

Robert Meyer  
Th.-Müntzer-Weg 16  
07743 Jena  
Matr.Nr. 240313



Annett Friedrich  
Georg-Büchner-Str. 4  
07749 Jena  
Matr.Nr. 758825

# **Dokumentation zur Fabrikplanung**

Studienarbeit

**Fabrikplanung**

Prof. Dr.-Ing. Schmager

Vertiefungsrichtung Produktionstechnik und -management

am

FB Wirtschaftsingenieurwesen FH Jena

SS 2006

Abgabe 31.07. 2006

## Inhaltsverzeichnis

|  |     |
|--|-----|
| Inhaltsverzeichnis .....   | I   |
| Abbildungs- und Tabellenverzeichnis .....  | III |
| 1. Aufgabe .....   | 1   |
| 1.1 Ausgangssituation .....  | 1   |
| 1.2 Aufgabenstellung .....   | 1   |
| 1.3 Ergebnisdarstellung .....  | 2   |
| 1.4 Zusatzinformation .....  | 2   |
| 2. Lösung .....  | 4   |
| 2.1 Aufbereitung des Produktionsprogramms .....                                    | 4   |
| 2.2 Funktionsbestimmung für die zu planende Produktionsstätte .....                | 5   |
| 2.2.1 Analyse der Produktstruktur und Ableitung der Fertigungsstufen .....         | 5   |
| 2.2.2 Gruppierung der Fertigungsverfahren, Festlegung des Fertigungsprinzips ..... | 6   |
| 2.2.3 Arbeitsablaufschemata .....  | 7   |
| 2.2.4 Ableitung des Funktionsschemas .....   | 8   |
| 2.2.5 Zuordnung der Betriebsmittel und der Qualifikation der Arbeitskräfte .....   | 9   |
| 2.2.6 Planungskonventionen .....   | 10  |
| 3. Dimensionierung des Betriebsmittel-, Personal- und Flächenbedarfes .....        | 11  |
| 3.1 Anzahl der Fertigungsplätze je Fertigungsplatzgruppe .....                     | 11  |
| 3.1.1 Die erforderliche Maschinenbelegungszeit .....                               | 11  |
| 3.1.2 Die planbare Maschinenbelegungszeit .....                                    | 13  |
| 3.1.3 Anzahl der erforderlichen Betriebsmittel .....                               | 15  |
| 3.1.4 Auslastung der Betriebsmittel .....  | 16  |
| 3.2 Ermittlung des Arbeitskräftebedarfes .....                                     | 19  |
| 3.2.1 Plausibilitätskontrolle von Arbeitskräften und Betriebsmitteln .....         | 22  |
| 3.2.2 Ergebnis der Personalbedarfsplanung .....                                    | 23  |
| 3.3 Ermittlung des Flächenbedarfes .....   | 23  |
| 3.3.1 Produktionsfläche $A_P$ .....  | 23  |
| 3.3.2 Fertigungsplatzfläche $A_{FP}$ .....   | 24  |
| 3.3.3 weitere Flächen .....  | 25  |
| 3.3.4 Ergebnis des Flächenbedarfes .....   | 25  |
| 4. Strukturierung .....  | 27  |

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 4.1   | Erstellung der Transportmatrix auf Basis des Transportaufkommens ..... | 27 |
| 4.2   | Ermittlung der Anordnungsreihenfolge .....                             | 29 |
| 4.3   | Anordnung der Objekte auf dem Dreiecksraster .....                     | 31 |
| 5     | Gestaltung.....  | 33 |
| 5.1   | Erarbeitung des Ideallayouts .....                                     | 33 |
| 5.2   | Erstellung von zwei Groblayoutvarianten.....                           | 34 |
| 5.3   | Auswahl der Vorzugslösung über einen Variantenvergleich.....           | 36 |
| 6     | Nachweis der Wirtschaftlichkeit der Investition.....                   | 37 |
| 6.1   | Ermittlung der benötigten Investitionssumme .....                      | 37 |
| 6.1.1 | Kapitalbedarf für Installationen .....                                 | 37 |
| 6.1.2 | Investition in bauliche Anlagen.....                                   | 38 |
| 6.1.3 | Investition in Betriebsmittel und Ausrüstungen.....                    | 39 |
| 6.1.4 | Ergebnis der Investitionsrechnung .....                                | 40 |
| 6.2   | Wirtschaftlichkeitsrechnung.....                                       | 41 |
| 6.2.1 | Berechnung der globalen Fertigungskosten .....                         | 42 |
| 6.2.2 | Zusammenfassung .....  | 45 |
| 6.2.3 | Kostenträgerrechnung .....   | 46 |
| 6.2.4 | Schlussbemerkung.....  | 50 |
|       | Literaturverzeichnis.....  | V  |

## Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

### Abbildungen

|                |  |    |
|----------------|--|----|
| Abbildung 1-1: | Lageplan der bebauten Produktionsfläche .....                                  | 2  |
| Abbildung 2-1: | Für das zusätzliche Produktionsprogramm relevante Baugruppenübersicht.....     | 4  |
| Abbildung 2-2: | Einordnung der Fertigungsstufen in die Wertschöpfungskette .....               | 5  |
| Abbildung 2-3: | bereichsbezogenes Arbeitsablaufschaema .....                                   | 7  |
| Abbildung 2-4: | bereichsbezogenes Funktionsschema .....  | 8  |
| Abbildung 3-1: | Zusammenhang zwischen Betriebsmittelinvestition und Anzahl der Schichten ..... | 19 |
| Abbildung 4-1: | Anordnungsreihenfolge nach MDV .....   | 30 |
| Abbildung 4-2: | Anordnung der Objekte auf dem zweireihigen Dreiecksraster .....                | 31 |
| Abbildung 4-3: | Strukturgrafik .....   | 32 |
| Abbildung 5-1  | Ideallayout .....  | 34 |
| Abbildung 5-2: | Groblayout I .....   | 35 |
| Abbildung 5-3: | Groblayout II .....  | 35 |
| Abbildung 6-1: | Kapitalbedarf im Überblick.....  | 41 |
| Abbildung 6-2: | Fertigungskosten vs. Investitionsbedarf .....                                  | 46 |
| Abbildung 6-3: | Zusammensetzung der Fertigungskosten .....                                     | 46 |
| Abbildung 6-4: | Fertigungsstückkosten der Kostenträger .....                                   | 50 |

### Tabellen

|              |   |    |
|--------------|---|----|
| Tabelle 2-1: | Einzelteile des zusätzlichen Produktionsprogramms .....                           | 4  |
| Tabelle 2-2: | Übersicht über die Fertigungsverfahren .....                                      | 6  |
| Tabelle 2-3: | Zuordnung der Betriebsmittel und Arbeitskräfte zum Produktionsprogramm ..         | 9  |
| Tabelle 2-4: | Planungskonventionen .....  | 10 |
| Tabelle 3-1: | Übersicht der Maschinenbelegungszeiten nach Arbeitsgängen .....                   | 12 |
| Tabelle 3-2: | erforderliche Belegungszeiten der Betriebsmittelgruppen .....                     | 13 |
| Tabelle 3-3: | verplanbare Belegungszeiten pro Maschine .....                                    | 14 |
| Tabelle 3-4: | Betriebsmittelbedarf .....  | 15 |
| Tabelle 3-5: | Auslastung der Betriebsmittel .....   | 16 |
| Tabelle 3-6: | abnehmender Grenznutzen der Investitionseinsparungen bezüglich des Schichtsystems | 18 |

|   |    |
|---|----|
| Tabelle 3-7: Personalbedarf nach Betriebsmitteln.....   | 20 |
| Tabelle 3-8: Auslastung eines Staplerfahrers .....  | 21 |
| Tabelle 3-9: Anzahl und Auslastung der benötigten Arbeitskräfte .....                                     | 21 |
| Tabelle 3-10: Verteilung der Arbeitskräfte nach Schichten .....   | 22 |
| Tabelle 3-11: Personalbedarf der Produktionsstätte .....  | 23 |
| Tabelle 3-12: Flächenberechnung der Fertigungs- und Bereitstellungsfläche der Betriebsmittelgruppen ..... | 25 |
| Tabelle 3-13: Flächenbedarf der zu planenden Produktionsstätte .....                                      | 26 |
| Tabelle 4-1: Transportintensitäten .....  | 28 |
| Tabelle 4-2: Richtungsorientierte Transportmatrix .....   | 28 |
| Tabelle 4-3: Nichtrichtungsorientierte Transportmatrix.....   | 29 |
| Tabelle 4-4: Ergebnisse für Anordnungsreihenfolge auf Basis des MDV .....                                 | 30 |
| Tabelle 5-1: Nutzwertanalyse .....  | 36 |
| Tabelle 6-1: Kapitalbedarf für Installationen und Inbetriebnahme .....                                    | 37 |
| Tabelle 6-2: Sensitivitätsanalyse der Bauinvestitionen .....  | 38 |
| Tabelle 6-3: Betriebsmittel- und Ausrüstungsinvestitionen .....   | 39 |
| Tabelle 6-4: Ermittlung der notwendigen Transportbehälter .....   | 40 |
| Tabelle 6-5: Gesamtinvestition.....   | 40 |
| Tabelle 6-6: Personalkosten.....  | 42 |
| Tabelle 6-7: lineare Abschreibungen auf Anlagevermögen .....  | 43 |
| Tabelle 6-8: jährliche Instandhaltungskosten .....  | 44 |
| Tabelle 6-9: Energiekosten .....  | 44 |
| Tabelle 6-10: jährliche Zinskosten .....  | 44 |
| Tabelle 6-11: Gesamte Fertigungskosten .....  | 45 |
| Tabelle 6-12: Maschinenstundensätze .....   | 47 |
| Tabelle 6-13: Übrige Gemeinkosten .....   | 48 |
| Tabelle 6-14: Verteilung der Fertigungskosten auf die Kostenträger .....                                  | 48 |

# 1. Aufgabe

## 1.1 Ausgangssituation

In einem mittelständigen Unternehmen wurde aufgrund einer Marktanalyse festgestellt, dass die Aufnahme einer zusätzlichen Produktion für Einzelteile eines Verdichtertyps zu untersuchen ist. Durch die Aufnahme dieser Produktion wird ein Gewinnzuwachs erwartet. Auf Grundlage der Entscheidung der Unternehmensführung steht die Aufgabe zur Erarbeitung eines technisch-organisatorischen Lösungsvorschlages. Für den Aufbau der Produktion ist ein vorhandenes Industriebauwerk zu nutzen, Erweiterungsmöglichkeiten für das Bauwerk sind in seiner Längsachse gegeben. Der Planungszeitraum beträgt ein Jahr.

## 1.2 Aufgabenstellung

Auf Basis der vorliegenden Daten sind folgende Planungsschritte mit den dazugehörigen Teilaufgaben durchzuführen und die Ergebnisse zu dokumentieren:

1. Aufbereitung des Produktionsprogramms
  - Analyse des zusätzlichen Produktionsprogramms und Gruppierung der Teile
2. Funktionsbestimmung für die zu planende Produktionsstätte
  - Analyse der Produktstruktur und Ableitung von Fertigungsstufen
  - Gruppierung der Fertigungsverfahren und Festlegung des Fertigungsprinzips
  - Erarbeitung des Arbeitsablaufschemas
  - Zuordnung der einzusetzenden Betriebsmittel und der erforderlichen Qualifikation der Arbeitskräfte
3. Dimensionierung des Betriebsmittel-, Personal- und Flächenbedarfs
  - Bestimmung der Anzahl der benötigten Fertigungsplätze je Fertigungsplatzgruppe
  - Bestimmung der Anzahl der benötigten Personen je Qualifikationsgruppe
  - Ermittlung der Auslastung der Betriebsmittel und des Personals
  - Ermittlung der erforderlichen Produktionsfläche
4. Strukturierung
  - Erstellung der Transportmatrix auf Basis des Transportaufkommens
  - Ermittlung der Anordnungsreihenfolge mit Hilfe des modifizierten Dreiecksverfahrens nach Schmigalla
  - Anordnung der Objekte auf dem Dreiecksraster (zweireihig entlang des Weges)
5. Gestaltung
  - Erarbeitung des Ideallayouts

- Erstellung von zwei Groblayoutvarianten
  - Auswahl der Vorzugslösung über Variantenvergleich (Nutzwertanalyse)
6. Nachweis der Wirtschaftlichkeit der Investition
- Ermittlung der benötigten Investitionssumme
  - Durchführung der Wirtschaftlichkeitsrechnung

### 1.3 Ergebnisdarstellung

Die Planungsergebnisse sind in Form einer Studienarbeit nachvollziehbar zu dokumentieren (Planungsdokumentation).

### 1.4 Zusatzinformation

- Das Produktionsprogramm ist für ein Jahr festgelegt.
- Die in den vorgegeben Arbeitsabläufen gewählten Fertigungsverfahren und Betriebsmittel sind nur mit ausführlicher Begründung und nach Zustimmung durch den Betreiber änderbar.
- Eventuell erforderliche Lagerflächen sind in das Industriebauwerk zu integrieren
- Der bereits vorhandene Baukörper hat folgende Abmessungen:  
Länge = 14 m                      Breite = 14 m                      Höhe = 6 m
- Im vorhandenen Baukörper können ca. 196 m<sup>2</sup> für die neue Fertigungsstätte genutzt werden.

