkeiten an kleinen Werkstücken erzielen zu können, sind die X- und Z-Achse getrennt. Die vertikale Z-Achse ist mit einem Linearantrieb ausgestattet. Dadurch lassen sich schnelle und kurze Oszillierhübe für die Schleifspindeln realisieren. Die X-Achse ist genauigkeitsbestimmend und in der Vertikalanordnung komplett aus dem Arbeitsraum der Innenschleifmaschine herausgenommen. Das hochauflösende Messsystem ist lediglich 100 mm von der Bearbeitung entfernt – eine optimale Voraussetzung für extrem hohe Genauigkeiten.^[19]

Die VG 110 Planschleifmaschine zeichnet sich durch eine extrem kompakte Bauform ohne Zusatzaggregate aus. Der Energiecontainer sowie die Fluid- und Elektrokomponenten sind an der Rückseite angebracht. Die beispiellos gute Zugänglichkeit und die große Rüstfreundlichkeit zeichnen die VG 110 Planschleifmaschine aus.^[19]

Die VG 110 bietet dabei alle Features moderner Schleiftechnologie:

- Schleifwerkzeuge – z.B. keramische oder galvanische CBN-Schleifscheiben
- Schleifsensorik – adaptives Schleifen, Anschnitterkennung, Touch-Abrichten
- Abrichttechnologie – Abrichtspindel zum Einsatz von Diamantformrollen

Durch das modulare Maschinenkonzept kann die Werkzeugausrüstung an die geforderte Bearbeitungsaufgabe angepasst werden. Folgende Varianten sind möglich:

- + Eine oder zwei Innenschleifspindeln zum Rund- oder Unrundschleifen
- + Eine Innen- oder eine Außenschleifspindel und ein Drehwerkzeug

Tab.8: Technische Daten von VG110 [8]

| | | |
|---------------------------|----------|----------------------|
| Futter-Ø max. | mm in | 100 / 190 4 / 7,5 |
| Bearbeitungs-Ø innen max. | mm in | 60 2,5 |
| Schleiflänge max. | mm in | 40 1,5 |
| Verfahweg X | mm in | 460 18 |
| Verfahweg Z | mm in | 225 9 |

4.3.2 Qualitätskontrolle von VG110

Kombiniert mit automatischen Be- und Entladesystemen erreicht die VG 110 eine optimale Wirtschaftlichkeit für hohe und höchste Stückzahlen bei gleichzeitig bedienungsarmem Betrieb. Als Steuerung kommt die Sinumerik 840 Dsl zum Einsatz. Eine komfortable Software erleichtert die Programmierung und Bedienung der Maschine.^[19]

Die vertikale Planschleifmaschine von EMAG ist auch mit EC-Daten ausgestattet. EC Data stellt die Rückverfolgbarkeit von Produktions- und Qualitätsdaten sicher EC Data ist ein Softwarepaket, das die Rückverfolgbarkeit von Produktions- und Qualitätsdaten eines Werkstücks ermöglicht. Bei Produktionslinien, das heißt mehreren Bearbeitungsmaschinen, werden die Daten zentral gesammelt und stehen auf einem SQL-Server zur weiteren Verarbeitung zur Verfügung. Des Weiteren bietet EC Data Exportschnittstellen für Q-DAS, Excel und viele weitere Systeme.^[19]

EC Data ermöglicht die Rückverfolgbarkeit jedes einzelnen Werkstücks. Dabei werden sowohl die gesamten Informationen zu den Bearbeitungsergebnissen gespeichert und dokumentiert als auch Betriebs- und Prozessdaten der Maschinen. Jedes Werkstück bekommt hierfür einen eindeutigen Namen und wird damit identifizierbar.

EC Data steuert hierbei die Namensgebung und das Datenmanagement auch über mehrere Fertigungssysteme hinweg. Für jedes Werkstück entsteht so eine Historie mit allen produktionstechnisch-relevanten Informationen. Damit sind die Fertigungsergebnisse auch noch nach Jahren verfügbar und eine durchgängige Qualitätssicherung und Dokumentation ist gewährleistet. Werkstücke, die beispielsweise für eine externe Qualitätssicherung aus dem Fertigungsprozess entnommen wurden, können über die Werkstückidentifikation problemlos wieder in das Fertigungssystem eingebracht werden. Da die gesamte Bearbeitungshistorie vorliegt, wird das Werkstück automatisch zum entsprechend nächsten Fertigungsschritt transportiert und fertigbearbeitet.^[19]

Die Kontrolle aller Daten im Verarbeitungsprozess ist auch eine Qualitätsgarantie.

5. Bewertung von allgemeinen Lösungsvarianten

Die Verwendung von Bearbeitungszentren verbessert die Verarbeitungsqualität und -effizienz von Produkten und spart Arbeitskosten. Es ist wichtig, die am besten geeignete CNC-Maschine entsprechend den Produktionsanforderungen auszuwählen.

