

Die Organisation der Fertigungsabläufe will den Leistungserstellungsprozess optimal gestalten. Aufgrund der in der Produktion stattfindenden Wertschöpfung ist dies ein traditionell wichtiges Anliegen der Ablauforganisation: Wo produziert wird, stellt sich die Frage nach einer optimalen Strukturierung der Arbeitsplätze und ihrer Betriebsmittel. Dies wird mit der räumlichen Synthese der Arbeitsaufgaben bestimmt.

Mit der Organisation der Fertigungsabläufe werden Entscheidungen über die räumliche Positionierung der Arbeitsplätze, der Realisationsstellen und der Betriebsmittel (Maschinen, Fördereinrichtungen) sowie der Transportwege zwischen diesen gefällt. In der Organisationspraxis betrifft dies auch die konkreten Aufstellorte, d.h. in welchem Gebäude bzw. in welchem Hallenteil eine Maschine steht und von wo die Maschine bedient wird.

Die Ziele der räumlichen Synthese sind:

- Bezogen auf die effiziente Arbeitsorganisation:
 - Möglichst kurze Transportwege für die Produkte
 - Geringe Wegstrecken für die Mitarbeiter
 - Geringe Durchlaufzeit
 - Geringer Flächenverbrauch
- Bezogen auf die Anpassungsflexibilität:
 - Schnelle Anpassung an veränderte Produktprogramme
 - Anpassungsfähigkeit an veränderte Bearbeitungsfolgen
 - Möglichkeit zur Fertigung von Produktvarianten
 - Integrationsfähigkeit neuer Produktionstechnologien
 - Unempfindlichkeit gegenüber Störungen und (Maschinen-) Ausfällen

Die Vielzahl erforderlicher Detailentscheidungen wird maßgeblich bestimmt durch das grundlegende Fertigungskonzept und seine Vor- und Nachteile. Das Kapitel „Organisation der Fertigungsabläufe“

systematisiert die wesentlichen Fertigungsansätze und stellt dann folgende Konzepte zur räumlichen Synthese vor:

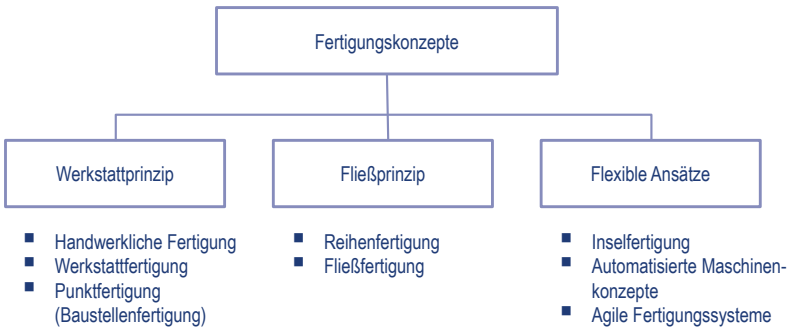


Abbildung 76: Fertigungskonzepte zur räumlichen Synthese

Lernziele

In diesem Kapitel werden die Alternativen zur Organisation der Fertigungsabläufe behandelt. Nach dem Studium der folgenden Seiten können Sie:

- erläutern, wie Fertigungsabläufe in Abhängigkeit von Wiederholungen sowie der Menge an gefertigten Einheiten und deren Variationen mit Fachbegriffen benannt werden,
- die Konzepte der Werkstattfertigung, Punktfertigung, Reihen- und Fließfertigung beschreiben und ihre Anwendungsszenarien erklären,
- die genannten Verfahren hinsichtlich der mit ihnen verbundenen Vor- und Nachteile diskutieren,
- flexible Fertigungskonzepte gegenüber den genannten Verfahren abgrenzen sowie
- ausgewählte flexible Fertigungskonzepte erläutern.

9.1 Charakterisierung und Einsatzbereiche der Fertigungsabläufe

Die Charakterisierung der Fertigungsabläufe setzt am Produktionsprogramm an. Unter dem Produktionsprogramm wird die Summe der vom Unternehmen in Eigenfertigung erstellten Leistungen verstanden. Der Begriff umfasst damit das Produktionssortiment (Gesamtheit der Produktarten) und die dazugehörigen Produktionsvolumina (Stückzahlen der produzierten Produktarten).

Die Stückzahl, in der ein Produkt aus dem Produktionsprogramm ohne Unterbrechung gefertigt wird, ist das Hauptbestimmungsmerkmal des Fertigungstyps. Als ergänzendes Kriterium wird die Gleichartigkeit der Produkte zwischen zwei Fertigungsläufen herangezogen (z. B. bei der sog. Sortenfertigung).

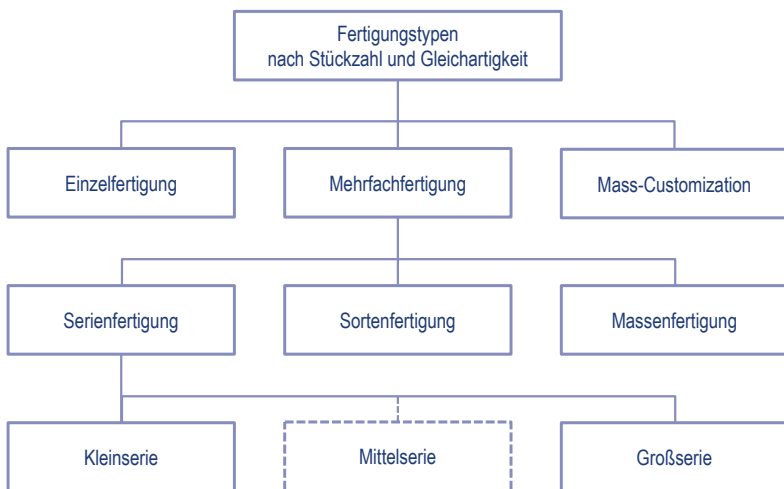


Abbildung 77: Fertigungstypen nach Stückzahl und Gleichartigkeit

Bei der **Einzelfertigung** wird von dem Produkt gemäß Fertigungsauftrag nur ein Stück gefertigt. Das bedeutet aber nicht, dass es sich bei dem Produkt um ein Unikat handeln muss. Das Produkt kann zu einem späteren Zeitpunkt durchaus erneut einzeln gefertigt werden. Ein Beispiel hierfür liefert ein Bootsbauer, der verschiedene Yachten anbietet. Nach Erhalt des Kundenauftrages (auftragsgebundene Einzelfertigung) oder für seine Verkaufsausstellung (lagergebundene Einzelfertigung) baut er ein Exemplar der Yacht. Der gleiche Yachttyp kann zu einem späteren Zeitpunkt erneut gefertigt werden.