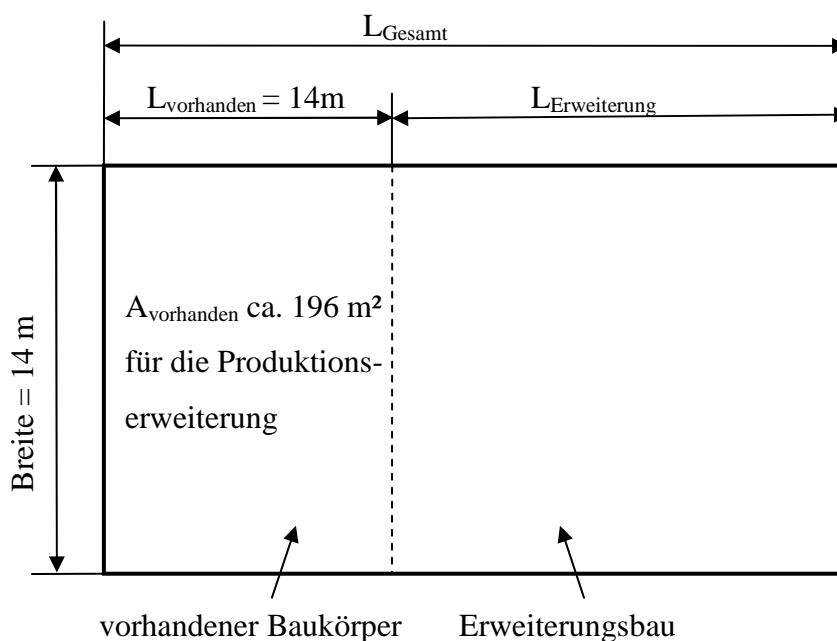


Abbildung 1-1: Lageplan der bebauten Produktionsfläche

- Für die Fertigungssteuerung ist ein Meisterbüro vorzusehen.

- Das im Unternehmen installierte Flurtransportsystem mittels Gabelstapler ist beizubehalten.
- Je Fertigungsplatz sind drei Stellplätze für die Transportbehälter vorzusehen.
- Als Fläche für das Zwischenlager sind insgesamt 10 m<sup>2</sup> vorzusehen (Regallager für die Behälter).



## 2 Lösung

### 2.1 Aufbereitung des Produktionsprogramms

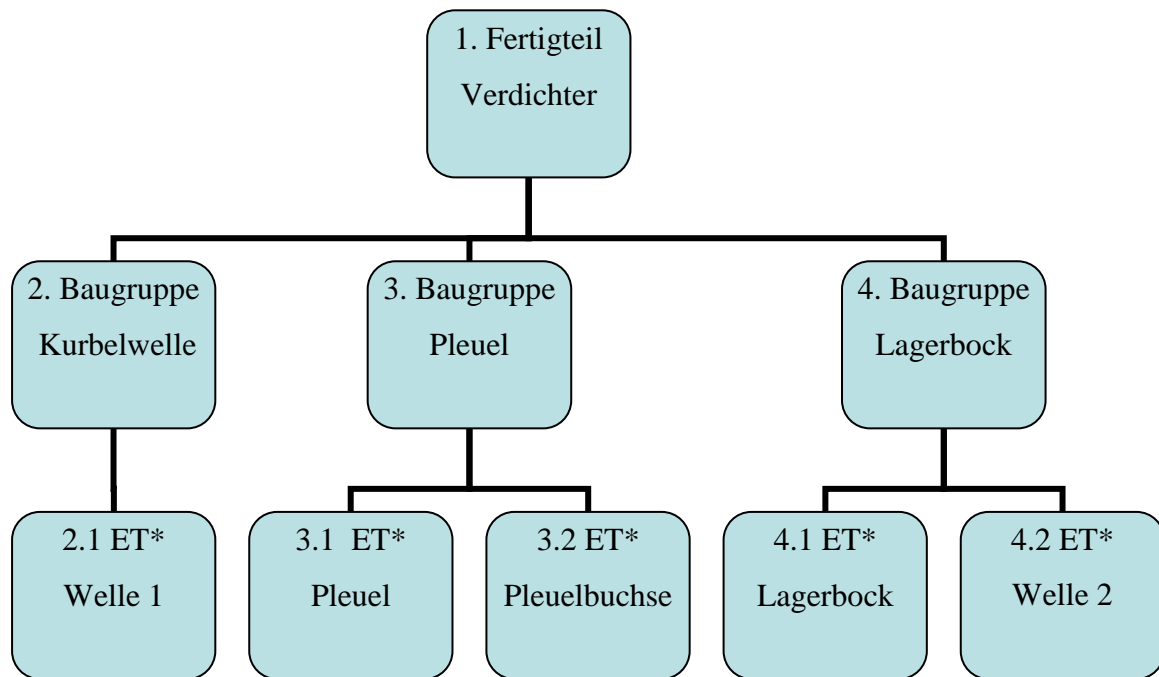
Analyse des zusätzlichen Produktionsprogramms und Gruppierung der Teile

Bei dem zusätzlichen Produktionsprogramm handelt sich um die Fertigung von Einzelteilen für einen Verdichter. Die Montage soll lt. Aufgabenstellung nicht in die geplante Fabrik integriert werden. Vielmehr sind die Roh- sowie die gefertigten Einzelteile vom bzw. zum Zwischenlager zu transportieren.

| Teilenummer | Teilebezeichnung | Anzahl Aufträge | Auftragsmenge [St/Los] | Gesamtzahl/Periode [St/a] | Gewicht je Rohteil [kg] | Rohteil Länge [mm] | Rohteil Breite [mm] | Rohteil Höhe [mm] |
|-------------|------------------|-----------------|------------------------|---------------------------|-------------------------|--------------------|---------------------|-------------------|
| 2.1         | Welle 1          | 50              | 300                    | 15.000                    | 6,25                    | 290                | 60                  | 60                |
| 3.1         | Pleuel           | 50              | 150                    | 7.500                     | 3,945                   | 330                | 90                  | 25                |
| 3.2         | Pleuelbuchse     | 20              | 1.000                  | 20.000                    | 0,345                   | 35                 | 40                  | 40                |
| 4.1         | Lagerbock        | 10              | 300                    | 3.000                     | 5,52                    | 130                | 95                  | 70                |
| 4.2         | Welle 2          | 10              | 600                    | 6.000                     | 2,34                    | 310                | 35                  | 35                |

Tabelle 2-1: Einzelteile des zusätzlichen Produktionsprogramms

Das zusätzliche Teileprogramm lässt sich wie folgt als Baukastenstruktur darstellen:



\*ET = Einzelteil

Abbildung 2-1: Für das zusätzliche Produktionsprogramm relevante Baugruppenübersicht

Anzumerken ist, dass Abbildung 2-1 abweichend von DIN 199 Bl. 2 lediglich eine Struktur der benötigten Teile, nicht jedoch die jeweilige Teile- bzw. Baugruppenanzahl in den Struk-

turebenen enthält, da im zu planenden Bereich nur nach dem vorgegebenen Produktionsprogramm gefertigt, nicht aber montiert wird. Es können also noch weitere Teile und Baugruppen in unbekannter Anzahl im Fertigteil Verdichter enthalten sein.

## 2.2 Funktionsbestimmung für die zu planende Produktionsstätte

### 2.2.1 Analyse der Produktstruktur und Ableitung der Fertigungsstufen

Die Produktstruktur des zusätzlichen Produktionsprogramms ist Abbildung 2-1 zu entnehmen. Es sei noch mal daraufhin gewiesen, dass die o.g. relevanten Teile das Fertigprodukt nicht abschließend abbilden. Und zwar weder in ihrer jeweiligen Anzahl je Fertigprodukt, noch in der Struktur und Zusammensetzung.

Abbildung 2-2 zeigt die Einordnung des zusätzlichen Fertigungsprogramms in den betrieblichen Gesamtprozess im Bereich der Produktion. Es ist deutlich erkennbar, dass es sich im zu beplanenden Programm ausschließlich um Einzelteilerfertigung handelt:

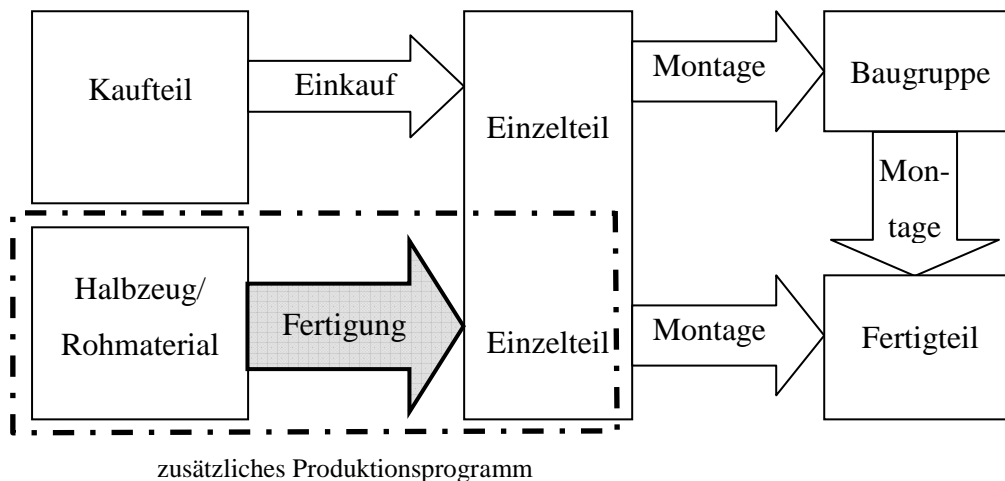


Abbildung 2-2: Einordnung der Fertigungsstufen in die Wertschöpfungskette

Grundsätzlich ist die Fertigung von Einzelteilen ebenso wie der Fremdbezug aus kostenoptimaler Sicht (Minimierung der Lagerkosten) auf die Montage der übergeordneten Baugruppen sowie den Absatz der Fertigteile abzustimmen. Dafür müssten die zu fertigenden Einzelteile zeitnah zur Montage gefertigt werden. Dies setzt eine Strukturstückliste des Fertigteils voraus. Aus Vereinfachungsgründen ist der Aufgabenstellung entsprechend von einer zeitlich gleich verteilten Produktion der fünf Einzelteile auszugehen.

### 2.2.2 Gruppierung der Fertigungsverfahren, Festlegung des Fertigungsprinzips

Die in Anwendung kommenden Fertigungsverfahren auf der Stufe der Einzelteilerfertigung sind - nach DIN 8580 unterteilt - in Tabelle 2-2 dargestellt.

| Hauptgruppen |              | Trennen                                 |        |        |  |           | Fügen | Oberflächen-Behandlung |         |
|--------------|--------------|---|--------|--------|--|-----------|-------|------------------------|---------|
| Teile-nummer | Bezeichnung  | Spanen mit geometr. bestimmter Schneide |        |        | Spanen mit geom. unbestimmter Schneide |           |       | E-Schweißen            | Waschen |
|              |              | Drehen                                  | Fräsen | Bohren | Schleifen                              | Entgraten |       |                        |         |
| 2.1          | Welle 1      | x                                       | x      | x      | x                                      |           |       |                        | x       |
| 3.1          | Pleuel       |   | x      | x      | x                                      | x         | x     |                        |         |
| 3.2          | Pleuelbuchse | x                                       |        |        |  |           |       | x                      | x       |
| 4.1          | Lagerbock    | x                                       | x      | x      |  | x         |       | x                      | x       |
| 4.2          | Welle 2      | x                                       | x      |        | x                                      |           |       |                        | x       |

Tabelle 2-2: Übersicht über die Fertigungsverfahren

Innerhalb der Fertigungsverfahren Drehen, Fräsen, Bohren und Schleifen werden die Arbeitsplätze in weitere, technologisch gleichwertige Betriebsmittelgruppen (Maschinentypen) unterteilt.

Als in Betracht kommende Fertigungsprinzipien sind u. a.

- Fließfertigung,
- Reihenfertigung,
- Nestfertigung sowie
- Werkstattfertigung

zu nennen.

Bei den zu fertigenden Losgrößen kann man von einer Kleinserienfertigung ausgehen.

Von den o. g. Fertigungsprinzipien sind die Fließ- und Reihenfertigung für das zu planende Produktionsprogramm auszuschließen. Der Hauptgrund liegt in der gegenstandsorientierten Fertigungsform. Bei diesen Verfahren erfolgt die Anordnung der Arbeitsplätze nach dem erforderlichen Materialfluss der Produkte. Dies verlangt hohe Stückzahlen bzw. weitgehend ähnliche Produkte beim Produktionsprozess, so dass hierfür nur ein Einsatz bei Mittel- bis Massenserienfertigung in Betracht kommt.

Bei der Nestfertigung wird jeweils nur eine Teilphase der Gesamtbearbeitung realisiert, basierend auf der ringförmigen Anordnung der unterschiedlichen technologischen Arbeitsplätze. Die Materialflussvernetzung ist beliebig ausführbar, jedoch ist das Transportaufkommen im Netz gering. Aufgrund der vorgegebenen Restriktionen, den Transport mittels Gabelstapler im Flurtransportsystem vorzunehmen, ist auch von der Nestfertigung Abstand zu halten.

Letztendlich fällt die Entscheidung auf die Werkstattfertigung. Es ist eine verfahrensorientierte Fertigungsform.

Die Arbeitsplatzanordnung ist vom Materialfluss unabhängig, was auch den Hauptnachteil des hohen Transportaufwandes erklärt. Dem entgegen steht aber die enorm hohe Flexibilität bezüglich wechselnder Produktionsaufgaben nach Art und Menge. Weiterhin besteht eine gute Anpassungsfähigkeit der Verfahren an geänderte Arbeitsablauffolgen.