Ich bewerte durch folgende Bewertungskriterien:

- Arbeitssicherheit
- Zuverlässigkeit
- Präzision
- Flexibilität
- Wartungsarmut
- Anschaffungskosten
- Energieeffizienz
- Steuerung
- Produktivität
- Geschwindigkeit

Tab.9: Vergleich von drei Schleifmaschine [9]

| Schleifmaschine | W 11 CNC | WUG 21 | VG 110 |
|--|----------|--------|--------|
| Arbeitssicherheit | 2 | 2 | 2 |
| Zuverlässigkeit | 2 | 2 | 2 |
| Präzision | 2 | 2 | 2 |
| Flexibilität | 0 | 1 | 2 |
| Wartungsarmut | 1 | 0 | 1 |
| Anschaffungskosten | 1 | 1 | 1 |
| Energieeffizienz | 1 | 2 | 2 |
| Steruerung | 1 | 2 | 2 |
| Produktivität | 1 | 2 | 2 |
| Geschwindigkeit | 1 | 1 | 2 |
| Summe | 12 | 15 | 18 |
| Gewichtung [%] | 60% | 75% | 90% |
| (Zahlen in der Tabelle: 0-normal, 1-gut, 2-Sehr gut) | | | |

$$\text{Gewichtung} = \frac{\sum \text{Summe}}{\sum \text{Summe}_{\max}} \times 100\%$$

Die W 11 CNC Rundschleifmaschine ist prädestiniert für die Einzelteil- und Prototypenfertigung. Dies ist nicht für das Konzept des wirtschaftlichen Nutzens von Unternehmen geeignet.

Kombiniert mit automatischen Be- und Entladesystemen erreicht die VG 110 eine optimale Wirtschaftlichkeit für hohe und höchste Stückzahlen bei gleichzeitig bedienungsarmem Betrieb.

Die Vorteile von VG110 sind:

- + Höchste Präzision
- + Optimale Zugänglichkeit, schnelles Rüsten
- + Geringer Platzbedarf
- + Geringe Span-zu-Span-Zeiten
- + Spänefall nach unten
- + Komplettbearbeitung in einer Aufspannung
- + Optional: Drehwerkzeug
- + Einfache Bedienung
- + Pre- und Post-Prozess-Messung möglich
- + Rund- und Unrundscheifen

Aus dieser Tabelle können wir auch passende Anlage einfach auswählen. VERTIKALE SCHLEIFMASCHINE VG 110 ist die am besten geeignete Lösung.

6. Darstellung des Zusammenhangs im FFS

Ich werde die Bearbeitung von Wälzlager bzw. Außenring und Innenring als Beispiel verwenden, um den gesamten Verarbeitungsablauf eines automatisierten flexiblen Fertigungssystems und die Beziehung zwischen den verschiedenen Teilen zu erklären.

Der gesamte Bearbeitungsprozess ist komplizierter. Der Aufbau eines flexiblen Fertigungssystems ist in der Abbildung 20 in einer vereinfachten Form dargestellt.

Erkennbar sind 4 Elemente:

- Werkzeugmaschinen mit numerischer Steuerung, mit einem Werkzeugmagazin und mit Aufspanntischen für eine automatisierte Beschickung,
- ein Transportsystem, in dem die Werkstücke auf Paletten gespannt oder frei transportiert werden können,
- ein überlagertes Informationssystem, das sowohl die Maschinen als auch das Transportsystem steuert und überwacht,
- Arbeitsplätze im System, an denen die Aufgaben personell bewältigt werden, die von der Technik nicht vollautomatisch gelöst werden.