Weitere Beispiele für typische Einzelfertigungen sind: handwerklich gefertigte individuelle Produkte (Maßanzug; maßgefertigte Schuhe; Innenausbau durch Schreiner), Sonderanlagen (Automatisierungslösungen), Sonderfahrzeugbau (Löschfahrzeug der Flughafenfeuerwehr).

Von einer **Mehrfachfertigung** spricht man, wenn das Produkt in einem Fertigungslos mehrfach hergestellt wird. Die Mehrfachfertigung kann unterschieden werden in Serienfertigung, Sortenfertigung und Massenfertigung.

Mass-Customization bezeichnet einen Fertigungstyp, bei dem „kundenindividuelle Massenproduktion“¹⁶⁷ praktiziert wird. Bei der Mass-Customization erhält der Kunde ein in der Fertigung individualisiertes Produkt. Teilweise wird dies sogar auf einem Preisniveau angeboten, das deutlich wahrnehmbar unter dem der Einzelfertigung liegt. Dieses scheinbare Paradoxon wurde möglich durch die digitale Transformation der Unternehmensprozesse. Die Aufnahme des Kundenwunsches, die Materialplanung und die Nutzung moderner Fertigungstechnologien basieren teilweise schon auf einer durchgängigen digitalen Kette.

Mass-Customization

Vorreiter der Mass-Customization sind die Automobilkonzerne mit ihren „Neuwagen-Konfiguratoren“ gewesen: Die Kombination von individuell gewählter Motorisierungsvariante, Ausstattungsmerkmalen, Farben und Sonderzubehör führt zu einem PKW, der quasi einzigartig ist.

Die *MyMuesli GmbH* bietet Mass-Customization für ein Lebensmittel an: Per Internet kann man sich sein Wunschs Müsli aus ca. 80 Zutaten zusammenstellen. Der Anbieter wirbt damit, dass sich daraus 566 Milliarden Müsli-Variationen kombinieren lassen.¹⁶⁸ Das vom Kunden individuell konfigurierte Produkt wird per Post geliefert.

Auch Möbel lassen sich inzwischen individualisieren: Die „*DeinSchrank.de GmbH*“ nutzt einen Online-Konfigurator, mit dem sich Schränke planen lassen, die genau auf das Platzangebot der Kunden abgestimmt sind.

Die **Serienfertigung** ist eine Form der Mehrfachfertigung. Sie produziert ein bestimmtes Produkt in einer höheren Stückzahl. Die Stückzahl je Produktionsfolge kann sehr unterschiedlich sein. Eine Serie kann mehrfach pro Jahr aufgelegt werden. Entsprechend den Stückzahlen je Produktionslos und den Jahres-Produktionszahlen werden drei Formen der Serienfertigung unterschieden:¹⁶⁹

- **Kleinserie:** Drei bis ca. 100 Stück je Produktionslos und ein Jahresvolumen von 1.000 Stück.
- **Mittelserie:** 100 Stück bis ca. 1.000 Stück je Produktionslos und ein Jahresvolumen von 10.000 Stück. Der Begriff der „Mittelserie“ dient der exakteren Unterteilung, wird jedoch in der Praxis selten gebraucht.
- **Großserie:** 1.000 bis 100.000 Stück je Produktionslos und ein Gesamtvolumen von 1.000.000 Stück.

¹⁶⁷ Vgl. Piller, Mass Customization, 2000, S. 205.

¹⁶⁸ Vgl. MyMuesli (Hrsg.), Müsli wie Du es magst [Online], 2017.

¹⁶⁹ Die Zahlenwerte sind Ca.-Größen in Anlehnung an: Eversheim, Organisation in der Produktionstechnik, 1989, S. 11.

Chargenfertigung – Sonderfall der Serienfertigung

Eine Charge ist ein Produktionslos, das einer Klein-, Mittel- oder Großserie entspricht und zu anderen Chargen minimale Abweichungen aufweist. Diese Abweichungen sind durch kleinste Variationen im Ausgangsmaterial und den Prozessparametern der Fertigung bedingt. Innerhalb einer Charge erkennt man keinen Unterschied, zwischen den Chargen schon. In Chargenfertigung produziert werden u. a.: Fliesen (Prozessvariationen beim Brennen), Echtholzparkett (Variation im Ausgangsmaterial und Prozessvariationen), Lebensmittel (Variationen im Ausgangsmaterial zwischen den Herstellungsprozessen).

Im Rahmen der **Sortenfertigung** werden aus identischen Ausgangsmaterialien Produkte erzeugt, die untereinander eine hohe Verwandtschaft aufweisen. Beispiele für Einsatzbereiche der Sortenfertigung sind: industriell gefertigte Trinkgläser in unterschiedlichen Formen, Winkelbleche in unterschiedlichen Größen, Nägel und Schrauben unterschiedlicher Länge, Biersorten.

Die **Massenfertigung** schließlich stellt hohe Volumina eines Produktes her. Die Fertigung ist auf Kontinuität ausgerichtet. Produktwechsel sind nicht ohne weiteres möglich. Paradebeispiele für die Massenfertigung sind: Papierwerke, Zementwerke, Stahlwerke.

Die im Folgenden vorgestellten Fertigungsprinzipien werden auch immer dahingehend zu betrachten sein, für welchen Fertigungstyp sie sich eignen.

9.2 Werkstattprinzip

Kennzeichen des Werkstattprinzips ist, dass Arbeitsplätze und Betriebsmittel in „fertigungstechnischen Einheiten“¹⁷⁰ räumlich so kombiniert werden, dass entweder die vollständige Arbeitsaufgabe oder aber zumindest umfangreiche Teilaufgaben (Verrichtungen) an einem Ort durchgeführt werden können.