### 2.2.3 Arbeitsablaufschemata

Das in Abbildung 2-3 dargestellte Arbeitsablaufschemata zeigt alle erforderlichen Arbeitsvorgänge in ihrer richtigen Reihenfolge und Verknüpfung für den Fertigungsprozess der jeweiligen Teilefertigung auf.

| Lfd. Nummer | Bereich      | Teil (Stücklistenposition) |             |                   |                |              |
|-------------|--------------|----------------------------|-------------|-------------------|----------------|--------------|
|             |              | 2.1. Welle 1               | 3.1. Pleuel | 3.2. Pleuelbuchse | 4.1. Lagerbock | 4.2. Welle 2 |
| 1           | Z-Lager      |                            |             |                   |                |              |
| 2           | Drehen       |                            |             |                   |                |              |
| 3           | Bohren       |                            |             |                   |                |              |
| 4           | Fräsen       |                            |             |                   |                |              |
| 5           | Schweißen    |                            |             |                   |                |              |
| 6           | Richten      |                            |             |                   |                |              |
| 7           | Schleifen    |                            |             |                   |                |              |
| 8           | Entgraten    |                            |             |                   |                |              |
| 9           | Waschen      |                            |             |                   |                |              |
| 10          | Konservieren |                            |             |                   |                |              |

Abbildung 2-3: bereichsbezogenes Arbeitsablaufschemata

Abbildung 2-3 beschränkt sich auf die mechanische Ablauffolge der Teilefertigung, da laut Planungsvorgaben weder Montage noch Qualitätskontrolle bzw. Versandtätigkeiten im Planungsprozess vorgesehen sind. Durch die exakte Ablaufchronologie können wesentliche Erkenntnisse in Bezug auf die Häufigkeit der Belegung der Verfahrensbereiche und die Verknüpfung zu den anderen Fertigungsbereichen gewonnen werden. Damit können Rückschlüsse auf die mögliche Anordnung der Verfahren in der zukünftigen Werkstattfertigung erfolgen. Weiterhin ist aus der Abbildung 2-3 ersichtlich, dass sich das Hauptaufkommen des Produktionsablaufes durch die Fertigungsverfahren Drehen und Fräsen rekrutiert. Es ist anzumerken, dass innerhalb der Verfahrensbereiche Arbeitsgänge hintereinander geordnet sind (z.B. Vorbohren, Fertigbohren), welche in Abbildung 2-3 nicht explizit abgebildet werden.

### 2.2.4 Ableitung des Funktionsschemas

Die Darstellung zeigt die Ablauflogik des Fertigungsfortschrittes bei rein funktionsbezogener Zuordnung in der mechanischen Fertigung. Anhand der Abbildung 2-4 sind Aussagen über die erforderlichen Bereiche, deren Materialflüsse sowie den Materialflussverknüpfungen möglich.

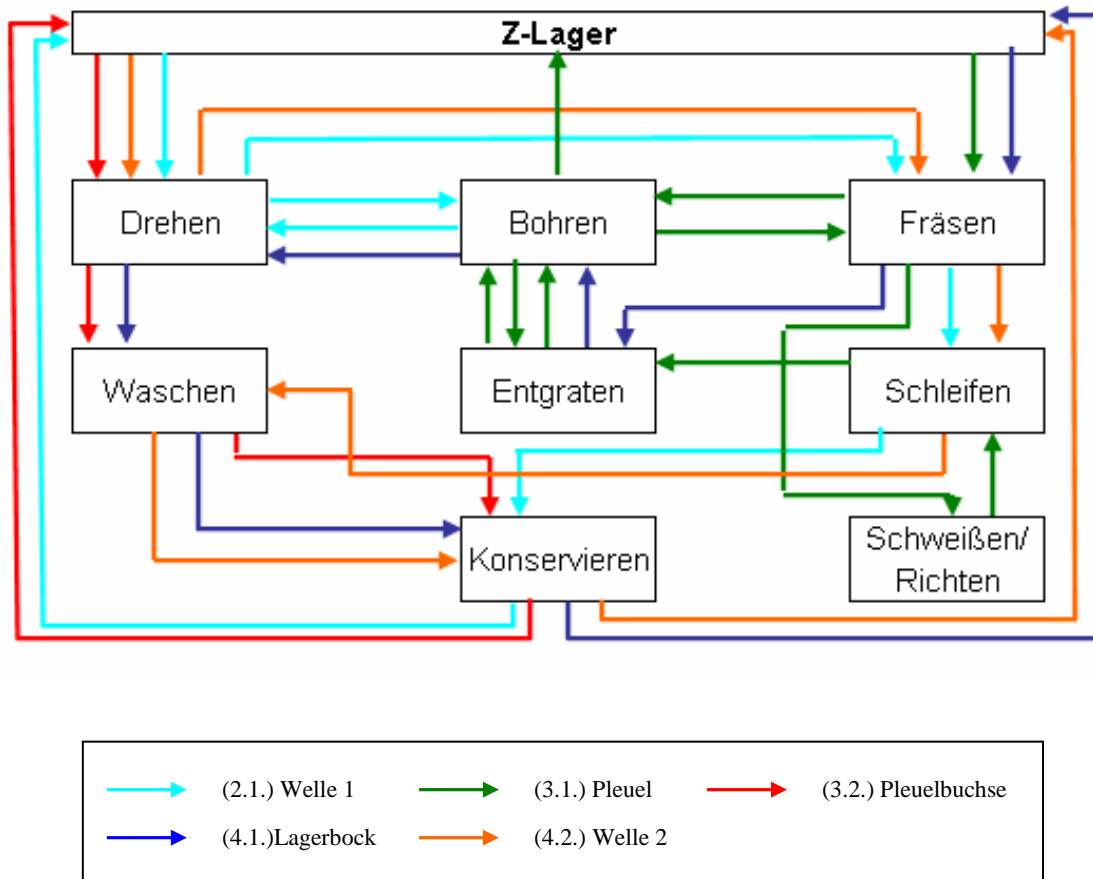


Abbildung 2-4: bereichsbezogenes Funktionsschema

Wie bereits beim Arbeitsablaufschemata angedeutet, ist hier noch deutlicher zu erkennen, dass die Schwerpunktbereiche in Bezug auf die Fertigungsprozesse und das Transportaufkommen auf den Verfahren Drehen, Fräsen und Bohren liegen.

### 2.2.5 Zuordnung der Betriebsmittel und der Qualifikation der Arbeitskräfte

Die Zuordnung der Betriebsmittel und Arbeitskräfte zu den Arbeitsplatzgruppen - gerade auch innerhalb eines Fertigungsverfahrens - ist Voraussetzung für die Planung der Kapazitäten und Dimensionierung der Produktionsanlagen.

| Bereich      | Betriebsmittelgruppe | Verfügbarkeit Betriebsmittel<br>$\eta_{ApI}$ | Qualifik. Mitarbeiter (MA) | Verfügbarkeit MA<br>$\eta_{MA}$ | Produkt     |            |                  |               |             |
|--------------|----------------------|--|----------------------------|---------------------------------|-------------|------------|------------------|---------------|-------------|
|              |                      |  |                            |                                 | 2.1 Welle 1 | 3.1 Pleuel | 3.2 Pleuelbuchse | 4.1 Lagerbock | 4.2 Welle 2 |
| Drehen       | DLZ 450x800          | 0,78   | Zerspaner                  | 0,80                            | x           |            |                  | x             | x           |
|              | DRT 63 m             | 0,79   | Zerspaner                  | 0,80                            |             |            | x                |               | x           |
| Fräsen       | FSS 355x1250/III     | 0,87   | Zerspaner                  | 0,80                            | x           |            |                  | x             |             |
|              | FW 315x1250/V        | 0,87   | Zerspaner                  | 0,80                            |             | x          |                  |               | x           |
| Bohren       | BR 56x1600           | 0,75   | Zerspaner                  | 0,80                            | x           |            |                  | x             |             |
|              | BK 63                | 0,80   | Zerspaner                  | 0,80                            |             | x          |                  |               |             |
|              | BWF 250x400          | 0,74   | Zerspaner                  | 0,80                            |             | x          |                  |               |             |
| Schweißen    | Schweißarb.pl.       | 0,90   | E-Schweißer                | 0,80                            |             | x          |                  |               |             |
| Schleifen    | SA 315x630           | 0,77   | Zerspaner                  | 0,80                            | x           |            |                  |               | x           |
|              | SFS 630x2000         | 0,80   | Zerspaner                  | 0,80                            |             | x          |                  |               |             |
| Entgraten    | an BK 63             | 0,90   | Zerspaner                  | 0,80                            |             | x          |                  |               |             |
|              | FSS 355x1250/III     | 0,90   | Zerspaner                  | 0,80                            |             |            |                  | x             |             |
|              | an SFS630x2000       | 0,90   | Zerspaner                  | 0,80                            |             | x          |                  |               |             |
| Waschen      | GAS II/2 AG 380      | 0,80   | Hilfsarbeiter              | 0,78                            |             |            | x                | x             | x           |
| Konservieren | Handarbeitsplatz     | 0,90   | Hilfsarbeiter              | 0,78                            | x           |            | x                | x             | x           |

Tabelle 2-3: Zuordnung der Betriebsmittel und Arbeitskräfte zum Produktionsprogramm

Des Weiteren lässt sich aus Tabelle 2-3 erkennen, welche Arbeitsplätze für die Fertigung der Einzelteile des zu planenden Produktionsprogramms notwendig sind. Dies kann u.a. für das mögliche Outsourcing einzelner Produkte, für die Substitution einzelner Betriebsmittel sowie für die Frage nach Ersatzkapazitäten bei Engpässen bedeutsam sein. Die für die Dimensionierung (siehe Abschnitt 3) notwendige Verfügbarkeit der Betriebsmittel und Arbeitskräfte ist gleichfalls abgebildet.

Für die weitere Planung wird an die Stelle gleichfalls die Konvention getroffen, dass das Entgraten an jeweils separaten, dem vorangehenden Arbeitsplatz (bzw. Betriebsmittelgruppe) zugeordneten Handarbeitsplätzen erfolgt. Somit wird eine Minimierung der Transportwege und -zeiten zu Lasten einer höheren Investitionssumme in Betriebsmittel und größerem Platzbedarf angestrebt.

Darüber hinaus wird durch die Anordnung der jeweiligen Entgrat-Arbeitsplätze an die vorangehenden Betriebsmittel ein für die Planung nicht zu berücksichtigendes, aber aufgrund der Stückzeiten  $t_{eij}$  im NC-Betrieb denkbare paralleles Bearbeiten und Entgraten – in Form von Mehrmaschinenbedienung - möglich.

### 2.2.6 Planungskonventionen

Bevor die die weiteren Planungsschritte dargelegt werden, dokumentiert Abschnitt 2.2.6 die hierfür zugrunde liegenden Planungskonventionen:

| Bereich                                     | Konvention   |
|---|--|
| Ausschuss/Nacharbeit                        | - wird in jedem Los mit 3% zusätzlich gefertigt<br>- betrifft alle Arbeitsgänge eines Produktes  |
| Berufsgruppen                               | jeder Angehöriger einer Berufsgruppe $k$ ist qualifiziert, alle dieser Berufsgruppe zugeordneten Maschinen bedienen zu können<br>( $n : m$ Relation) |
| Betriebsmittelgruppen                       | es werden nur technologisch gleichwertige Maschinentypen zu einer Betriebsmittelgruppe zusammengefasst<br>(Bsp.: DLZ 450x800 $\neq$ DRT 63 m)        |
| Entgrat-Arbeitsplätze                       | werden der jeweils vorangehenden Betriebsmittelgruppe zugeordnet   |
| Fertigungslohn Werker                       | es wird mit einem fixen Lohn für die Werker geplant  |
| Leistungsgrad                               | - beeinflusst auch Betriebsmittelausnutzung<br>- betrifft jedoch nur Bearbeitungszeiten  |
| Materialkosten                              | werden nicht in die Wirtschaftlichkeit der Produktion einbezogen   |
| Mehrmaschinenbedienung                      | soll ausgeschlossen sein   |
| Bereitstellungsfläche für Transportbehälter | je Maschine (nicht Fertigungsplatzgruppe) drei Stück   |
| Verlagerung von Kapazitäten                 | Verlagerung von Kapazitäten von einer Betriebsmittelgruppe auf eine Andere ist ausgeschlossen  |

*Tabelle 2-4: Planungskonventionen*

### 3 Dimensionierung des Betriebsmittel-, Personal- und Flächenbedarfs

#### 3.1 Anzahl der Fertigungsplätze je Fertigungsplatzgruppe

Die Anzahl der benötigten Arbeitsplätze bestimmt sich nach den erforderlichen und planbaren Kapazitäten auf den jeweiligen Arbeitsplätzen.

Hierfür sollen zunächst in Abschnitt 3.1.1 die erforderlichen Maschinenbelegungszeiten  $T_{Kj}$  für alle Arbeitsplatzgruppen  $j$  in der Planperiode bestimmt werden. Anschließend werden in Abschnitt 3.1.2 die verplanbaren Maschinenbelegungszeiten<sup>1</sup>  $T_{Ej}$  berechnet. Aus beiden Größen ergibt sich die Anzahl der benötigten Arbeitsplätze je Arbeitsplatzgruppe (siehe Abschnitt 3.1.3) sowie deren Auslastung (siehe Abschnitt 3.1.4) ermittelt.