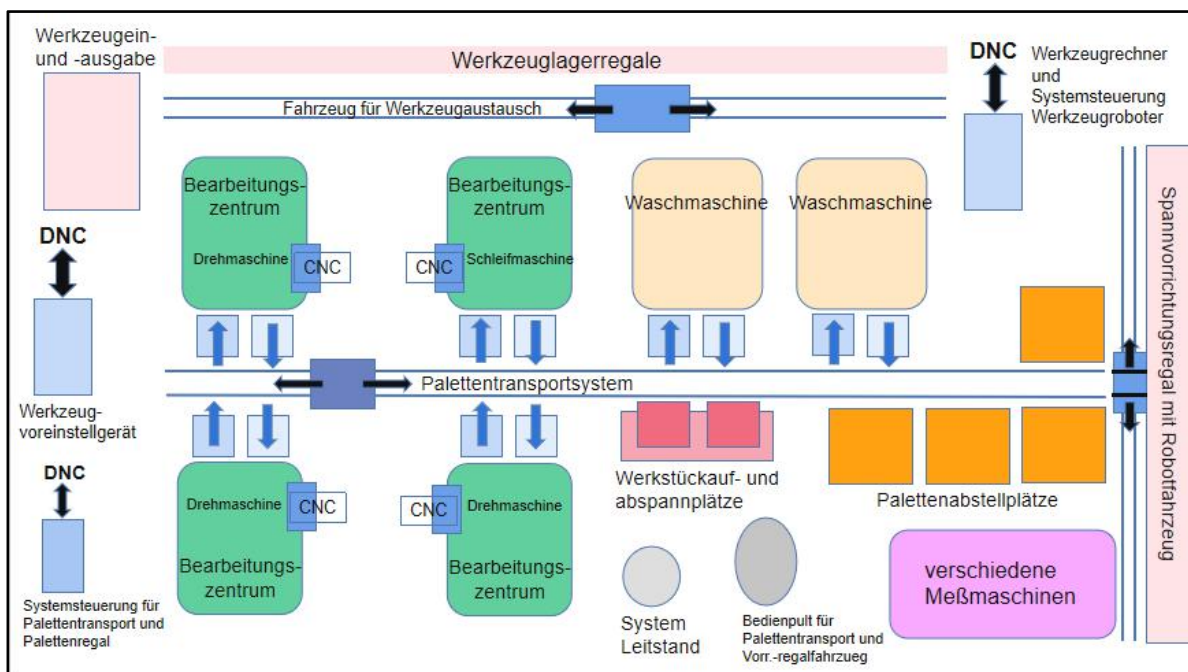


Abb.20: Systemlayout eines flexiblen Fertigungssystems [20]

6.1 Materialfluss

Der Materialfluss entsteht durch eine Aneinanderreihung von Vorgängen zur Erzielung des Endproduktes. Das Material für die Ringe ist in der Regel ein niedrig legierter, durchhärtender Chromstahl von hoher Reinheit.

Das Materialflusssystem übernimmt die Ver- und Entsorgung der Produktion durch Erfüllung der Funktionen Transportieren, Umschlagen, Lagern und Kommissionieren, und zwar für:

- den Werkstückfluss: Werkstücke, Montageteile, Fertigwaren
- den Werkzeugfluss: Werkzeuge, Vorrichtungen, Prüfmittel
- Hilfsstoffe, Späne, Abfälle.

Der gesamte Materialfluss ist wie folgt gezeigt:

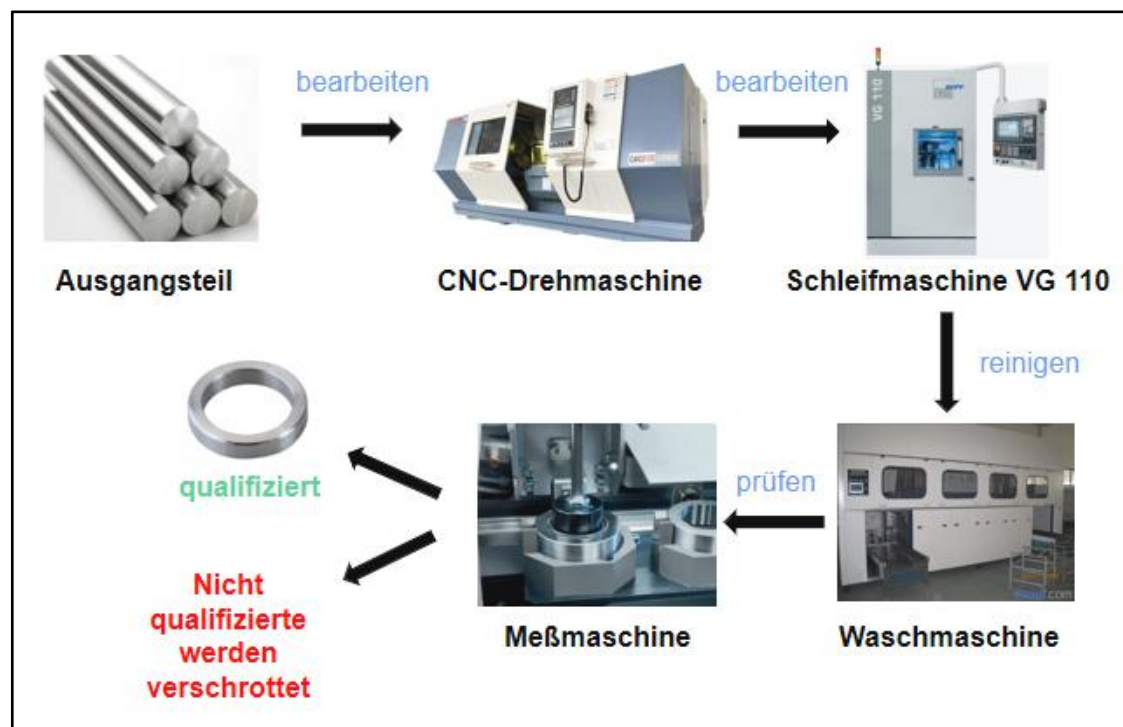


Abb.21: Materialfluss [21]

Die Ausgangsteile werden durch Drehmaschine und Schleifmaschine bearbeitet. Anschließend werden die Werkstücke über das Transportsystem zur Reinigungsanlage transportiert. Schließlich werden die Fertigteile gesammelt, die die Prüfung bestehen. Ebenso werden nicht qualifizierte Werkstücke gesammelt und verschrottet. Nach Erreichen einer bestimmten Menge wird es ins Lager geliefert.