9.2.1 Handwerkliche Fertigung

Die **handwerkliche Fertigung** fasst alle zur Bearbeitung erforderlichen Werkzeuge und Maschinen an einem Arbeitsplatz zusammen. Historisch war dies oft eine Werkbank, weshalb auch noch synonym der Begriff „**Werkbankproduktion**“ gebraucht wird.

¹⁷⁰ Vgl. Gutenberg, Produktion, 1957, S. 75.

Diese Fertigungsorganisation vereint das Objekt (das Produkt) und die Verrichtungen daran (die Arbeitsgänge) an einem Ort (dem Arbeitsplatz). Es entsteht ein **Bearbeitungszentrum**, in dem eine Person alle erforderlichen Arbeitsgänge vom Beginn der Bearbeitung bis zur Fertigstellung ausführt.¹⁷¹

Der Stelleninhaber ist universell ausgebildet, damit er alle Arbeitsgänge rund um das Produkt selbst ausführen und die entsprechenden Maschinen bedienen kann. Die handwerkliche Fertigung verzichtet damit weitgehend auf Arbeitsteilung und Spezialisierung.¹⁷²

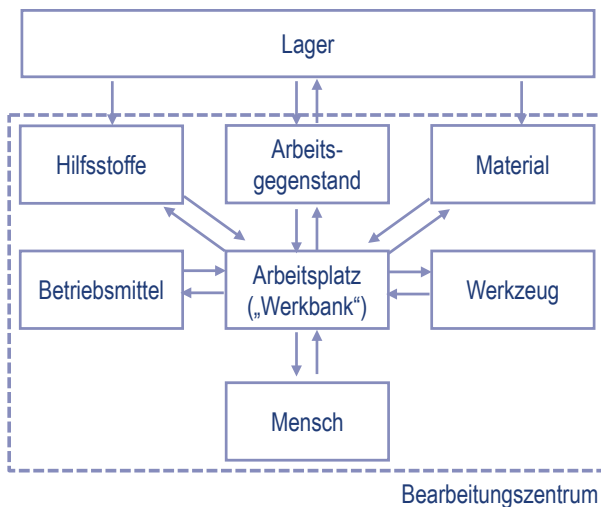


Abbildung 78: Handwerkliche Fertigung

Eingesetzt wird die handwerkliche Fertigung in der **Einzelfertigung** sowie bei **Kleinserien**. Die Arbeitsplätze folgender Berufe sind üblicherweise nach diesem Fertigungstyp organisiert:

- Uhrmacher
- Goldschmied
- Werkzeugmacher etc.

In der industriellen Fertigungsorganisation spielt die handwerkliche Fertigung definitionsgemäß keine Rolle. In großen Industriebetrieben gibt es vereinzelt Arbeitsplätze, die noch nach diesem Prinzip organisiert sind. Beispiele sind die Arbeitsplätze der Werkzeugmacher, der Prototypenbau sowie die Reparaturwerkstatt der Instandsetzung. Größere Maschinen werden eventuell gemeinsam benutzt.

¹⁷¹ Vgl. Dellmann, Produktions- und Kostentheorie, 1980, S. 51.

¹⁷² Vgl. Peters/Brühl/Stelling, Betriebswirtschaftslehre, 2005, S. 130.

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> • Große Flexibilität hinsichtlich der gefertigten Produkte und ihrer Varianten • Geringe Interdependenz mit anderen Stellen • Relativ geringe Kapitalbindung 	<ul style="list-style-type: none"> • Nur für kleine Stückzahlen geeignet • Verzichtet auf Effizienzgewinne durch Arbeitsteilung • Bei mehreren dieser Arbeitsplätze auch mehrfache Betriebsmittelausstattung • Geringere Produktivität im Verhältnis zu anderen Formen der Fertigungsorganisation

Tabelle 30: Vor-/Nachteile der handwerklichen Fertigung

9.2.2 Werkstattfertigung

Bei der **Werkstattfertigung** werden gleichartige Verrichtungen zentralisiert und die zu ihrer Ausführung erforderlichen Betriebsmittel sowie Arbeitsplätze räumlich zusammengefasst. Die so entstehenden Werkstätten sind spezialisierte fertigungstechnische Einheiten, in denen nur diese gleichartigen Verrichtungen ausgeführt werden.

Jede Werkstatt ist auf eine bestimmte **Teilbearbeitung** spezialisiert. Die Komplettbearbeitung eines Produktes wird dadurch erreicht, indem das unfertige Produkt, das sog. **Halbfabrikat**, je nach Produktionserfordernis einzeln oder als Fertigungslos in die entsprechende Werkstatt transportiert und dort weiterbearbeitet wird. Die Werkstattfertigung ist geeignet für **Einzel-** und **Klein-** und **Mittelserienfertigung**.

Ihre Namen erhalten die Werkstätten nach den Verrichtungen. In einer „Fräseerei“ sind entsprechend alle Betriebsmittel für Fräsarbeiten konzentriert. Alle dort ausgeführten Arbeitsaufgaben haben mit der Bearbeitungstechnik „Fräsen“ zu tun. Zu diesem Zweck finden sich in einer Fräseerei üblicherweise diverse Fräsmaschinen, mit denen an Halbfabrikaten unterschiedlichste Fräsarbeiten ausgeführt werden können. Sollen andere Verrichtungen ausgeführt werden, muss das Halbfabrikat in die entsprechende Werkstatt transportiert werden. Vor jedem Arbeitsplatz müssen die Halbfabrikate warten, bis die vor ihnen in der Warteschlange befindlichen Fertigungsaufträge abgearbeitet sind.

Ein Produkt kann alle oder nur bestimmte Werkstätten des Betriebs durchlaufen. Auch mehrfache Bearbeitungen in einer Werkstatt sind denkbar, wobei diese zu unterschiedlichen Zeitpunkten erfolgen können. In der nachfolgenden Abbildung wird das Halbfabrikat

beispielsweise nach der Teilbearbeitung in der Schleiferei erneut in die Fräseerei gebracht und dort weiterbearbeitet.