##### 3.1.1 Die erforderliche Maschinenbelegungszeit

$$(1) \quad T_{bBj} \left[ \frac{\min}{a} \right] = \sum_{j=1}^J t_{rBij} + \sum_{j=1}^J \left( m_{ij} \cdot \frac{1}{ZG} \cdot t_{eBij} \cdot f_{Nacharbeit} \right)$$

$T_{Kj}$  erforderliche Maschinenbelegungszeit (MBZ) für Betriebsmittelgruppe  $j$

$t_{rBij}$  Betriebsmittelrüstzeit

$m_{ij}$  geforderte Menge von Produkten  $i$

$t_{eBij}$  Betriebsmittelzeit je Einheit für das Produkt

ZG Zeit- bzw. Leistungsgrad = 115 %

$f_{Nacharbeit}$  Ausschussquote = 3%

Der Zeitgrad ZG wird für alle Arbeitsgänge einheitlich mit dem Faktor 1.15 geplant, was einem gut motivierten, normal belasteten Mitarbeiter entspricht<sup>2</sup>. Der Zeitgrad wird für das Rüsten ausdrücklich nicht berücksichtigt, da hier die sorgfältige Verrichtung aus Qualitätsaspekten besonders eminent ist. Er bezieht sich primär auf Arbeitskräfteeinsatz, wirkt sich aber auf die Maschinennutzung dort aus, wo Mitarbeiter und Maschinen zusammenwirken.

Bezüglich der Planung von Ausschuss und Nacharbeit wird folgende Konvention getroffen: Der Ausschuss wird nach dem letzten Arbeitsgang festgestellt. Die Ausschussquote von 3% wirkt sich folglich auf alle Arbeitsgänge aus. Die Mehrarbeit der zusätzlich zu fertigenden Teile je Los erhöht die Bearbeitungszeit  $t_A$  um den Mehrarbeitsfaktor  $f_{Nacharbeit}$  von 1,03.

<sup>1</sup> die Bezeichnungen orientieren sich an Kettner, Fabrikplanung, S. 56f

<sup>2</sup> zur Einordnung der Zeitgrade vgl. Steinbuch, Fertigungswirtschaft, S. 357



Zunächst werden die Rüst- und Bearbeitungszeiten für alle zu planenden Arbeitsgänge ermittelt. Die Maschinenbelegungszeit je Arbeitsgang<sup>3</sup>  $T_{bBij}$  setzt sich wie folgt zusammen:

$$(2) \quad T_{bBij} = n_{Li} \cdot \left( m_{Li} \cdot t_{eBij} \cdot \frac{1}{ZG} \cdot f_{Nacharbeit} + t_{rBij} \right)$$

Die Zahl der Lose  $n_i$  der Planungsperiode sowie die entsprechende Menge je Los  $m_{Li}$  des Erzeugnisses  $i$  ist Tabelle 2-1 zu entnehmen. Das Ergebnis der Berechnung nach Formel (2) zeigt Tabelle 3-1:

| Erzeugnisgruppe $i$ | Arbeitsgang          | Betriebsmittelgruppe $j$ | Sückzeit $t_{eB} = t_e$ [min/St] | Bearbeitungszeit je Auftrag $t_A^*$ [min/Auftrag] | Rüstzeit je Auftrag $t_{rBij}$ [min/Auftrag] | Gesamtzeit je Auftrag $t_{Ges}$ [min/Auftrag] | Maschinenbelegungszeit $T_{bBij}$ [min/a] |
|---------------------|----------------------|--------------------------|----------------------------------|---|--|---|---|
| 2.1 Welle 1         | Drehen               | DLZ 450x800              | 8,5                              | 2.283,9   | 30   | 2.314   | 115.696                                   |
|                     | Bohren               | BR 56x1600               | 4,5                              | 604,6   | 15   | 620   | 30.978                                    |
|                     | Drehen               | DLZ 450x800              | 18,0                             | 4.836,5   | 30   | 4.867   | 243.326                                   |
|                     | Fräsen (Nut)         | FSS 355x1250/III         | 17,5                             | 4.702,2   | 75   | 4.777   | 238.859                                   |
|                     | Schleifen            | SA 315x630               | 20,0                             | 5.373,9   | 30   | 5.404   | 270.196                                   |
|                     | Konservieren         | HaAPI. Konservieren      | 0,5                              | 134,3   | 0  | 134   | 6.717                                     |
| 3.1 Pleuel          | Fräsen Stirnflächen  | FW 315x1250/V            | 16,0                             | 4.299,1   | 80   | 4.379   | 218.957                                   |
|                     | Bohren 2x Dm. 5      | BK 63                    | 2,0                              | 537,4   | 10   | 547   | 27.370                                    |
|                     | Fräsen der Auflage   | FW 315x1250/V            | 1,2                              | 322,4   | 30   | 352   | 17.622                                    |
|                     | E-Schweißen          | Schweiß-API.             | 4,0                              | 1.074,8   | 20   | 1.095   | 54.739                                    |
|                     | Richten, manuell     | Werkbank                 | 1,5                              | 403,0   | 0  | 403   | 20.152                                    |
|                     | Planschleifen        | SFS 630x200              | 8,0                              | 2.149,6   | 35   | 2.185   | 109.228                                   |
|                     | Entgraten            | HaAPI. Entgraten         | 0,6                              | 161,2   | 10   | 171   | 8.561                                     |
|                     | Bohren, Vorbohren    | BK 63                    | 3,0                              | 806,1   | 130  | 936   | 46.804                                    |
|                     | Bohren, Fertig       | BK 63                    | 7,0                              | 1.880,9   | 180  | 2.061   | 103.043                                   |
|                     | Entgraten            | HaAPI. Entgraten         | 3,0                              | 806,1   | 10   | 816   | 40.804                                    |
|                     | Feinstbohren         | BWF 250x400              | 4,0                              | 1.074,8   | 100  | 1.175   | 58.739                                    |
| 3.2 Pleuelbuchse    | Drehen               | DRT 63 m                 | 2,5                              | 2.239,1   | 30   | 2.269   | 45.383                                    |
|                     | Waschen              | WaMa Gas II/2 AG 380     | 0,05                             | 44,8  | 0  | 45  | 896                                       |
|                     | Konservieren         | HaAPI. Konservieren      | 0,5                              | 447,8   | 0  | 448   | 8.957                                     |
| 4.1 Lagerbock       | Fräsen               | FSS 355x1250/III         | 5,5                              | 1.477,8   | 30   | 1.508   | 15.078                                    |
|                     | Entgraten            | HaAPI. Entgraten         | 1,5                              | 403,0   | 0  | 403   | 4.030                                     |
|                     | Bohren               | BR 56x1600               | 9,0                              | 2.418,3   | 20   | 2.438   | 24.383                                    |
|                     | Drehen               | DLZ 450x800              | 30,0                             | 8.060,9   | 45   | 8.106   | 81.059                                    |
|                     | Waschen              | WaMa Gas II/2 AG 380     | 0,5                              | 134,3   | 0  | 134   | 1.343                                     |
|                     | Konservieren         | HaAPI. Konservieren      | 0,5                              | 134,3   | 0  | 134   | 1.343                                     |
| 4.2 Welle 2         | Drehen, Zentrieren   | DRT 63 m                 | 2,8                              | 1.504,7   | 30   | 1.535   | 15.347                                    |
|                     | Drehen, Welle fertig | DLZ 450x800              | 27,0                             | 14.509,6  | 60   | 14.570  | 145.696                                   |
|                     | Gewinderollen        | DRT 63 m                 | 0,8                              | 429,9   | 80   | 510   | 5.099                                     |
|                     | Fräsen & Kontrolle   | FW 315x1250/V            | 3,5                              | 1.880,9   | 45   | 1.926   | 19.259                                    |
|                     | Schleifen            | SA 315x630               | 10,0                             | 5.373,9   | 30   | 5.404   | 54.039                                    |
|                     | Waschen              | WaMa Gas II/2 AG 380     | 0,3                              | 161,2   | 0  | 161   | 1.612                                     |
|                     | Konservieren         | HaAPI. Konservieren      | 0,4                              | 215,0   | 0  | 215   | 2.150                                     |

Tabelle 3-1: Übersicht der Maschinenbelegungszeiten nach Arbeitsgängen

<sup>3</sup> Formel in Anlehnung an Steinbuch, S. 358

Im nächsten Schritt werden die Bearbeitungs-, Rüst- und Maschinenbelegungszeiten der Arbeitsgänge  $T_{bBij}$  (rechte Spalte in Tabelle 3-1) nach Betriebsmittelgruppen  $T_{bBj}$  zusammengefasst.

| Betriebsmittelgruppe $j$    | Bearbeitungszeit je Betriebsmittelgruppe $j$ [min/a] | Rüstzeit je Betriebsmittelgruppe $j$ [min/a] | erforderliche Maschinenbelegungszeit $T_{bBj}$ [min/a] |
|-----------------------------|--|--|--|
| <b>Drehen</b>               |  |  |  |
| DLZ 450x800                 | 581.726  | 4.050  | <b>585.776</b>   |
| DRT 63 m                    | 64.129   | 1.700  | <b>65.829</b>  |
| <b>Fräsen</b>               |  |  |  |
| FSS 355x1250/III            | 249.887  | 4.050  | <b>253.937</b>   |
| FW 315x1250/V               | 134.348  | 5.950  | <b>140.298</b>   |
| <b>Bohren</b>               |  |  |  |
| BR 56x1600                  | 84.639   | 950  | <b>85.589</b>  |
| BK 63                       | 80.609   | 16.000                                       | <b>96.609</b>  |
| BWF 250x400                 | 26.870   | 5.000  | <b>31.870</b>  |
| <b>Schleifen</b>            |  |  |  |
| SA 315x630                  | 322.435  | 1.800  | <b>324.235</b>   |
| SFS 630x200                 | 53.739   | 1.750  | <b>55.489</b>  |
| <b>sonst. Arbeitsplätze</b> |  |  |  |
| Schweißen+Richten           | 36.946   | 1.000  | <b>37.946</b>  |
| WaMa Gas II/2 AG 380        | 3.851  | 0  | <b>3.851</b>   |
| Entgraten an BK 63          | 20.152   | 500  | <b>20.652</b>  |
| Entgr. an FSS 355x1250/III  | 4.030  | 0  | <b>4.030</b>   |
| Entgr. an SFS 630x2000      | 4.030  | 500  | <b>4.530</b>   |
| Konservieren                | 19.167   | 0  | <b>19.167</b>  |

Tabelle 3-2: erforderliche Belegungszeiten der Betriebsmittelgruppen

### 3.1.2 Die planbare Maschinenbelegungszeit:

Die planbare Maschinenbelegungszeit berechnet sich nach Formel<sup>4</sup> (3)

$$(3) \quad T_{Ei} \left[ \frac{\text{min}}{J} \right] = A_i \cdot h_i \cdot S_i \cdot \eta_{t \max i}$$

$T_{Ei}$  planbare Maschinenbelegungszeit (MBZ)

$A_i$  Anzahl der Arbeitstage für Betriebsmittelgruppe = 255 [d/a] für alle Arbeitsplatzgruppen

$S_i$  Anzahl der Schichten für die Betriebsmittelgruppe

$h_i$  vorhandene Belegungszeit für Betriebsmittelgruppe = 480 bzw. 460 [min/d]

Die Anzahl der Schichten soll in drei Varianten (Ein-, Zwei, bzw. Drei-Schichtsystem) angenommen werden.

$\eta_{z \max i}$  maximaler Zeitnutzungsgrad für die Betriebsmittelgruppe

<sup>4</sup> Kettner, Fabrikplanung, S. 55

Der maximale Zeitnutzungsgrad  $\eta_{zmaxi}$  beinhaltet planmäßige Wartungs- und Instandhaltungszeiten ebenso wie Ausfallzeiten (tool down times). In diesem Faktor nicht enthalten sind jedoch prozessbedingte Leerzeiten (idle times). Die Ergebnisse der Berechnung nach Formel (3) setzen somit ein leerzeitenfreien Produktionsprozess voraus, der sich in der nicht getakteten Werkstattfertigung kaum umsetzen lassen wird.

Tabelle 3-3 zeigt die der benötigten Maschinenbelegungszeit  $T_{bBj}$  gegenüberstehende planbare Maschinenbelegungszeit  $T_{Ej}$ :

| Betriebsmittelgruppe $j$    | Nutzungsgrad $\eta_{zmaxi}$ | Arbeits-tage $A_i$ [d/a] | verplanbare MBZ [min/Schicht] bei Schichten $S_j$ |     |     | verplanbare MBZ $T_{Ej}$ [min/a] bei Schichten $S_j$ |         |         |
|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------|---|-----|-----|--|---------|---------|
|                             |                             |                          | I   | II  | III | I  | II      | III     |
| <b>Drehen</b>               |                             |                          |   |     |     |  |         |         |
| DLZ 450x800                 | 0,78                        | 255                      | 480   | 480 | 460 | 95.472   | 190.944 | 274.482 |
| DRT 63 m                    | 0,79                        | 255                      | 480   | 480 | 460 | 96.696   | 193.392 | 278.001 |
| <b>Fräsen</b>               |                             |                          |   |     |     |  |         |         |
| FSS 355x1250/III            | 0,87                        | 255                      | 480   | 480 | 460 | 106.488  | 212.976 | 306.153 |
| FW 315x1250/V               | 0,87                        | 255                      | 480   | 480 | 460 | 106.488  | 212.976 | 306.153 |
| <b>Bohren</b>               |                             |                          |   |     |     |  |         |         |
| BR 56x1600                  | 0,75                        | 255                      | 480   | 480 | 460 | 91.800   | 183.600 | 263.925 |
| BK 63                       | 0,80                        | 255                      | 480   | 480 | 460 | 97.920   | 195.840 | 281.520 |
| BWF 250x400                 | 0,74                        | 255                      | 480   | 480 | 460 | 90.576   | 181.152 | 260.406 |
| <b>Schleifen</b>            |                             |                          |   |     |     |  |         |         |
| SA 315x630                  | 0,77                        | 255                      | 480   | 480 | 460 | 94.248   | 188.496 | 270.963 |
| SFS 630x2000                | 0,80                        | 255                      | 480   | 480 | 460 | 97.920   | 195.840 | 281.520 |
| <b>sonst. Arbeitsplätze</b> |                             |                          |   |     |     |  |         |         |
| Schweißen+Richten           | 0,90                        | 255                      | 480   | 480 | 460 | 110.160  | 220.320 | 316.710 |
| WaMa Gas II/2 AG 380        | 0,80                        | 255                      | 480   | 480 | 460 | 97.920   | 195.840 | 281.520 |
| Entgraten BK63              | 0,90                        | 255                      | 480   | 480 | 460 | 110.160  | 220.320 | 316.710 |
| Entgr. FSS355x1250/III      | 0,90                        | 255                      | 480   | 480 | 460 | 110.160  | 220.320 | 316.710 |
| Entgr. SFS630x2000          | 0,90                        | 255                      | 480   | 480 | 460 | 110.160  | 220.320 | 316.710 |
| Konservieren                | 0,90                        | 255                      | 480   | 480 | 460 | 110.160  | 220.320 | 316.710 |

*Tabelle 3-3: verplanbare Belegungszeiten pro Maschine*

Zu einer Betriebsmittelgruppe werden Maschinentypen zusammengefasst, mit denen sich gleiche technologische Verrichtungen durchführen lassen (z.B. Feindreihen an verschiedenen Maschinentypen). Es wird nicht allein auf das Fertigungsverfahren der Hauptgruppe (siehe Tabelle 2-2) abgestellt. Laut Aufgabenstellung wird daher die Konvention getroffen, dass Fertigungsschritte wie Bohren, Fräsen oder Drehen nicht auf andere Maschinentypen mit Fertigungsverfahren gleicher Hauptgruppe umgelegt werden (siehe Tabelle 2-4).