6.2 Transport

6.2.1 Palettentransportsystem



Abb.22: Palettentransportsystem [22]

Die Fahrerlosen Transportsysteme von GEBHARDT Fördertechnik erfüllen autonom und kooperativ logistische Aufgaben. Dabei nutzen die eingesetzten FTS eine dynamische Routenplanung, wodurch eine lose Verkettung von Prozessmodulen realisiert wird. Die autonomen, intelligenten und selbstorganisierten Fahrzeuge für die Intralogistik und Montage werden je nach Bedarf mittels einer induktiven oder optischen Spurführung navigiert und zusätzlich durch RFID Sensoren unterstützt. Diese werden vor Gabelungen, Stationen, etc. neben der Navigationsspur im Boden eingebaut, um das FTS auf maximal zehn Millimeter genau zu positionieren. Zusätzlich ist es möglich über optische 2D-Barcodes eine Positioniergenauigkeit von maximal fünf Millimeter zu ermöglichen. Dabei wird die induktive Variante durch die Messung des Magnetfelds über Linienleiter ermöglicht, während die optische Navigation durch ein kamerabasiertes Sensorensystem erfolgt. Dieses Sensorensystem erkennt die lackierten oder aufgeklebten Navigationslinien und ist störungsunempfindlich gegen Reflektion, Sonneneinstrahlung und Hallenbeleuchtung. Die FTS erkennen durch einen integrierten Sicherheitsscanner eigenständig Hindernisse, so dass sie Ihre Geschwindigkeit verringern und stehen bleiben können. Bleibt die Strecke durch ein anderes Fahrzeug belegt, ist das FTS dazu in der Lage, in den Energiesparmodus zu wechseln und meldet die Belegung der Strecke weiter. Sobald die Strecke wieder frei ist, fährt das FTS automatisch weiter. ^[21]

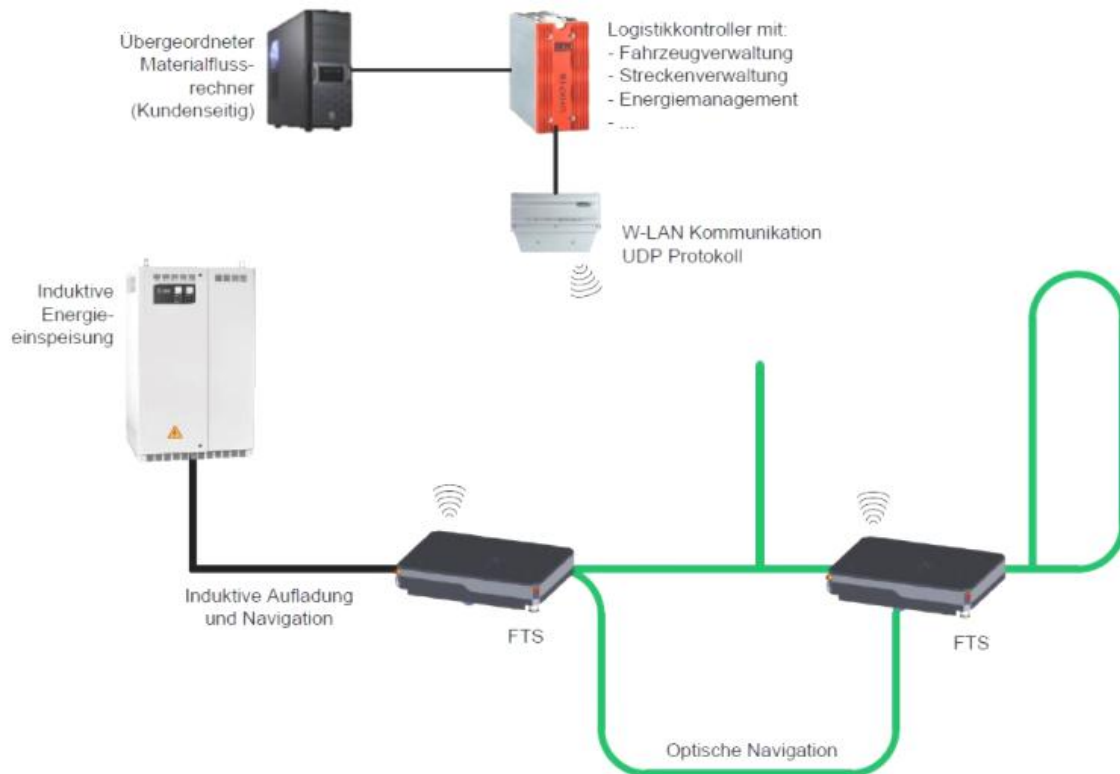


Abb.23: Materialflussrechner [23]

Der übergeordnete Materialflussrechner, welcher kundenseitig betrieben wird, ist durch einen Logistikcontroller mit der Fahrzeugverwaltung, Streckenverwaltung, Energiemanagement, etc. verbunden und kommuniziert über W-LAN samt UDP Protokoll mit den einzelnen Fahrerlosen Transportsystemen.

Die Bedienung der Fahrerlosen Transportsysteme erfolgt über einen bedienungsempfindlichen Bildschirm. Dadurch ist es möglich durch eine Bedienschnittstelle den Status oder einen Fehler des FTS direkt vor Ort abzufragen. Weiterhin besteht die Möglichkeit das Fahrzeug manuell über eine Schnittstelle zu steuern.