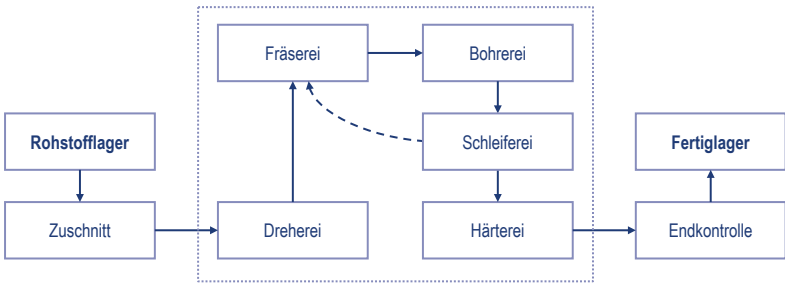


Abbildung 79: Werkstattfertigung

Der Transport zwischen den Werkstätten erfolgt durch innerbetriebliche Hilfsstellen und ist üblicherweise nicht automatisiert. Dies führt zu einer großen Flexibilität der Werkstattfertigung, da neue Bearbeitungsreihenfolgen – z. B. bei Änderungen am Produktionsprogramm – sich leicht durch Änderungen der Transportwege realisieren lassen. Die Werkstätten sind zudem relativ unabhängig voneinander und damit unempfindlich gegenüber Störungen in anderen Werkstätten.

Auch lässt sich die Kapazität der Werkstätten durch sukzessive Investitionen schrittweise erhöhen bzw. durch Desinvestitionen vermindern.¹⁷³

Zugleich ist der Transportaufwand zwischen den Werkstätten auch die grundlegende Schwäche der Werkstattfertigung und führt zu einer Reihe von Nachteilen. Zu diesen gehört neben den langen Transportwegen, den Liegezeiten und den steigenden Durchlaufzeiten eine komplexe Ablauf- und Terminplanung der Werkstattfertigung.¹⁷⁴

Die Tabelle fasst die Vor- und Nachteile der Werkstattfertigung zusammen:

¹⁷³ Vgl. Bea/Göbel, Organisation, S. 301.

¹⁷⁴ Vgl. Peters/Brühl/Stelling, Betriebswirtschaftslehre, 2005, S. 130.

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> • Leichte Umstellung auf neue Produkte • Flexibilität hinsichtlich der Bearbeitungsreihenfolgen • Große Anpassungsfähigkeit der Produktionskapazität an geänderte Nachfrage • Neue Technologien können werkstattweise eingeführt werden. • Relativ unempfindlich gegen Störungen 	<ul style="list-style-type: none"> • Insgesamt lange Transportwege des Halbfabrikats zwischen den Werkstätten • Tendenz zur Bildung von Zwischenlagern • Kapazitätsauslastung unsteu • Liegezeiten der Halbfabrikate in den Werkstätten führen zu langer Durchlaufzeit der Produkte. • Erfordernis der Beschäftigung von (im Vergleich zu angelernten Arbeitskräften) teuren Facharbeitern

Tabelle 31: Vor-/Nachteile der Werkstattfertigung

9.2.3 Punktfertigung (Baustellenfertigung)

Bei der Punktfertigung als Organisationprinzip kommen alle erforderlichen Mitarbeiter und Betriebsmittel zum Werkstück bzw. zum Ort, an dem die Leistung erbracht wird. Daher wird die Punktfertigung im ersten Fall als XXL-Fertigung, im zweiten Fall auch als Baustellenfertigung bezeichnet. Sie wird bei Einzelfertigung sowie bei Kleinserien eingesetzt.

Auslöser und zugleich Anwendungsgebiet dieses Fertigungskonzepts sind die stetig vergrößerten Abmessungen industrieller Produkte. Diese machen es einfacher, die notwendigen Ressourcen zum entstehenden Produkt zu transportieren, als dieses zu verschiedenen Werkstätten zu bewegen.

Beispiele: Abmessungen von XXL-Produkten

Die Dimensionen mancher Produkte machen den Transport zu einer Herausforderung. Es ist einfacher, die zur Bearbeitung benötigten Menschen und Maschinen zum Produkt kommen zu lassen. Zwei Beispiele für solche „XXL-Produkte“:

- Die Containerschiffe der Emma-Mærsk-Klasse werden von einem Schweröl-Motor des Herstellers Wärtsilä angetrieben. Der Motor mit der Bezeichnung „Wärtsilä-Sulzer RTA96-C“ ist 26,59 Meter lang und knapp 14 Meter hoch. Er wiegt ohne Betriebsstoffe über 2.300 Tonnen und wird während der Montage nicht bewegt.¹⁷⁵

¹⁷⁵ Vgl. Wärtsilä Corporation (Hrsg.) (2017), Engines & Generating sets [Online].

- Windkrafthanlagen werden zur Leistungssteigerung mit zunehmend größeren Rotoren ausgestattet. Offshore-Anlagen des Hersteller Siemens, Bereich „Wind Power and Renewables“ haben im Jahr 2017 einen Rotordurchmesser von ca. 150 Metern. Ein Rotorblatt hat eine Länge von maximal 75 Metern. Bis zum Jahr 2020 sind Rotorblätter mit maximal 120 Metern Länge geplant.¹⁷⁶ Bauteile dieser Länge werden an einer Stelle gefertigt und nur für den Transport zum späteren Einsatzort bewegt.

Kennzeichen der Punktfertigung sind:

- Das Werkstück ist bis zum Ende von Produktion bzw. Montage ortsfest.
- Das Objekt ist damit das Organisationsprinzip.
- Arbeitskräfte und Betriebsmittel sind ortsveränderlich organisiert und werden nach Produktions-/Montagefortschritt an das Werkstück herangeführt bzw. abgezogen.