### 3.1.3 Anzahl der erforderlichen Betriebsmittel

Aus der Formel

$$(4) \quad z_{BMjerr} = \frac{T_{bBj}}{T_{Ej}} = \frac{\sum_{j=1}^J t_{rBij} + \sum_{j=1}^J \left( m_{ij} \cdot \frac{1}{ZG} \cdot t_{eBij} \cdot f_{Nacharbeit} \right)}{A_i \cdot h_i \cdot S_i \cdot \eta_{t \max i}}$$

$z_{BMjerr}$  errechnete Anzahl Betriebsmittel  $j$

$z_{BMjerr}$  einzusetzende Anzahl Betriebsmittel  $j$

ergibt sich für die in Tabelle 3-2 und Tabelle 3-3 dargelegten Ergebnisse folgender Betriebsmittelbedarf:

| Betriebsmittelgruppe $j$    | erforderliche Maschinenbelegungszeit $T_{bBi}$ [min/a] | verplanbare MBZ $T_{Ei}$ bei Schichten $S_i$ [min/a] |         |         | errechnete Betriebsmittel $z_{BMjerr}$ bei Schichten $S_j$ [St] |      |      | einzusetzende Betriebsmittel $z_{BMj}$ bei Schichten $S_j$ [St] |    |     |
|-----------------------------|--|--|---------|---------|---|------|------|---|----|-----|
|                             |  | 1  | 2       | 3       | I   | II   | III  | I   | II | III |
| <b>Drehen</b>               |  |  |         |         |   |      |      |   |    |     |
| DLZ 450x800                 | 585.776  | 95.472   | 190.944 | 274.482 | 6,14  | 3,07 | 2,13 | 7   | 3  | 3   |
| DRT 63 m                    | 65.829   | 96.696   | 193.392 | 278.001 | 0,68  | 0,34 | 0,24 | 1   | 1  | 1   |
| <b>Fräsen</b>               |  |  |         |         |   |      |      |   |    |     |
| FSS 355x1250/III            | 253.937  | 106.488  | 212.976 | 306.153 | 2,38  | 1,19 | 0,83 | 3   | 2  | 1   |
| FW 315x1250/V               | 140.298  | 106.488  | 212.976 | 306.153 | 1,32  | 0,66 | 0,46 | 2   | 1  | 1   |
| <b>Bohren</b>               |  |  |         |         |   |      |      |   |    |     |
| BR 56x1600                  | 85.589   | 91.800   | 183.600 | 263.925 | 0,93  | 0,47 | 0,32 | 1   | 1  | 1   |
| BK 63                       | 96.609   | 97.920   | 195.840 | 281.520 | 0,99  | 0,49 | 0,34 | 1   | 1  | 1   |
| BWF 250x400                 | 31.870   | 90.576   | 181.152 | 260.406 | 0,35  | 0,18 | 0,12 | 1   | 1  | 1   |
| <b>Schleifen</b>            |  |  |         |         |   |      |      |   |    |     |
| SA 315x630                  | 324.235  | 94.248   | 188.496 | 270.963 | 3,44  | 1,72 | 1,20 | 4   | 2  | 2   |
| SFS 630x2000                | 55.489   | 97.920   | 195.840 | 281.520 | 0,57  | 0,28 | 0,20 | 1   | 1  | 1   |
| <b>sonst. Arbeitsplätze</b> |  |  |         |         |   |      |      |   |    |     |
| E-Schweißen+Richten         | 37.946   | 110.160  | 220.320 | 316.710 | 0,34  | 0,17 | 0,12 | 1   | 1  | 1   |
| WaMa Gas II/2 AG 380        | 3.851  | 97.920   | 195.840 | 281.520 | 0,04  | 0,02 | 0,01 | 1   | 1  | 1   |
| Entgraten BK 63             | 20.652   | 110.160  | 220.320 | 316.710 | 0,19  | 0,09 | 0,07 | 1   | 1  | 1   |
| Entgr. FSS 355x1250/III     | 4.030  | 110.160  | 220.320 | 316.710 | 0,04  | 0,02 | 0,01 | 1   | 1  | 1   |
| Entgr. SFS 630x2000         | 4.530  | 110.160  | 220.320 | 316.710 | 0,04  | 0,02 | 0,01 | 1   | 1  | 1   |
| Konservieren                | 19.167   | 110.160  | 220.320 | 316.710 | 0,17  | 0,09 | 0,06 | 1   | 1  | 1   |

Tabelle 3-4: Betriebsmittelbedarf

Bei der Berechnung der erforderlichen Betriebsmittel ergeben sich zwangsläufig krumme Zahlen, die aufgrund der in den Planzahlen enthaltenen Reserven bis zu einer Überschreitung von 10 % abgerundet<sup>5</sup>, darüber hinaus auf die nächst höhere ganze Zahl aufgerundet werden:

$$(5) \quad z_{BMj} \geq z_{BMjerr}$$

<sup>5</sup> Kettner, Fabrikplanung, S. 56; bei Ein- bzw. Zweischichtsystem

### 3.1.4 Auslastung der Betriebsmittel

Insbesondere für die Frage der zu planenden Schichten ist neben der benötigten Anzahl der Betriebsmittel die Frage nach der Auslastung relevant.

Der Auslastungsgrad  $n_{BMj}$  berechnet sich wie folgt:

$$(6) \quad n_{BMj} = \frac{z_{BMjerr}}{z_{BMj}}$$

$z_{BMjerr}$  errechnete Betriebsmittelanzahl je Betriebsmittelgruppe

$z_{BMj}$  einzusetzende Betriebsmittelanzahl je Betriebsmittelgruppe

| Betriebsmittelgruppe $j$    | Anzahl errechneter Betriebsmittel $z_{BMjerr}$ bei Schichten $S_i$ [St] |      |      | Anzahl einzusetzender Betriebsmittel $z_{BMj}$ bei Schichten $S_i$ [St] |    |     | Auslastungsgrad der Betriebsmittel $n_{BMi}$ bei Schichten $S_i$ [%] |       |      |
|-----------------------------|---|------|------|---|----|-----|--|-------|------|
|                             | I   | II   | III  | I   | II | III | I  | II    | III  |
| <b>Drehen</b>               |   |      |      |   |    |     |  |       |      |
| DLZ 450x800                 | 6,14  | 3,07 | 2,13 | 7   | 3  | 3   | 87,7   | 102,3 | 71,1 |
| DRT 63 m                    | 0,68  | 0,34 | 0,24 | 1   | 1  | 1   | 68,1   | 34,0  | 23,7 |
| <b>Fräsen</b>               |   |      |      |   |    |     |  |       |      |
| FSS 355x1250/III            | 2,38  | 1,19 | 0,83 | 3   | 2  | 1   | 79,5   | 59,6  | 82,9 |
| FW 315x1250/V               | 1,32  | 0,66 | 0,46 | 2   | 1  | 1   | 65,9   | 65,9  | 45,8 |
| <b>Bohren</b>               |   |      |      |   |    |     |  |       |      |
| BR 56x1600                  | 0,93  | 0,47 | 0,32 | 1   | 1  | 1   | 93,2   | 46,6  | 32,4 |
| BK 63                       | 0,99  | 0,49 | 0,34 | 1   | 1  | 1   | 98,7   | 49,3  | 34,3 |
| BWF 250x400                 | 0,35  | 0,18 | 0,12 | 1   | 1  | 1   | 35,2   | 17,6  | 12,2 |
| <b>Schleifen</b>            |   |      |      |   |    |     |  |       |      |
| SA 315x630                  | 3,44  | 1,72 | 1,20 | 4   | 2  | 2   | 86,0   | 86,0  | 59,8 |
| SFS 630x2000                | 0,57  | 0,28 | 0,20 | 1   | 1  | 1   | 56,7   | 28,3  | 19,7 |
| <b>sonst. Arbeitsplätze</b> |   |      |      |   |    |     |  |       |      |
| E-Schweißen+Richten         | 0,34  | 0,17 | 0,12 | 1   | 1  | 1   | 34,4   | 17,2  | 12,0 |
| WaMa Gas II/2 AG 380        | 0,04  | 0,02 | 0,01 | 1   | 1  | 1   | 3,9  | 2,0   | 1,4  |
| Entgraten BK 63             | 0,19  | 0,09 | 0,07 | 1   | 1  | 1   | 18,7   | 9,4   | 6,5  |
| Entgr. FSS 355x1250/III     | 0,04  | 0,02 | 0,01 | 1   | 1  | 1   | 3,7  | 1,8   | 1,3  |
| Entgr. SFS 630x2000         | 0,04  | 0,02 | 0,01 | 1   | 1  | 1   | 4,1  | 2,1   | 1,4  |
| Konservieren                | 0,17  | 0,09 | 0,06 | 1   | 1  | 1   | 17,4   | 8,7   | 6,1  |

Tabelle 3-5: Auslastung der Betriebsmittel

Aus Tabelle 3-5 geht hervor, dass bei Einführung eines Zwei-Schicht-Systems die Betriebsmittelgruppe DLZ 450x800 einen Engpass mit 102 % Auslastung darstellt. Diese – planerische - Überauslastung wird jedoch aufgrund von Kapazitätspuffern in Form von Mehrarbeit in einer dritten Schicht sowie des Planungsfaktors toleriert.

### 3.1.4.1 Kapazitätsverschiebungen auf den Betriebsmittelgruppen

Denkbar ist weiterhin, die Anzahl der benötigten Betriebsmittel zu verringern<sup>6</sup> und deren Auslastung zu erhöhen. Das kann durch Verschiebung von Arbeitsgängen innerhalb eines Fertigungsverfahrens von einer Betriebsmittelgruppe auf eine Andere geschehen.

Zum einen setzt dies technologische Gleichwertigkeit der verlagerten zur verlagernden Maschine voraus (siehe Abschnitt 3.1.2); zudem werden sich u.U. Stück- bzw. Rüstzeiten verändern. Zum anderen sind von der Fertigungsleitung (hier Betreuer) verbindliche Arbeitspläne vorgegeben. Somit wird auf eine mögliche Verschiebung von Kapazitäten auf andere Maschinentypen gleicher Hauptgruppe verzichtet.

### 3.1.4.2 Schichtsystem

Es stellt sich nun die Frage, welches Schichtsystem für die weitere Planung bevorzugt werden sollte. Für jedes Schichtsystem gibt es mehrere, komplementäre, zum Teil konkurrierende und auch antinome Argumente:

1. Aus Kostensicht sollte eine hohe Auslastung insbesondere kostenintensiver Betriebsmittel angestrebt werden, folglich sollte im Drei-Schicht-System geplant werden.
2. Aus Flächenminimierungsgründen sollte die Anzahl der Betriebsmittel gleichfalls reduziert werden, was für ein Drei-Schicht-System spricht.
3. Aus planerischer Sicht sollten Kapazitätspuffer gelassen werden, etwa in Form einer noch nicht verplanten zweiten oder dritten Schicht, da Überplanungen oft mit Engpässen einhergehen, die später flexibel in Form von Mehrarbeit gelöst werden können. Dies spricht für ein Ein- bzw. Zwei-Schicht-System.
4. Aus Sicht der Flexibilität des Produktionsprogramms sollte einerseits der Break-Even-Point, der wesentlich durch den Fixkostenanteil (also insbesondere Anzahl der Betriebsmittel) beeinflusst wird, möglichst niedrig sein, was für eine hohe zeitliche Auslastung durch ein Drei-Schicht-System spricht.  
Andererseits sollten Ausweitungspotentiale der Produktion eingeplant werden, was mit dem unter 3. Gesagtem einhergeht.
5. Aus arbeitswissenschaftlicher Sicht sollte mit einem Ein-Schicht-System geplant werden, da hier Kommunikationsprobleme zwischen den Schichten, sowie arbeitsphysiologisch ungünstige und durch Zuschläge kostenintensive Nacharbeit vermieden werden.