Die Fahrerlosen Transportsysteme existieren in drei verschiedenen Ausführungen, um Lasten von 350kg bis zu 3000kg bei einer Geschwindigkeit von maximal 1,5m/s zu transportieren. Die autonomen Transportsysteme sind durch die Kombination von standardisierten Baugruppen in verschiedenen Ausführungen erhältlich.^[21]

6.2.2 Schwingförderer

Der Zentrifugalförderer ist ein Zuführsystem, welches mit sehr hoher Taktfrequenz (bis zu 1000 Teile/min) die nachfolgenden Arbeitsstationen mit Werkstücken versorgt. Geräuscharm und vibrationsfrei, eignen sich unsere Zentrifugalförderer besonders für die Zuführung von Komponenten, die eine sehr schonende Zuführung benötigen sind, aus Kunststoff, Gummi oder Metall. Unsere Zentrifugalförderer werden von unseren Technikern vollständig auf Ihre Bedürfnisse angepasst.^[22]

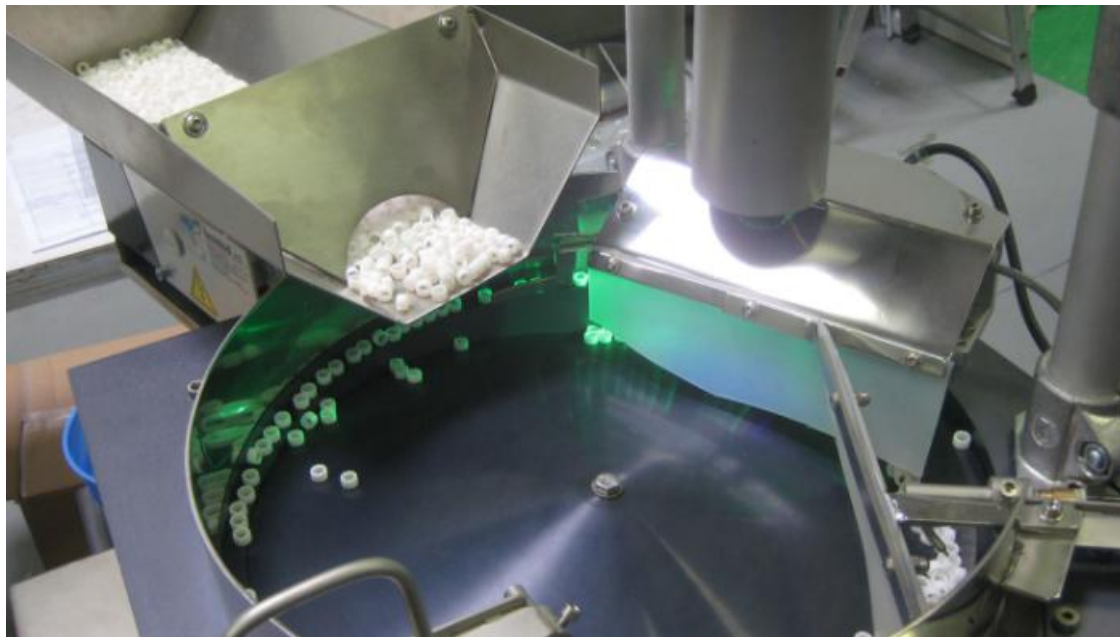


Abb.24: Schwingförderer [24]

Die gereinigten Teile werden zu diesem Schwingförderer transportiert und nach ordentlicher Anordnung überprüft.

6.2.3 Knickförderer Modulband

Geknickte Variante des Modulbandförderers für mobile Einsatzmöglichkeiten und zum vertikalen Transportieren.

Der Modulbandförderer KFM-P 2040 ist die geknickte Variante dieses Fördertyps. Die Knicke sind im Winkel variabel auslegbar. Durch die Mobilität kann der KFM-P als bewegliche Transporteinheit flexibel zur Befüllung von Containern oder Gitterboxen eingesetzt werden. In Kombination mit Geraden (MBF-P 2040) und vertikalen Kurven (KMF-P m2040) ist das Streckenlayout flexibel an jegliche vorhandene Umgebungsbedingung anpassbar und es kann nahezu jeder Streckenverlauf im

dreidimensionalen Raum realisiert werden.

Modulbandförderer sind äußerst robust und bieten Einsatzmöglichkeiten für nahezu jede Transportanwendung. Sie sind verschleißfester als Gurte und können auch dort eingesetzt werden, wo scharfkantiges Transportgut befördert werden muss oder wo eine raue Anwendungsumgebung herrscht. Das Fördersystem ist aufgrund verschiedener Kettenmaterialien zudem lebensmitteltauglich, für hohe Temperaturen geeignet und chemisch beständig.