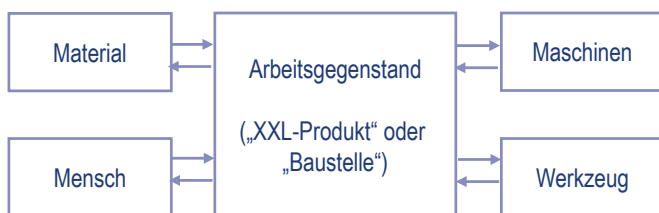


Abbildung 80: Punktfertigung

Ist die Punktfertigung angezeigt, sind mit ihrem Einsatz die folgenden Vor- und Nachteile verbunden:¹⁷⁷

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> • Ein hohes Maß an Flexibilität im Fertigungsablauf, da dieser wenig standardisiert ist und Betriebsmittel nach Bedarf eingesetzt werden können. • Variantenfertigung und Berücksichtigung von Kundenwünschen im Fertigungsablauf möglich • Bei Störungen an Betriebsmitteln können Ersatzlösungen an die Produktionsstelle gebracht werden. 	<ul style="list-style-type: none"> • Komplexere Anforderungen an die Logistik für Betriebsmittel und Materialtransporte zum Produktionsort • Durchlaufzeiten können aufgrund der wenig standardisierten Arbeitsinhalte nur mit großen Unsicherheiten abgeschätzt werden.

Tabelle 32: Vor-/Nachteile der Punktfertigung

¹⁷⁶ Vgl. Siemens AG (Hrsg.) (2017), Offshore [Online].

¹⁷⁷ Vgl. Mach, XXL-Fertigung, 2015, S. 33.

9.3 Fließprinzip

Das **Fließprinzip** ordnet die Betriebsmittel und Arbeitsplätze als Bearbeitungsstationen (BS) in einer Reihenfolge an, die dem Produktionsfortschritt des Produktes bzw. Fertigungsobjekts entspricht. „Das Objekt 'fließt' entsprechend der Reihenfolge der notwendigen Bearbeitungsschritte an jenen Arbeitsträgern vorbei, die jeweils einen Arbeitsgang an diesem Objekt ausführen.“¹⁷⁸ Dies minimiert im Vergleich zum Werkstattprinzip die Transportwege und verkürzt die Durchlaufzeit. Bestimmendes Organisationskriterium des Fließprinzips ist somit das Produkt bzw. Objekt.

In Abhängigkeit davon, wie die zeitliche Koppelung der Bearbeitungsstationen geregelt ist, lassen sich als Ausprägungen des Fließprinzips die **Reihenfertigung** (lose Koppelung) und die **Fließfertigung** (starre Koppelung) unterscheiden.

9.3.1 Reihenfertigung

Die **Reihenfertigung** ist eine Variante der Fertigungsorganisation nach dem Fließprinzip. Die Bearbeitungsstationen folgen exakt so aufeinander, wie die Bearbeitung des Werkstücks/Produktes es erfordert. Sie setzt zur Bearbeitung Einzweck- oder Spezialmaschinen ein, die auf den Arbeitsgang hin optimiert sind. Besonderes Kennzeichen der Reihenfertigung ist, dass die Bearbeitungsstationen zeitlich nur lose aufeinander abgestimmt sind.

Die **lose Koppelung** der Bearbeitungsstation hat folgende Konsequenzen: Eine vollautomatische Fördereinrichtung zwischen den Bearbeitungsstationen ist nicht praktikabel, da die Zeitbedarfe der Bearbeitungen sich unterscheiden können. Daher werden je Bearbeitungsstation Pufferlager (Bearbeitungseingang) bzw. Zwischenlager (Bearbeitungsausgang) gebildet, um eine gleichmäßige Auslastung der Bearbeitungsstation zu sichern.

Zugleich ermöglicht die lose Koppelung eine gewisse Fertigungsflexibilität: In den Reihen können Produktvarianten mit ähnlichen Fertigungsabläufen und unterschiedlichen Fertigungszeiten gut integriert werden.¹⁷⁹ Dies bedeutet, dass die Reihenfertigung trotz Fließprinzip über eine „Restflexibilität“ verfügt.

Die Reihenfertigung benötigt ein gewisses Fertigungsvolumen und ist daher für höhere Stückzahlen geeignet, wie sie bei **Mittel-** und **Großserien** sowie **Sorten-** und **Massenfertigung** gegeben sind.

¹⁷⁸ Bea/Göbel, Organisation, 1999, S. 301.

¹⁷⁹ Vgl. Picot et al., Organisation, 2012, S. 425.

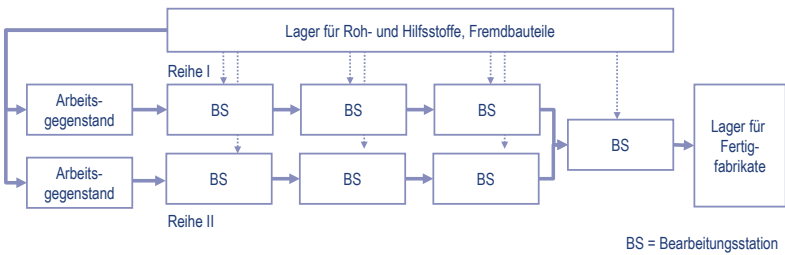


Abbildung 81: Reihenfertigung

Hohe Stückzahlen in Kombination mit einer weitergehenden Spezialisierung an den Einzweck- bzw. Spezialmaschinen ermöglichen **Erfahrungskurveneffekte** und führen zu einer hohen Produktivität dieser Fertigungsorganisationsform. Gleichzeitig ermöglichen die Maschinen den Einsatz ungelernter oder angelernter Arbeiter, sodass anders als bei der Werkstattfertigung stärker auf Facharbeiter verzichtet werden kann. Dies senkt die Lohnkosten und stellt ein kompensierendes Gegengewicht zu den erforderlichen Investitionen in die Spezialmaschinen dar.

Aus Sicht der Mitarbeiter bedeutet die fertigungstechnische Spezialisierung eine Konzentration auf wenige Handgriffe. Es entstehen **monotone Arbeitsabläufe**, die zu verringerter Motivation führen und den Mitarbeiter von der Gesamtleistung entfremden.

Für die Reihenfertigung können folgende Vor-/Nachteile identifiziert werden. Gerade im Vergleich mit anderen Fertigungsformen sind diese immer tendenziell und hängen hinsichtlich der konkreten Ausprägung von der individuellen Umsetzung ab.