---

<sup>6</sup> so auch Gäse, S. 44, Tabelle 3-6

Tabelle 3-6 zeigt den Zusammenhang von Betriebsmittelzahl bzw. Investitionssumme und Anzahl der Schichten:

| Betriebsmittelgruppe $j$    | Preis je Maschine [€/St] | Investition [€] bei Schichten $S_j$ |                |                | $Z_{BMj}$<br>I -> II<br>Schicht [St] | Delta Invest [€] | $Z_{BMj}$<br>II -> III<br>Schicht [St] | Delta Invest [€] |
|-----------------------------|--------------------------|-------------------------------------|----------------|----------------|--------------------------------------|------------------|--|------------------|
|                             |                          | I                                   | II             | III            |                                      |                  |  |                  |
| <b>Drehen</b>               |                          |                                     |                |                |                                      |                  |  |                  |
| DLZ 450x800                 | 62.000                   | 434.000                             | 186.000        | 186.000        | 4                                    | 248.000          | 0                                      |                  |
| DRT 63 m                    | 62.000                   | 62.000                              | 62.000         | 62.000         | 0                                    |                  | 0                                      |                  |
| <b>Fräsen</b>               |                          |                                     |                |                |                                      |                  |  |                  |
| FSS 355x1250/III            | 62.000                   | 186.000                             | 124.000        | 62.000         | 1                                    | 62.000           | 1                                      | 62.000           |
| FW 315x1250/V               | 47.000                   | 94.000                              | 47.000         | 47.000         | 1                                    | 47.000           | 0                                      |                  |
| <b>Bohren</b>               |                          |                                     |                |                |                                      |                  |  |                  |
| BR 56x1600                  | 38.000                   | 38.000                              | 38.000         | 38.000         | 0                                    |                  | 0                                      |                  |
| BK 63                       | 31.000                   | 31.000                              | 31.000         | 31.000         | 0                                    |                  | 0                                      |                  |
| BWF 250x400                 | 115.000                  | 115.000                             | 115.000        | 115.000        | 0                                    |                  | 0                                      |                  |
| <b>Schleifen</b>            |                          |                                     |                |                |                                      |                  |  |                  |
| SA 315x630                  | 75.000                   | 300.000                             | 150.000        | 150.000        | 2                                    | 150.000          | 0                                      |                  |
| SFS 630x2000                | 75.000                   | 75.000                              | 75.000         | 75.000         | 0                                    |                  | 0                                      |                  |
| <b>sonst. Arbeitsplätze</b> |                          |                                     |                |                |                                      |                  |  |                  |
| E-Schweißen+Richten         | 10.000                   | 10.000                              | 10.000         | 10.000         | 0                                    |                  | 0                                      |                  |
| WaMa Gas II/2 AG 380        | 23.000                   | 23.000                              | 23.000         | 23.000         | 0                                    |                  | 0                                      |                  |
| Entgraten BK 63             | 400                      | 400                                 | 400            | 400            | 0                                    |                  | 0                                      |                  |
| Entgr. FSS 355x1250/III     | 400                      | 400                                 | 400            | 400            | 0                                    |                  | 0                                      |                  |
| Entgr. SFS 630x2000         | 400                      | 400                                 | 400            | 400            | 0                                    |                  | 0                                      |                  |
| Konservieren                | 400                      | 400                                 | 400            | 400            | 0                                    |                  | 0                                      |                  |
| <b>Summe</b>                |                          | <b>1.369.600</b>                    | <b>862.600</b> | <b>800.600</b> |                                      | <b>507.000</b>   |  | <b>62.000</b>    |

Tabelle 3-6: abnehmender Grenznutzen der Investitionseinsparungen bezüglich des Schichtsystems

Unter Abwägung der o.g. Punkte entscheiden wir uns bei der Planung der Betriebsmittel für ein Zwei-Schicht-System. Dieses berücksichtigt alle Argumente in angemessener Art und Weise und stellt hinsichtlich Kapazität, Kosten- und arbeitswissenschaftlicher Sicht ein Optimum dar. Insbesondere zeigen Tabelle 3-6 und Abbildung 3-1, dass die Investitionsmittelminimierung vom Zwei- zum Drei-Schicht-System signifikant abnimmt.

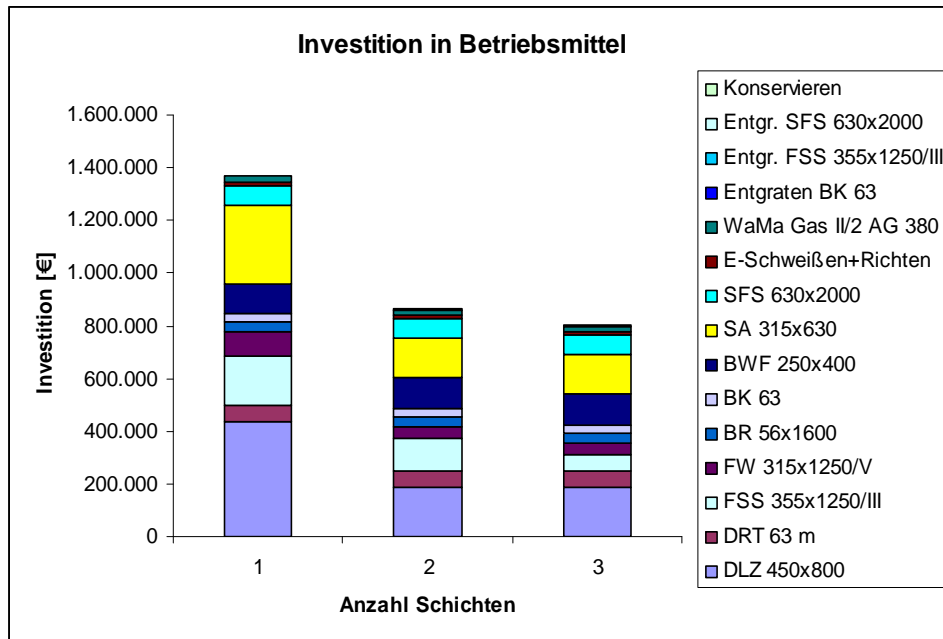


Abbildung 3-1: Zusammenhang zwischen Betriebsmittelinvestition und Anzahl der Schichten

### 3.1.4.3 Schlussbemerkung

Es bleibt anzumerken, dass es sich bei der Planung der benötigten Betriebsmittel um eine statische Planung handelt. Im Gegensatz zur dynamischen Dimensionierung<sup>7</sup> sind prozessbedingte Leerzeiten der Betriebsmittel nicht erfasst. Insofern idealisiert die statische Planung einen aus Maschinensicht perfekten Fluss des Materialstromes zwischen den Betriebsmittelgruppen.

Tatsächlich jedoch sind verfügbare und benötigte Kapazitäten nicht synchronisiert. Erfahrungsgemäß zeigt sich in der Produktionssteuerung, dass eine einseitig auf Kapazitätsauslastung ausgelegte Fertigung zulasten längerer Durchlaufzeiten des Materials nicht ratsam ist. Jedoch ist der Planungsfaktor mit 0,75 bis 0,9 ausreichend dimensioniert, um neben den Wartungs- und Tool-down-Zeiten auch solche prozessbedingten Leerzeiten zu berücksichtigen und der späteren Fertigungssteuerung ein optimalen Spielraum zu ermöglichen. Somit kann auf eine dynamische Dimensionierung verzichtet werden, da die berechneten Zahlen ausreichend Raum für Schwankungen lassen.

## 3.2 Ermittlung des Arbeitskräftebedarfes

Die Arbeitskräftezahl je Qualifikationsgruppe  $z_{APkj}$  ermittelt sich analog nach Formel

$$(7) \quad z_{APkj} = \frac{T_{bBj}}{T_{APvkj} \cdot z_{MMBkj}}$$

<sup>7</sup> hierzu Gäse, Werkstätten- und Produktionssystemprojektierung, S. 45f



mit

$$(8) \quad T_{APvkj} = n_{zki} \cdot A_i \cdot T_S$$

und Formel

$$(9) \quad z_{APker r} = \sum_i z_{APkjerr} ,$$

sowie gilt:

$$(10) \quad z_{APk} \geq z_{APker r} .$$

Darüber hinaus bestimmt sich die zeitliche Auslastung  $n_{APk}$  nach Formel

$$(11) \quad n_{APk} = \frac{z_{APker r}}{z_{APk}} .$$

$T_{APvkj}$  Soll-Einsatzzeit einer Arbeitskraft

$z_{MMBkj}$  Zahl der Betriebsmittel je Bediener (in unserer Planung = 1)

$z_{APkjerr}$  errechnete Zahl der Arbeitskräfte einer Berufsgruppe  $k$  je Betriebsmittelgruppe  $j$

$z_{APker r}$  errechnete Zahl der Arbeitskräfte einer Berufsgruppe  $k$

$z_{APk}$  einzusetzende Zahl der Arbeitskräfte einer Berufsgruppe  $k$

$n_{APk}$  zeitlicher Auslastungsgrad je Berufsgruppe  $k$

Angewandt auf unsere Planungsdaten ( $T_{bBj}$  siehe Tabelle 3-2) ergibt sich folgendes Bild:

| Betriebsmittelgruppe $j$    | Berufsgruppe $k$ | $z_{MMBkj}$ | $\eta_{zkj}$ | Arbeits-tage $A_i$ [d/a] | $T_S$ bei Schichten [min/S] |     | $T_{APvkj}$ bei Schichten [min/a] |        | $z_{APkjerr}$ bei Schichten |      | $z_{APk}$ bei Schichten |     |
|-----------------------------|------------------|-------------|--------------|--------------------------|-----------------------------|-----|-----------------------------------|--------|-----------------------------|------|-------------------------|-----|
|                             |                  |             |              |                          | I bzw II                    | III | I bzw II                          | III    | I bzw II                    | III  | I bzw II                | III |
| <b>Drehen</b>               |                  |             |              |                          |                             |     |                                   |        |                             |      |                         |     |
| DLZ 450x800                 | Zerspaner        | 1           | 0,80         | 255                      | 480                         | 460 | 97.920                            | 93.840 | 5,98                        | 6,24 | 6                       | 7   |
| DRT 63 m                    | Zerspaner        | 1           | 0,80         | 255                      | 480                         | 460 | 97.920                            | 93.840 | 0,67                        | 0,70 | 1                       | 1   |
| <b>Fräsen</b>               |                  |             |              |                          |                             |     |                                   |        |                             |      |                         |     |
| FSS 355x1250/III            | Zerspaner        | 1           | 0,80         | 255                      | 480                         | 460 | 97.920                            | 93.840 | 2,59                        | 2,71 | 3                       | 3   |
| FW 315x1250/V               | Zerspaner        | 1           | 0,80         | 255                      | 480                         | 460 | 97.920                            | 93.840 | 1,43                        | 1,50 | 2                       | 2   |
| <b>Bohren</b>               |                  |             |              |                          |                             |     |                                   |        |                             |      |                         |     |
| BR 56x1600                  | Zerspaner        | 1           | 0,80         | 255                      | 480                         | 460 | 97.920                            | 93.840 | 0,87                        | 0,91 | 1                       | 1   |
| BK 63                       | Zerspaner        | 1           | 0,80         | 255                      | 480                         | 460 | 97.920                            | 93.840 | 0,99                        | 1,03 | 1                       | 1   |
| BWF 250x400                 | Zerspaner        | 1           | 0,80         | 255                      | 480                         | 460 | 97.920                            | 93.840 | 0,33                        | 0,34 | 1                       | 1   |
| <b>Schleifen</b>            |                  |             |              |                          |                             |     |                                   |        |                             |      |                         |     |
| SA 315x630                  | Zerspaner        | 1           | 0,80         | 255                      | 480                         | 460 | 97.920                            | 93.840 | 3,31                        | 3,46 | 4                       | 4   |
| SFS 630x2000                | Zerspaner        | 1           | 0,80         | 255                      | 480                         | 460 | 97.920                            | 93.840 | 0,57                        | 0,59 | 1                       | 1   |
| <b>sonst. Arbeitsplätze</b> |                  |             |              |                          |                             |     |                                   |        |                             |      |                         |     |
| E-Schweißen+Richten         | E-Schweißer      | 1           | 0,80         | 255                      | 480                         | 460 | 97.920                            | 93.840 | 0,39                        | 0,40 | 1                       | 1   |
| WaMa Gas II/2 AG 380        | Hilfsarbeiter    | 1           | 0,78         | 255                      | 480                         | 460 | 95.472                            | 91.494 | 0,04                        | 0,04 | 1                       | 1   |
| Entgraten BK 63             | Zerspaner        | 1           | 0,80         | 255                      | 480                         | 460 | 97.920                            | 93.840 | 0,21                        | 0,22 | 1                       | 1   |
| Entgr. FSS 355x1250/III     | Zerspaner        | 1           | 0,80         | 255                      | 480                         | 460 | 97.920                            | 93.840 | 0,04                        | 0,04 | 1                       | 1   |
| Entgr. SFS 630x2000         | Zerspaner        | 1           | 0,80         | 255                      | 480                         | 460 | 97.920                            | 93.840 | 0,05                        | 0,05 | 1                       | 1   |
| Konservieren                | Hilfsarbeiter    | 1           | 0,78         | 255                      | 480                         | 460 | 95.472                            | 91.494 | 0,20                        | 0,21 | 1                       | 1   |