Aufgrund seines formschlüssigen Antriebs sind Modulbandförderer auch bei geringen Breiten sehr hoch belastbar. Zudem können durch die seitliche Führung des Bandes Seitenkräfte abgefangen werden, wodurch Werkstücke auch quer abgeschoben werden können. Ein weiterer Vorteil ist, dass Flüssigkeiten vom Transportgut durch die Kette abtropfen können und die Reinigung der Modulbandkette somit einfach und schnell möglich ist.^[23]

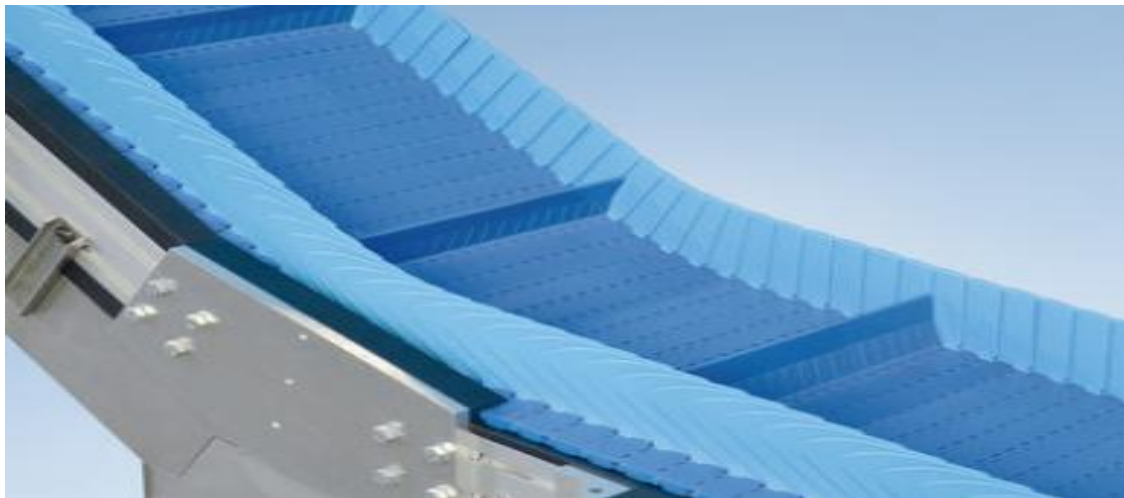


Abb.25: Knickförderer Modulband [25]

Der Modulbandförderer kombiniert mit automatischen Be- und Entladesystemen.

6.3 Qualitätskontrolle für Werkstücke und Schleifkörper

Um die Qualität des Werkstücks und der Schleifscheibe zu gewährleisten. Ich ergreife Maßnahmen unter Qualitätsplanung, Qualitätssteuerung und Qualitätsprüfung.

6.3.1 Qualitätsplanung

Die Qualitätsplanung umfasst die Aufgaben der Qualitätssicherung im Stadium der ersten Schritte der Produktentwicklung (bzw. der Produktplanung). Die (erreichbare) Qualität eines Produkts wird zu einem großen Teil bestimmt durch die Qualität des Entwurfs. Hauptaufgaben sind die Festlegung allgemeiner Richtlinien zur Qualitätslenkung und -prüfung sowie die Auswahl der Qualitäts-/Prüfmerkmale und die Festlegung ihrer geforderten und ihrer zulässigen Werte (Toleranzen).

Der wichtigste Planungsschritt ist es, die Grundsätze des Unternehmens zu dokumentieren. Weiters sollen konkrete Ziele und Maßnahmen festgelegt werden, damit diese erreicht werden können. In dieser Phase muss man erkennen wo mögliche Fehlerquellen liegen, um diese berichtigen zu können. Dies bedeutet, dass Verbesserungsvorschläge gefunden, ausgewählt und vollständig geplant werden müssen. Verfahren wie Brainstorming, Prozess-FMEA, Fehlerbaumanalyse, DOE, Poka-Yoke und SPC können dazu herangezogen werden.^[24]

6.3.2 Qualitätssteuerung

Die Qualitätssteuerung (oft auch als Qualitätslenkung bezeichnet) wird definiert als Planung, Überwachung und Korrektur der Ausführung eines Produktes oder einer Tätigkeit mit dem Ziel, im Anschluss an die Qualitätsplanung unter Verwendung der Qualitätsprüfung und Qualitätsdaten die vorgegebenen Qualitätsanforderungen zu erfüllen.

Die vertikale Planschleifmaschine von EMAG ist auch mit EC-Daten ausgestattet. EC Data ermöglicht die Rückverfolgbarkeit jedes einzelnen Werkstücks. Dabei werden sowohl die gesamten Informationen zu den Bearbeitungsergebnissen gespeichert und dokumentiert als auch Betriebs- und Prozessdaten der Maschinen.^[24]

6.3.3 Qualitätsprüfung

Die klassische Qualitätsprüfung ist produktorientiert. Sie prüft qualitätsrelevante Merkmale wie Geometrie, Oberfläche, Aussehen, usw. Im Rahmen eines unternehmensweiten Qualitätsmanagementkonzepts stellen die bei der Qualitätsprüfung gewonnenen Daten eine Quelle wichtiger betrieblicher Qualitätsinformationen dar.^[24]

Zusätzlich wurde verschiedene Meßmaschine zur Prüfung von Werkstücken in Betrieb genommen, wie folgt gezeigt:

- Rundheitsprüfgerät
- Profil- und Oberflächengüte
- Koordinatenmessmaschine

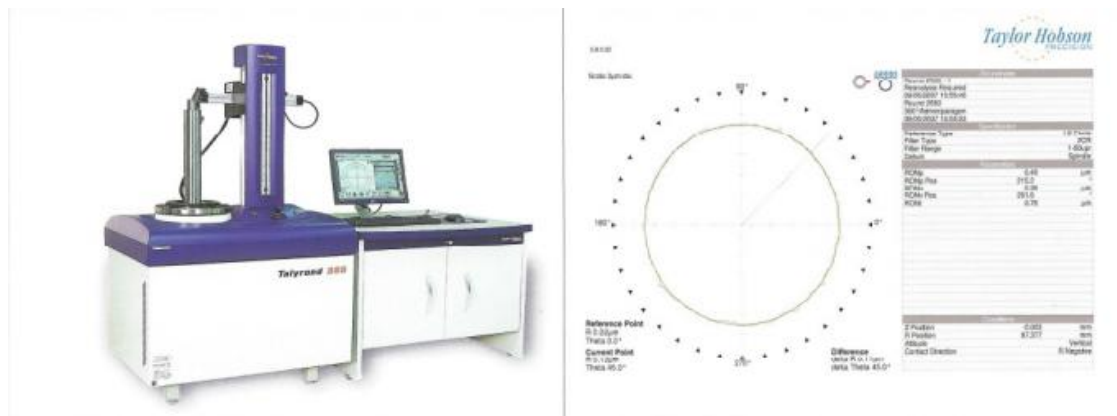


Abb.26: Rundheitsprüfgerät [26]

Es gibt auch die Meßmaschine für Schleifkörper:



Abb.27: Meßmaschine für Schleifkörper [27]

Das Voreinstellgerät HELISET misst komfortabel und einfach Schleifscheiben, wodurch Maschinenstillstände reduziert werden. Während die Schleifmaschine Werkzeuge produziert, kann bereits offline der nächste Schleifscheibensatz vorbereitet werden. Das Messgerät überzeugt durch einfache Bedienung und geführte Messsequenzen am Schleifscheibenpaket. Datenausgabe inklusive.^[25]

7. Zusammenfassung

In dieser Bachelorarbeit erstelle ich das Konzept für ein automatisch arbeitendes Fertigungssystem zur Schleifbearbeitung mit integrierter Qualitätskontrolle.

Zuerst habe ich das flexible Fertigungssystem analysiert. Ich erklärte, was ein flexibles Fertigungssystem ist und welche Vor- und Nachteile es hat. Ich analysierte auch jeder Teil des gesamten Prozesses.

Dann habe ich das theoretische Wissen über das Schleifen zusammengestellt. In Bezug auf die Schleifbearbeitung habe ich außerdem drei verschiedene automatisierte CNC-Maschinen aufgelistet und analysiert. Nach meinen eigenen Bedürfnissen habe ich die am besten geeignete Schleifmaschine ausgewählt.

Schließlich stellte ich ein automatisiertes flexibles System zur Schleifbearbeitung dar. Ich erklärte auch den Materialfluss, das Transportsystem und die spezifischen Qualitätskontrollverfahren des Werkstücks und der Schleifkörper.

Flexible Fertigungssysteme gelten als effiziente Lösung zur Reduzierung von Nebenzeiten. Zunehmend gewinnt die Automatisierung in mannigfaltiger Form in der Produktionstechnik an Bedeutung.

Durch die Bachelorarbeit habe ich viel über das flexible Fertigungssystem gelernt. Ich bedanke mich bei allen, die mich beim Schreiben meiner Bachelorarbeit unterstützt haben. Besonderer Dank geht an meinen Betreuer, Professor Dr.-Ing. Rolf Kademmann und Dipl.-Ing. (FH) Thomas Kirchhofer für hilfreichen Vorschläge.

8. Quellenverzeichnis

- [1] W. Eversheim: Organisation in der Produktionstechnik. Band 4: Fertigung und Montage. Düsseldorf 1989, ISBN 3-18-400841-X, S. 44f.
- [2] Fertigungssysteme; Prof. Dr.-Ing.R.Kademann; Hochschule Merseburg.
- [3] WZM_II_VL_09 - Flexible Fertigungssysteme.pdf; TUB.
- [4] M. Weck, C. Brecher: Werkzeugmaschinen. 5. Auflage. Band 1, Springer, 1998, S. 494–533.
- [5] M. Weck, C. Brecher: Werkzeugmaschinen. Band 3: Mechatronische Systeme, Vorschubantriebe, Prozeßdiagnose. 5. Auflage. Springer, Berlin/ Heidelberg 2001, S. 40–88.
- [6] H. K. Tönshoff: Werkzeugmaschinen. Springer, Berlin 1995, S. 220–233.
- [7] J. Milberg: Werkzeugmaschinen – Grundlagen. 2. Auflage. Springer, Berlin 1995, S. 318–322.
- [8] <https://logistikknowhow.com/logipedia/materialflusssystem/> , abgerufen am 06.08.2020.
- [9] <https://www.wiwiweb.de/fertigungstechnik/> , abgerufen am 06.08.2020
- [10] https://www.is.inf.uni-due.de/wiki/images/3/32/Vortrag_Fadwa_Siham.pdf, abgerufen am 10.08.2020.
- [11] Scheer, August-Wilhelm: Fertigungssteuerung : Expertenwissen für die Praxis. München et al. : Oldenbourg, 1991.
- [12] Lasi, Heiner; Fettke, Peter; Kemper, Hans-Georg; Feld, Thomas; Hoffmann, Michael: Industrie 4.0. In: WIRTSCHAFTSINFORMATIK 56 (2014) 4, S. 261-264.
- [13] <https://www.qualitaet-ist-messbar.de/>, abgerufen am 10.08.2020.
- [14] Masing Handbuch Qualitätsmanagement, Herausgeber: Tilo Pfeifer, Robert Schmitt, 05/2014,ISBN: 978-3-446-43992-4, S. 537-551.
- [15] <https://oberflaechen-bearbeitung.de/fertigungsverfahren/schleifen/>, abgerufen am 16.08.2020.
- [16] Fritz, Schulze: Fertigungstechnik. 11. Auflage. Springer, S. 338.
- [17] <https://www.maschinewerkzeug.de/>, abgerufen am 16.08.2020.
- [18] Wilfried König, Fritz Klocke: Fertigungsverfahren. Band 2: Schleifen, Honen, Läppen. 3., grundlegend neu bearbeitete und erweiterte Auflage. VDI u. a., Düsseldorf u. a. 1996, ISBN 3-540-62349-3.
- [19] <https://www.emag.com/de/maschinen/>, abgerufen am 20.08.2020.
- [20] [https://de.wikipedia.org/wiki/Konditionieren_\(Schleifen\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Konditionieren_(Schleifen)), abgerufen am 28.08.2020
- [21] <https://www.gehardt-foerdertechnik.de/de/produkte/fahrerlose-transportsysteme/>, abgerufen am 20.08.2020.