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> • Kürzere Durchlaufzeiten als bei der Werkstattfertigung • Hohe Produktivität • Einsatz un-/angelernter Arbeiter an Einzweckmaschinen möglich, damit geringere Lohnkosten • In den Reihen können Produktvarianten mit ähnlichen Fertigungsabläufen gut gefertigt werden. • Durch lose Koppelung (entspricht dem Verzicht auf einen starren Fertigungstakt) vereinfachte zeitliche Planung der Arbeitsfolgen 	<ul style="list-style-type: none"> • Spezifische Investitionen in die Betriebsmittel (Einzweck-/Spezialmaschinen) • Bildung von Puffer- und Zwischenlagern • Gleichartige Produktionsvorgänge in größerer Stückzahl erforderlich • Eingeschränkte Flexibilität zur Anpassung an veränderte Marktnachfrage (Stückzahlen und/oder Produktionsprogramm) • Lager im Produktionsprozess erhöhen das in der Produktion gebundene Umlaufvermögen.

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> • Kapazitätsauslastung besser planbar als bei Werkstattfertigung • Weniger störanfällig als Fließfertigung mit starrer Koppelung (Taktfertigung) 	<ul style="list-style-type: none"> • Mitarbeiter führen monotone Arbeitsabläufe aus. • Störanfälliger als Werkstattfertigung

Tabelle 33: Vor-/Nachteile der Reihenfertigung

9.3.2 Fließfertigung

Die **Fließfertigung** ordnet die Bearbeitungsstationen nach der Produktionserfordernis an. Im Unterschied zur Reihenfertigung sind die Bearbeitungsstationen durch einen mittels sog. **Taktzeiten** zeitlich gesteuerten Transport zwischen diesen verbunden. Man spricht daher auch vom **Fließprinzip mit starrer Koppelung**.¹⁸⁰

Der zeitlich gesteuerte Transport wird typischerweise mit einer automatisierten Fördereinrichtung, einer sog. **starrten Transferstraße**, realisiert. Diese bewegt in einer vorgegebenen Zeitspanne, der **Taktzeit**, die Werkstücke von Bearbeitungsstation zu Bearbeitungsstation. Die Taktzeit entspricht der Zeit, die das Werkstück vom Erreichen einer Bearbeitungsstation bis zum Erreichen der folgenden Bearbeitungsstation benötigt. Sie umfasst daher **Bearbeitungs- und Förderzeit**.

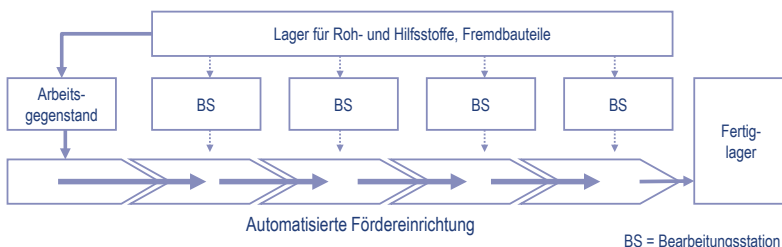


Abbildung 82: Fließfertigung

Die starre Verkettung der Bearbeitungsstationen durch den automatisierten Transport senkt die Durchlaufzeiten. Kann ein lückenloser Fertigungsfluss realisiert werden, entspricht die gesamte Durchlaufzeit im Optimalfall der Summe der Taktzeiten.

¹⁸⁰ Vereinzelt findet man auch den Ausdruck „Reihenfertigung mit Taktzwang“, vgl. Peters/Brühl/Stelling, Betriebswirtschaftslehre, 2005, S. 130.

Dies kann jedoch nur erreicht werden, wenn vor Aufnahme der Fließfertigung eine **genaue Arbeitsplanung** die **zeitliche Abstimmung** zwischen den Bearbeitungsstationen gewährleistet. So sollte die Taktzeit an jeder Bearbeitungsstation gleich sein oder einem Vielfachen der ursprünglichen Taktzeit entsprechen. In diesem Fall kann durch Vervielfachung der Bearbeitungsstationen und Parallelisierung der Bearbeitung ein zeitlicher Ausgleich verwirklicht werden.

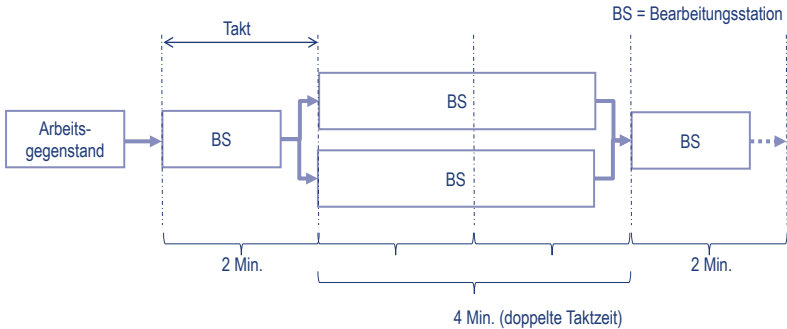


Abbildung 83: Organisationsmöglichkeit bei unterschiedlichen Taktzeiten

Das Fließband – keine Erfindung der Moderne

Das Fließband wird heute oft mit der Produktion des Ford Modell T, einem der ersten in Serie produzierten Automobile, verbunden. Dabei ist das Fließband keine reine Erfindung der Moderne, es hatte hier lediglich seinen Durchbruch.

Im Jahr 1790 erhielt Oliver Evans ein Patent auf eine kontinuierliche Transportlösung für Mühlen. 1833 wurde in England Schiffszwieback am Fließband produziert. 1870 wurden in den Schlachthöfen von Cincinnati und später Chicago unter den Decken montierte Schienen für den Fleischtransport verwendet.¹⁸¹

Bei Ford wurde das Fließband 1913 eingeführt. „Bei Fords Fließband blieb jeder Arbeiter an seinem Platz und das im Bau befindliche Automobil bewegte sich langsam vorbei, sodass jeder Arbeiter eine vereinfachte Tätigkeit ausführen konnte.“¹⁸² Es steigerte die bereits vorher durch Standardisierung und Spezialisierung erzielten Produktivitätsgewinne weiter und erlaubte Ford Preissenkungen von 550 Dollar auf 360 Dollar.¹⁸³ Seitdem ist die Fließfertigung mit starrer Taktung fester Bestandteil der Großserien- und Massenfertigung.