Tabelle 3-7: Personalbedarf nach Betriebsmitteln

Zusätzlich soll die erforderliche Anzahl der Staplerfahrer berechnet werden. Diese ergibt sich überschlägig aus der Zahl der Transporte innerhalb der Werkstatt und der hierfür geschätzten Zeit. Die Transportzeit eines Loses von einem Betriebsmittel zum Nachfolgenden entsprechend der Arbeitspläne wird mit  $t_{\text{Transport}} = 10 \text{ min}$  determiniert.

| Teilenummer   | Teilebezeichnung | Aufträge | Behälter je Auftrag [St/Auftrag] | Transporte je Auftrag zwischen Betriebsmitteln [St] | Transporte [ $a^{-1}$ ] | Zeit je Transport [min] | Anzahl Transporte [St] | $T_{APV}$ [min/a] | Auslastungsgrad [%] |
|---------------|------------------|----------|----------------------------------|---|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------|---------------------|
| 2.1           | Welle 1          | 50       | 2                                | 7   | 350                     | 10                      | 3.500                  | 97.920            | 3,57                |
| 3.1           | Pleuel           | 50       | 1                                | 11  | 550                     | 10                      | 5.500                  | 97.920            | 5,62                |
| 3.2           | Pleuelbuchse     | 20       | 1                                | 4   | 80                      | 10                      | 800                    | 97.920            | 0,82                |
| 4.1           | Lagerbock        | 10       | 2                                | 7   | 70                      | 10                      | 700                    | 97.920            | 0,71                |
| 4.2           | Welle 2          | 10       | 2                                | 8   | 80                      | 10                      | 800                    | 97.920            | 0,82                |
| <b>Gesamt</b> |                  |          |                                  | <b>37</b>   | <b>1.130</b>            |                         | <b>11.300</b>          |                   | <b>11,54</b>        |

Tabelle 3-8: Auslastung eines Staplerfahrers

Tabelle 3-8 macht deutlich, dass ein Staplerfahrer für den Transport innerhalb der Werkstatt kaum ausgelastet ist. Bei Mehrschicht-System verschlechtert sich diese Quote weiter. Dies wird verschärft durch den wirtschaftlichen Zwang, in jeder Schicht einen Staplerfahrer einzusetzen, um nicht wertschöpfende Liegezeiten zu verkürzen und Leerzeiten an den Betriebsmitteln zu vermeiden.

Planerische Vorschläge:

- a) Übernahme der Transporte durch einen Zerspaner mit Staplerausbildung.
- b) Aufteilung der Personalstelle(n) mit anderen Produktionsbereichen (Montage, Lager).

Hier besteht planerisches Rationalisierungspotential. Für die weitere Planung rechnen wir - überplanend - mit einer Personalstelle je Schicht innerhalb der Werkstatt.

Es ergeben sich die Anzahl der einzusetzenden Arbeitskräfte und deren Auslastung:

| Berufsgruppe $k$ | errechnete Anzahl MA $Z_{APkerr}$ bei Schichten |       |       | einzusetzende Anzahl MA $Z_{APk}$ bei Schichten |           |           | Auslastung der MA $n_{APk}$ bei Schichten [%] |      |       |
|------------------|---|-------|-------|---|-----------|-----------|---|------|-------|
|                  | I   | II    | III   | I   | II        | III       | I   | II   | III   |
| Zerspaner        | 17,04   | 17,04 | 17,78 | 17  | 17        | 18        | 100%  | 100% | 99%   |
| E-Schweißer      | 0,39  | 0,40  | 0,40  | 1   | 1         | 1         | 39%   | 39%  | 40%   |
| Hilfsarbeiter    | 0,24  | 0,24  | 0,25  | 1   | 1         | 1         | 24%   | 24%  | 25%   |
| Meister          | -   | -     | -     | 1   | 2         | 3         | >100 %  | >100 | >100% |
| Staplerfahrer    | 0,12  | 0,06  | 0,04  | 1   | 2         | 3         | 12%   | 6%   | 4%    |
| <b>Gesamt</b>    |   |       |       | <b>21</b>                                       | <b>23</b> | <b>26</b> |   |      |       |

Tabelle 3-9: Anzahl und Auslastung der benötigten Arbeitskräfte

Aus Tabelle 3-9 ist die hohe Auslastung in der Berufsgruppe Zerspaner erkennbar. Die Anzahl der Maschinenbediener ist im Ein- bzw. Zwei-Schicht-System gleich. Im Gegensatz zur

Planung der Betriebsmittel und deren Flächenbedarf ist die Anpassung des Personalbedarfes an schwankende Kapazitäten relativ schnell möglich (Mehrarbeit, flexible Arbeitszeitkonten, Leiharbeit, usw.). Aus diesem Grund ist für das Personal eine höhere Auslastung ( $n_{APk} \geq 90\%$ ) als für die Betriebsmittel anzustreben<sup>8</sup>. Ebenfalls aus Tabelle 3-9 ist die geplante Beschäftigung eines Meisters je Schicht zur Anleitung, Vergabe und Kontrolle von Fertigungsaufträgen an die Werker erkennbar. Ausfall durch Urlaub, Krankheit, Schulung ( $n_{zk}$ ) wird für diese Berufsgruppe nicht explizit berechnet, es wird während dieser Zeit eine Vertretung durch einen Zerspaner angenommen.

### 3.2.1 Plausibilitätskontrolle von Arbeitskräften und Betriebsmitteln

Die Ermittlung des Betriebsmittel- und Personalbedarfs wird getrennt von einander vorgenommen, steht aber in engem Zusammenhang<sup>9</sup>. So wird abschließend überprüft, ob die Zahl der Arbeitskräfte ausreicht, um die Betriebsmittel während ihrer Belegung zu bedienen.

| Berufsgruppe $k$         | von einer Berufsgruppe $k$ zu bedienende Anzahl Maschinen je Schicht |      |      | Anzahl Mitarbeiter einer Berufsgruppe $k$ je Schicht |             |            |
|--------------------------|--|------|------|--|-------------|------------|
|                          | I  | II   | III  | I  | II          | III        |
| Zerspaner                | 17,06  | 8,53 | 5,93 | 17,0   | 8,5         | 6,0        |
| E-Schweißer              | 0,34   | 0,17 | 0,12 | 1  | 0,5         | 0,3        |
| Hilfsarbeiter            | 0,21   | 0,11 | 0,07 | 1  | 0,5         | 0,3        |
| Meister                  | -  | -    | -    | 1  | 1           | 1          |
| Staplerfahrer            | -  | -    | -    | 1  | 1           | 1          |
| <b>Gesamt je Schicht</b> |  |      |      | <b>21</b>  | <b>11,5</b> | <b>8,6</b> |

Tabelle 3-10: Verteilung der Arbeitskräfte nach Schichten

Es gilt:

$$(12) \quad z_{APk_{Schicht}} \geq z_{BMk_{Schicht}}$$

Es ist erkennbar, dass die Anzahl der Mitarbeiter je Schicht in allen Berufsgruppen und allen Varianten ausreicht, um die Maschinen zu bedienen. In der Berufsgruppe der Zerspaner kommt es aufgrund der hohen Auslastung zu einer leichten Überschreitung der Formel (12), die jedoch mit 0,3% innerhalb der Planungstoleranz liegt.

Es ist offensichtlich, dass die Tätigkeiten des E-Schweißers (Schweißen und Richten) und des Hilfsarbeiters (Konservieren und Waschen) insbesondere aus Entlohnungsgründen (Teilzeit) im Ein-Schicht-Betrieb zu einer ganzen Personalstelle zusammen.

<sup>8</sup> so auch Gäse, Werkstätten- und Produktionssystemprojektierung, S. 44

<sup>9</sup> siehe Fn 8

### 3.2.2 Ergebnis der Personalbedarfsplanung

Es wird in Übereinstimmung mit Abschnitt 3.1.4.2 grds. auf ein Zwei-Schicht-System geplant. Schweißer und Hilfsarbeitertätigkeiten werden zu jeweils einer Personalstelle im Ein-Schicht-System gebündelt. Der Personalbedarf stellt sich wie folgt dar:

| Berufsgruppe $k$ | Anzahl Mitarbeiter im Zwei-Schicht-Betrieb |
|------------------|--|
| Zerspaner        | 17   |
| E-Schweißer      | 1  |
| Hilfsarbeiter    | 1  |
| Meister          | 2  |
| Staplerfahrer    | 2  |
| <b>Gesamt</b>    | <b>23</b>                                  |

Tabelle 3-11: Personalbedarf der Produktionsstätte

## 3.3 Ermittlung des Flächenbedarfes

### 3.3.1 Produktionsfläche $A_P$

Nun soll die benötigte Produktionsfläche  $A_P$  nach dem Bottom-up Ansatz ermittelt werden.

Die Produktionsfläche  $A_P$  setzt sich aus Nettoproduktionsfläche  $A_N$ , der Bereitstellungsfäche  $A_{BF}$ , der Transportfläche  $A_T$ , der Zwischenlagerfläche  $A_Z$  und der Hilfsfläche  $A_H$  zusammen:

$$(13) \quad A_P = A_N + A_{BF} + A_T + A_Z + A_H$$

Die Nettoproduktionsfläche  $A_N$  ist die Summe der ausschließlich zur Durchführung von Operationen des Fertigungsfortschritts dienenden Flächen einschließlich der Flächen für die Instandhaltung vor Ort.

$$(14) \quad A_N = \sum A_{FP} \cdot (1 - \eta_{\ddot{u}a}) + A_{FR}$$

$A_{FR}$  freie nicht planbare Fläche

$\eta_{\ddot{u}a}$  äußerer Überdeckungsgrad

$\eta_{\ddot{u}a}$  als äußerer Überdeckungsgrad gibt das Maß der Überdeckung der Fertigungsplatzflächen ohne Funktionsbeeinträchtigung an. In unserer Planung wird  $\eta_{\ddot{u}a}$  nach Gäse<sup>10</sup> auf 0,1 geschätzt.

Die aufgrund ungünstiger Anordnung durch bauliche Restriktionen zu berücksichtigende, nicht planbare freie Fläche  $A_{FR}$  wird mit dem 0,1fachen der Fertigungsplatzfläche  $A_{FP}$  angenommen.

Somit entspricht die Nettoproduktionsfläche  $A_N$  der Summe der Fertigungsflächen  $A_{FP}$ :

$$(15) \quad A_N = A_{FP}$$

<sup>10</sup> Gäse, Werkstätten- und Produktionssystemprojektierung, S. 55, Tab. 3-14

### 3.3.2 Fertigungsplatzfläche $A_{FP}$

Für die Dimensionierung des Flächenbedarfes der Fertigungsplatzflächen  $A_{FP}$  kommen verschiedene Methoden in Betracht<sup>11</sup>:

1. die Berechnung mittels Regressionsfunktion,
2. die Berechnung mittels Zuschlagsfaktoren, sowie
3. die Berechnung nach der Ersatzflächenmethode.

Die Berechnung des Flächenbedarfes mittels Regressionsfunktion setzt hinreichend genaue Kenntnis dieser – spezifischen - Funktion voraus. Die Methode mittels Zuschlagsfaktoren, die die Maschinengrundfläche mit geschätzten Flächenfaktoren multipliziert, ist zwar einfach zu handhaben, leidet aber oft an einer gewissen Ungenauigkeit<sup>12</sup>. Deshalb werden wir nachfolgend die Ersatzflächenmethode nach Kettner<sup>13</sup> verwenden, die zur Maschinengrundfläche  $A_{FG}$  weitere Flächen addiert, um zur rechteckigen Fertigungsplatzfläche  $A_{FP}$  zu gelangen.

So ergibt sich die Fertigungsplatzfläche:

$$(16) \quad A_{FP} = B_{FP} \cdot T_{FP} = (B_{FE} + Z_W) \cdot (T_{FE} + 0,5 \cdot Z_W + Z_S + Z_B) \quad [m^2].$$

Für unten genannte Größen bedeutet dies vereinfacht:

$$(17) \quad A_{FP} = (B_{FE} + 0,8) \cdot (T_{FE} + 1,4) \quad [m^2].$$

Zur Fertigungsplatzfläche  $A_{FP}$  kommt noch die Bereitstellungsfläche für Transportbehälter  $A_{BF}$  hinzu, welche in Summe die Arbeitsplatzfläche  $A_A$  ergeben:

$$(18) \quad A_A = A_{FP} + A_{BF}$$

$A_{FP}$  Fertigungsplatzfläche

$Z_W$  Zuschlag für Wartung = 0,80 m

$Z_S$  Zuschlag für Sicherheit = 0,30 m

$Z_B$  Zuschlag für Bediener = 0,70 m

$B_{FP}$  Breite des Fertigungsplatzes

$T_{FP}$  Tiefe des Fertigungsplatzes

$B_{FE}$  Breite der Fertigungseinrichtung (Maschine)

$T_{FE}$  Tiefe der Fertigungseinrichtung (Maschine)

$A_A$  Arbeitsplatzfläche

$A_{BF}$  Bereitstellungsfläche je Arbeitsplatz = 1,44 m<sup>2</sup> (drei Transportbehälter a 0,48m<sup>2</sup>)

---

<sup>11</sup> eine Übersicht in Grundig, Fabrikplanung, S. 86 ff.