- [22] <http://www.icm-automation.com/de/zufuehrtechnik/>, abgerufen am 20.08.2020.
- [23] <https://www.mk-group.com/produkte/foerdertechnik/>, abgerufen am 20.08.2020.
- [24] https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-642-13475-3_8.pdf,
abgerufen am 25.08.2020.
- [25] <https://www.walter-machines.com/de/werkzeugbearbeitungsmaschinen/>,
abgerufen am 26.08.2020.

9. Abbildungsverzeichnis

| Abb-Nr. | Bezeichnung | Seite |
|----------------|---|--------------|
| 1 | <i>Elemente eines FFS und deren Wechselwirkungen [1]</i> | 8 |
| 2 | <i>Komponenten und Schnittstellen eines flexiblen Fertigungssystems [2]</i> | 9 |
| 3 | <i>Einteilung von Fertigungssystemen nach dem Automatisierungsgrad [3]</i> | 10 |
| 4 | <i>Bearbeitungszentrum [4]</i> | 10 |
| 5 | <i>Kettenmagazin [5]</i> | 11 |
| 6 | <i>Kassettenmagazin [6]</i> | 11 |
| 7 | <i>Scheibenmagazin [7]</i> | 11 |
| 8 | <i>Transferstraße [8]</i> | 13 |
| 9 | <i>Handling-Roboter von Yaskawa [9]</i> | 13 |
| 10 | <i>Aufgabenverteilung betrieblicher Informationssysteme [10]</i> | 14 |
| 11 | <i>Koordinatenmessgeräte [11]</i> | 16 |
| 12 | <i>Spanen mit geometrisch unbestimmter Schneide DIN 8589 Teil 0 [12]</i> | 17 |
| 13 | <i>Außen- und Innenrundscheifverfahren [13]</i> | 19 |
| 14 | <i>Prozesskühlung wurde mit Nadeldüsen [14]</i> | 22 |
| 15 | <i>Rundscheifmaschine W 11 CNC [15]</i> | 23 |
| 16 | <i>WUG 21 – CNC-Universal-Rundscheifmaschine [16]</i> | 26 |
| 17 | <i>kombinierte Rundscheifbearbeitung [17]</i> | 28 |
| 18 | <i>Scheifmaschine VG110 [18]</i> | 29 |
| 19 | <i>interne Scheifmaschine VG110 [19]</i> | 29 |
| 20 | <i>Systemlayout eines flexiblen Fertigungssystems [20]</i> | 35 |
| 21 | <i>Materialfluss [21]</i> | 36 |
| 22 | <i>Palettentransportsystem [22]</i> | 37 |
| 23 | <i>Materialflussrechner [23]</i> | 38 |
| 24 | <i>Schwingförderer [24]</i> | 39 |
| 25 | <i>Knickförderer Modulband [25]</i> | 40 |
| 26 | <i>Rundheitsprüfgerät [26]</i> | 42 |
| 27 | <i>Meßmaschine für Schleifkörper [27]</i> | 42 |

10. Tabellenverzeichnis

| Tab-Nr. | Bezeichnung | Seite |
|----------------|---|--------------|
| 1 | Vor- und Nachteile der Simulation | 7 |
| 2 | Magazinbauformen | 11 |
| 3 | Beispiele diverser Schleifverfahren | 19 |
| 4 | Kornwerkstoffe | 20 |
| 5 | Technische Daten von Rundschleifmaschine W 11 CNC | 24 |
| 6 | Technische Daten von WUG 2 | 27 |
| 7 | Bearbeitung-klasisch oder kombiniert | 30 |
| 8 | Technische Daten von VG110 | 31 |
| 9 | Vergleich von drei Schleifmaschine | 33 |