¹⁸¹ Vgl. Jahns/Schöffler, Logistik, 2009, S. 126.

¹⁸² Cardwell, Geschichte der Technik, 1997, S. 238.

¹⁸³ Vgl. König, Geschichte der Konsumgesellschaft, 2000, S. 75.

Die Fließfertigung bedingt wegen des automatisierten Transports zwischen den Bearbeitungsstationen auch im Vergleich zur Reihenfertigung nochmals höhere Investitionen in die Produktionsanlagen. Fertigungsanlagen mit starrer Taktung sind für **Großserien**, **Sorten-** und **Massenfertigung** geeignet. Sofern die Materialzuführung entsprechend optimiert werden kann, ist sogar der Fertigungstyp **Mass-Customization** möglich: Voraussetzung ist dann eine digital gesteuerte und automatisierte Materialwirtschaft, die für jedes Produkt das passende Bauteil anliefert.

Für die Fließfertigung mit starrer Koppelung sind folgende Vor- und Nachteile abzuwägen:

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none">• Hohe Produktivität• Sehr hohe Stellenspezialisierung, oft auf nur noch wenige Handgriffe• Stellenbesetzung mit un- und angelernten Arbeitskräften möglich, damit günstige Lohnstruktur• Keine Puffer- und Zwischenlager für das Produkt erforderlich	<ul style="list-style-type: none">• Spezifische Investitionen in die Betriebsmittel (Einzweck-/Spezialmaschinen) und die Fördertechnologie• Fördertechnologie je nach Spezifität „sunk costs“¹⁸⁴• Gleichartige Produktionsvorgänge in größerer Stückzahl erforderlich• Eingeschränkte Flexibilität zur Anpassung an veränderte Marktnachfrage (Stückzahlen und/oder Produktionsprogramm)• Mitarbeiter führen monotone Arbeitsabläufe aus, „Taylorisierung der Arbeit“.• Störanfällig: Betrifft nicht nur Maschinenausfälle, sondern die produktionsfähige Transferstraße erfordert auch eine Mindestzahl an Mitarbeitern.

Tabelle 34: Vor-/Nachteile der Fließfertigung

¹⁸⁴ Mit „sunk costs“ werden irreversible Kosten bezeichnet, wie sie zum Beispiel durch die Investition in eine speziell für eine Produktionsumgebung gefertigte Förderanlage gegeben sind. Ein Verkauf dieser Fördertechnologie ist unwahrscheinlich.

9.4 Flexible Ansätze

Die flexiblen Ansätze der Fertigungsorganisation ordnen sich ein zwischen den Extremen der starren Fließfertigung, die durch hohe Produktivität, aber quasi fehlende Flexibilität gekennzeichnet ist, und der Werkstattfertigung, die als die flexibelste Fertigungsorganisation gilt.

Neben der Inselfertigung, die oftmals Konzepte der Gruppenarbeit nutzt, gehören die automatisierten Fertigungskonzepte zu den flexiblen Ansätzen. Letztere suchen den Kompromiss zwischen Produktivität und Flexibilität durch moderne Fertigungstechnologie.

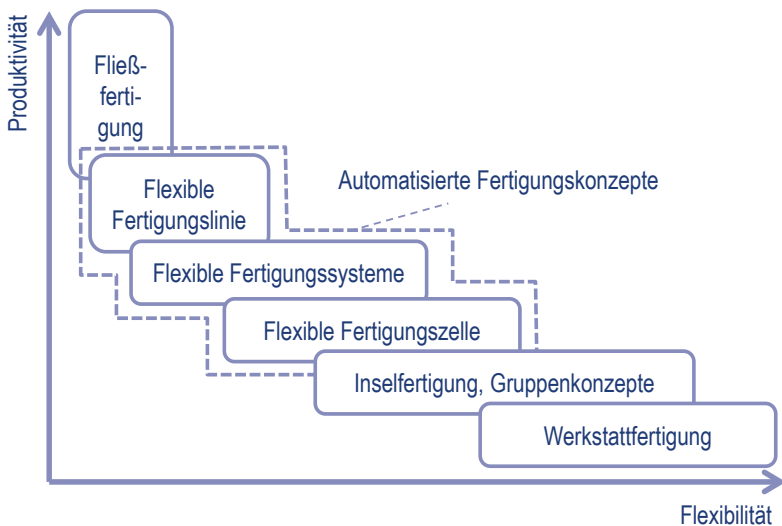


Abbildung 84: Konzepte der flexiblen Fertigung¹⁸⁵

9.4.1 Inselfertigung

Die **Inselfertigung** fasst die zur Teilbearbeitung eines Produktes bzw. Objekts oder zur Komplettbearbeitung eines Bauteiles erforderlichen Betriebsmittel und Arbeitsplätze räumlich und organisatorisch in einer Einheit, der **Fertigungsinsel**, zusammen. Fertigungsinseln zentralisieren eine bestimmte Menge an Verrichtungen und werden daher nach dem Verrichtungsprinzip gebildet. Untereinander sind die Inseln wie bei der Werkstattfertigung verbunden. Intern können

¹⁸⁵ In Anlehnung an: Bühner, Organisationslehre, 2004, S.307, sowie Nedeß, Organisation des Produktionsprozess, 1997, S.204.

sie durchaus nach den Prinzipien der Reihen- bzw. Fließfertigung organisiert sein.

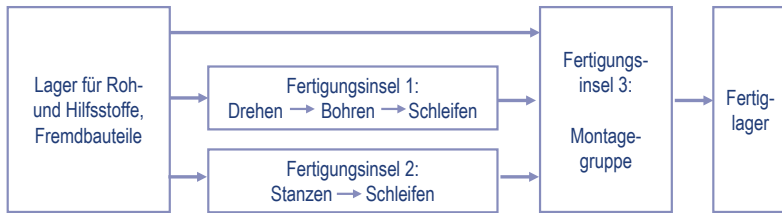


Abbildung 85: Fertigungsorganisation bei Inselfertigung

Die Inselfertigung ist geeignet für **Einzelfertigung**, **Klein-** und **Mittelserien** sowie für einzelne, in einer **Sortenfertigung** benötigte Bauteile bzw. Baugruppen.