<sup>12</sup> Gäse, Werkstätten- und Produktionssystemprojektierung, S. 52

<sup>13</sup> Kettner, Fabrikplanung, S. 77 f.

| Betriebsmittelgruppe <i>j</i> | B <sub>FE</sub><br>[m] | T <sub>FE</sub><br>[m] | A <sub>GF</sub><br>[m <sup>2</sup> ] | Z <sub>W</sub><br>[m] | Z <sub>B</sub><br>[m] | Z <sub>S</sub><br>[m] | B <sub>FP</sub><br>[m] | T <sub>FP</sub><br>[m] | A <sub>FP</sub><br>[m <sup>2</sup> ] | A <sub>BF</sub><br>[m <sup>2</sup> ] | A <sub>A</sub><br>[m <sup>2</sup> ] | n <sub>BM</sub><br>[St] | A <sub>FP</sub><br>[m <sup>2</sup> ] | A <sub>BF</sub><br>[m <sup>2</sup> ] | A <sub>A</sub><br>[m <sup>2</sup> ] |
|-------------------------------|------------------------|------------------------|--------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| <b>Drehen</b>                 |                        |                        |                                      |                       |                       |                       |                        |                        |                                      |                                      |                                     |                         |                                      |                                      |                                     |
| DLZ 450x800                   | 2,40                   | 0,70                   | 1,68                                 | 0,80                  | 0,70                  | 0,30                  | 3,20                   | 2,10                   | 6,72                                 | 1,44                                 | 8,16                                | 3                       | 20,16                                | 4,32                                 | 24,48                               |
| DRT 63 m                      | 6,00                   | 1,00                   | 6,00                                 | 0,80                  | 0,70                  | 0,30                  | 6,80                   | 2,40                   | 16,32                                | 1,44                                 | 17,76                               | 1                       | 16,32                                | 1,44                                 | 17,76                               |
| <b>Fräsen</b>                 |                        |                        |                                      |                       |                       |                       |                        |                        |                                      |                                      |                                     |                         |                                      |                                      |                                     |
| FSS 355x1250/III              | 2,90                   | 2,80                   | 8,12                                 | 0,80                  | 0,70                  | 0,30                  | 3,70                   | 4,20                   | 15,54                                | 1,44                                 | 16,98                               | 2                       | 31,08                                | 2,88                                 | 33,96                               |
| FW 315x1250/V                 | 3,30                   | 2,60                   | 8,58                                 | 0,80                  | 0,70                  | 0,30                  | 4,10                   | 4,00                   | 16,40                                | 1,44                                 | 17,84                               | 1                       | 16,40                                | 1,44                                 | 17,84                               |
| <b>Bohren</b>                 |                        |                        |                                      |                       |                       |                       |                        |                        |                                      |                                      |                                     |                         |                                      |                                      |                                     |
| BR 56x1600                    | 2,80                   | 1,00                   | 2,80                                 | 0,80                  | 0,70                  | 0,30                  | 3,60                   | 2,40                   | 8,64                                 | 1,44                                 | 10,08                               | 1                       | 8,64                                 | 1,44                                 | 10,08                               |
| BK 63                         | 1,00                   | 2,00                   |                                      | 0,80                  | 0,70                  | 0,30                  | 1,80                   | 3,40                   | 6,12                                 | 1,44                                 | 7,56                                | 1                       | 6,12                                 | 1,44                                 | 7,56                                |
| BWF 250x400                   | 2,30                   | 1,40                   | 3,22                                 | 0,80                  | 0,70                  | 0,30                  | 3,10                   | 2,80                   | 8,68                                 | 1,44                                 | 10,12                               | 1                       | 8,68                                 | 1,44                                 | 10,12                               |
| <b>Schleifen</b>              |                        |                        |                                      |                       |                       |                       |                        |                        |                                      |                                      |                                     |                         |                                      |                                      |                                     |
| SA 315x630                    | 3,40                   | 2,10                   | 7,14                                 | 0,80                  | 0,70                  | 0,30                  | 4,20                   | 3,50                   | 14,70                                | 1,44                                 | 16,14                               | 2                       | 29,40                                | 2,88                                 | 32,28                               |
| SFS 630x2000                  | 8,50                   | 2,80                   | 23,80                                | 0,80                  | 0,70                  | 0,30                  | 9,30                   | 4,20                   | 39,06                                | 1,44                                 | 40,50                               | 1                       | 39,06                                | 1,44                                 | 40,50                               |
| <b>sonst. Arbeitsplätze</b>   |                        |                        |                                      |                       |                       |                       |                        |                        |                                      |                                      |                                     |                         |                                      |                                      |                                     |
| E-Schweißen+Richten           | 2,90                   | 1,10                   | 3,19                                 | 0,80                  | 0,70                  | 0,30                  | 3,70                   | 2,50                   | 9,25                                 | 1,44                                 | 10,69                               | 1                       | 9,25                                 | 1,44                                 | 10,69                               |
| WaMa Gas II/2 AG 380          | 2,00                   | 1,40                   | 2,80                                 | 0,80                  | 0,70                  | 0,30                  | 2,80                   | 2,80                   | 7,84                                 | 1,44                                 | 9,28                                | 1                       | 7,84                                 | 1,44                                 | 9,28                                |
| Entgraten an BK 63            | 2,00                   | 0,80                   | 1,60                                 | 0,80                  | 0,70                  | 0,30                  | 2,80                   | 2,20                   | 6,16                                 | 1,44                                 | 7,60                                | 1                       | 6,16                                 | 1,44                                 | 7,60                                |
| Entgr. FSS 355x1250/III       | 2,00                   | 0,80                   | 1,60                                 | 0,80                  | 0,70                  | 0,30                  | 2,80                   | 2,20                   | 6,16                                 | 1,44                                 | 7,60                                | 1                       | 6,16                                 | 1,44                                 | 7,60                                |
| Entgr. SFS 630x2000           | 2,00                   | 0,80                   | 1,60                                 | 0,80                  | 0,70                  | 0,30                  | 2,80                   | 2,20                   | 6,16                                 | 1,44                                 | 7,60                                | 1                       | 6,16                                 | 1,44                                 | 7,60                                |
| Konservieren                  | 2,00                   | 0,80                   | 1,60                                 | 0,80                  | 0,70                  | 0,30                  | 2,80                   | 2,20                   | 6,16                                 | 1,44                                 | 7,60                                | 1                       | 6,16                                 | 1,44                                 | 7,60                                |
| <b>Summe</b>                  |                        |                        |                                      |                       |                       |                       |                        |                        |                                      |                                      |                                     |                         | <b>217,6</b>                         | <b>27,4</b>                          | <b>245,0</b>                        |

Tabelle 3-12: Flächenberechnung der Fertigungs- und Bereitstellungsfläche der Betriebsmittelgruppen

### 3.3.3 weitere Flächen

Die Transportfläche  $A_T$  ist die Summe der gekennzeichneten, jedoch baulich nicht fest abgegrenzten Flächen für Personenverkehr und Materialtransport:

$$(19) \quad A_T = 0,4 \cdot \sum A_{FP}$$

Die Zwischenlagerfläche  $A_Z$  soll abweichend von Gäse<sup>14</sup> laut Aufgabenstellung 10 m<sup>2</sup> betragen. Bereitstellungsflächen an den Fertigungsplätzen sind hingegen in der Arbeitsplatzfläche  $A_A$  enthalten.

Die Hilfsfläche  $A_H$  ist die Summe der Flächen, die der Durchführung von Leitungs- und Kontrollfunktionen dienen. Wir fassen hierunter das Meisterbüro mit ca. 20 m<sup>2</sup> sowie weitere Flächen zur Werkzeugausgabe.

$$(20) \quad A_H = 0,2 \cdot \sum A_{FP}$$

### 3.3.4 Ergebnis des Flächenbedarfes

Das Ergebnis der Berechnungen des Flächenbedarfes nach Formel

$$(21) \quad A_P = A_N + A_{BF} + A_T + A_Z + A_H$$

<sup>14</sup> $A_Z = 0,4 \cdot \sum A_{FP}$ , vgl. Gäse, Werkstätten- und Produktionssystemprojektierung, S. 55

stellt Tabelle 3-13 dar:

| <b>Flächentyp</b>                         | <b>Fläche [m<sup>2</sup>]</b> |
|---|-------------------------------|
| Fertigungsplatzfläche $A_{FP}$            | 217,6                         |
| Bereitstellungsfläche $A_{BF}$            | 27,4                          |
| Arbeitsplatzfläche $A_A$                  | 245,0                         |
| Nettoproduktionsfläche $A_N$              | 217,6                         |
| Hilfsfläche (incl. Meisterbüro) $A_H$     | 43,5                          |
| Transportfläche $A_T$                     | 87,0                          |
| Zwischenlagerfläche $A_Z$                 | 10,0                          |
| <b>Produktionsfläche <math>A_P</math></b> | <b>385,5</b>                  |

*Tabelle 3-13: Flächenbedarf der zu planenden Produktionsstätte*

Die Kapitel 1 bis 3 dienen der Orientierung für ähnliche Studienarbeiten.

Die Seiten 27 bis 49 (Kapitel 4 bis 6) werden aufgrund der Copy&Paste Methoden in Form von 1:1 Datenübernahme durch einige Experten nicht mehr eingestellt. Ist es peinlich, wenn man nur das Deckblatt ändert und identische Arbeiten abgegeben werden?

### 6.2.4 Schlussbemerkung

Kostenplanungen und Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen im Rahmen der Planung sind grds. unter Vorbehalt zu betrachten. Einer möglichst exakten Nachbildung der anfallenden Kosten steht die zunehmende Komplexität eines solchen Modells gegenüber. Die Verteilung der Fertigungskosten nach Abbildung 6-4 ist stark abhängig von

- der Qualität der zugrunde gelegten –z.T. nur schätzweise verfügbaren - Daten,
- sowie der Verteilung der Gemeinkosten nach Umlageschlüsseln.

Damit bergen die kalkulierten Werte ein hohes Manipulationsrisiko.

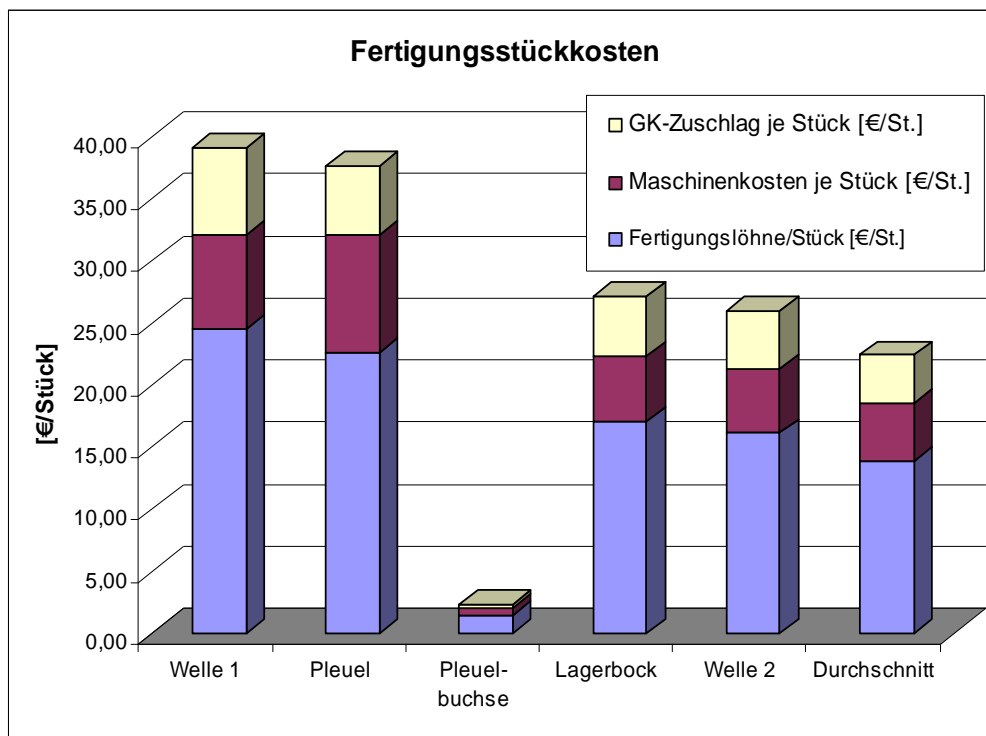


Abbildung 6-4: Fertigungsstückkosten der Kostenträger

Eine Durchschnittsbildung wird der verursachungsgerechten Kostenaufteilung nicht gerecht. Man sieht dies deutlich am Vergleich des „durchschnittlichen“ Teiles (22,40 €) mit den Fertigungsstückkosten der geplanten Produkte in Abbildung 6-4. So würde bspw. die Welle 1 deutlich günstiger gerechnet, die Pleuelbuchse hingegen um das 20fache teurer.

Weiterführende Betrachtungen sollten eine Sensitivitäts-, Engpass-, sowie Break-Even-Analyse beinhalten.



## **Literaturverzeichnis**

### **Normen**

DIN 199 Bl. 1-3

DIN 8580

### **Literatur**

Ebel, Produktionswirtschaft, 8. Auflage, Ludwigshafen, 2003

Gäse, Werkstätten- und Produktionssystemprojektierung, Vorlesungsskript, Chemnitz, 2005

Grundig, Fabrikplanung, München, 1. Auflage, 2000

Kettner/Schmidt/Greim, Leitfaden der systematischen Fabrikplanung, München, 1984

Olfert, Investition, 10. Auflage, Ludwigshafen, 2006

Scheld, Internes Rechnungswesen im Industrieunternehmen, Bd. 1, 4. Auflage, Büren, 2004

Böge (Hrsg.), Technikerhandbuch, 17. Auflage, Wiesbaden, 2003

Schmigalla, Fabrikplanung – Begriffe und Zusammenhänge, München, 1995

Schmigalla, Methoden zur optimalen Maschinenordnung, Berlin, 1970

Steinbuch, Fertigungswirtschaft, 7. Auflage, Ludwigshafen, 1999

Warnecke et al., Kostenrechnung für Ingenieure, 5. Auflage, Wien, 1996

Wöhe, Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, 21. Auflage, München, 2002