Mit der Inselfertigung werden nicht nur die Ziele einer Erhöhung von Flexibilität und Produktivität angestrebt. Ein wichtiger Aspekt ist, dass die einer Insel zugeordneten Mitarbeiter eine fertigungstechnische **Arbeitsgruppe** bilden und als solche geführt werden können. Dies dient der **Humanisierung der Arbeit** durch eine „Ent-Taylorisierung“.¹⁸⁶

Die fertigungstechnische Arbeitsgruppe bildet eine Stellenmehrheit, in der die Gruppenmitglieder mehr als einen Arbeitsplatz besetzen können (**Job Rotation**). Bewusst werden den Mitarbeitern unterschiedliche Arbeitsaufgaben übertragen und damit die durch Taylor eingeleitete Spezialisierung der Arbeitsausführung zurückgenommen. Dies soll Monotonie in der Arbeitsausführung vermeiden, die Motivation erhöhen und das Verantwortungsgefühl für das Gesamtergebnis stärken. Eine solche Ausweitung der Arbeitsaufgabe betrifft stets Aufgaben des gleichen Ranges (hier: Ausführung) und wird daher als **horizontale Arbeitserweiterung (Job Enlargement)** bezeichnet.

Zugleich können der Gruppe oder einzelnen Mitgliedern auch Aufgaben eines höheren Ranges (hier: Entscheidung) übertragen werden. Die so praktizierte **vertikale Arbeitsbereicherung (Job Enrichment)** überträgt dispositive Aufgaben (Planung des Materialverbrauchs, Bestellung etc.) oder Aufgaben der Selbstverwaltung (Personaleinsatz in der Fertigungsinsel, Schicht- und Urlaubsplanung etc.) in die Gruppe.

¹⁸⁶ Vgl. Picot et al., Organisation, 2012, S. 441.

Sind die Prinzipien von Job Rotation, Job Enlargement und Job Enrichment in einer Fertigungsinsel und ihrer Arbeitsgruppe voll umgesetzt, spricht man auch von einer **teilautonomen Arbeitsgruppe**.¹⁸⁷

Verfügen die Mitarbeiter über eine besonders breite Qualifikation, kann die Fertigungsinsel intern als sog. **One-Piece-Flow (OPF)** organisiert werden. Der Name rührt daher, dass beim OPF ein Fertigungslos im Idealfall nur ein Stück groß ist. Jeder Mitarbeiter muss dafür alle erforderlichen Arbeitsschritte beherrschen. Beim OPF beginnt der Mitarbeiter an der ersten Arbeitsstation (1) mit der Bearbeitung und wandert nach Ausführung des Arbeitsgangs mit dem Produkt zur nächsten Arbeitsstation (2) usw., bis das Ende der U-förmig angelegten Insel erreicht ist. Der Mitarbeiter prüft am Ende selbst das Arbeitsergebnis (P), gibt dieses frei und legt es ab. Danach beginnt er an der ersten Arbeitsstation mit einem neuen Fertigungslos.

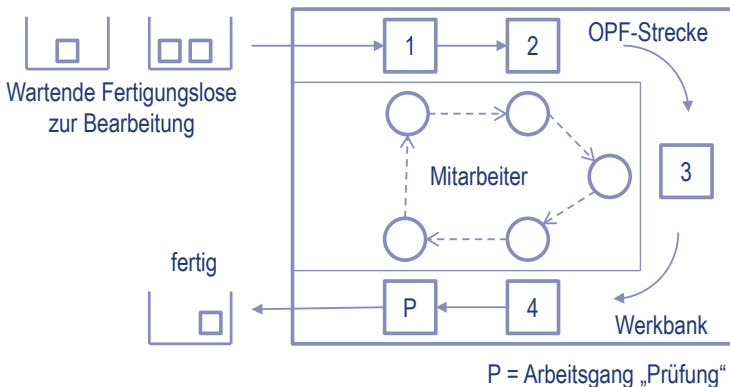


Abbildung 86: One-Piece-Flow (OPF)

Der One-Pice-Flow gibt dem Mitarbeiter die größtmögliche Verantwortung für das Endprodukt sowie den Gesamtprozess der Arbeitsausführung. Zugleich werden Schnittstellen im Prozess minimiert. Die Möglichkeit zur Fertigung von Einzelstücken verschafft dem Unternehmen eine enorme Flexibilität hinsichtlich der Kundenaufträge. Erkauft werden diese Vorteile durch eine geringere Produktivität, wie sie bei einer vollständigen Organisation nach dem Fließprinzip möglich wäre.

¹⁸⁷ Vgl. Bühner, Personalmanagement, 2005, S. 214 f.

Für die Inselfertigung gelten folgende Vor- und Nachteile:

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> • Gesteigerte Flexibilität zur Anpassung an Marktveränderungen • Mitarbeitermotivation steigt durch abwechslungsreiche, teilweise selbstbestimmte Arbeitserfüllung. • Kurze Transportwege in der Insel • Ausfälle einzelner Mitarbeiter (Krankheit) führen nicht zum Totalausfall der Produktion, sondern lediglich zu verminderter Leistung der Insel. 	<ul style="list-style-type: none"> • Verzicht auf die Spezialisierungsgewinne konsequenter Arbeitsteilung • Abstimmung zwischen den Fertigungsinseln erforderlich • Kapazitätsauslastung der gesamten Fertigung schwerer planbar

Tabelle 35: Vor-/Nachteile der Inselfertigung

9.4.2 Automatisierte Fertigungskonzepte

Automatisierte Fertigungskonzepte setzen rechnergesteuerte Produktionsmittel ein, um die Bearbeitung von Werkstücken zu flexibilisieren. Zudem entkoppeln sie durch ihren hohen Automatisierungsgrad die Betriebszeiten von Mensch und Maschine. Eine Ausweitung der Betriebszeiten wird dadurch ermöglicht.

Mit zunehmenden Grad der Automatisierung lassen sich unterscheiden:

- Flexible Fertigungszellen
- Flexible Fertigungssysteme
- Flexible Fertigungslinien

Die **flexible Fertigungszelle** kann mindestens zwei verschiedene Bearbeitungen am Werkstück durchführen und ist in der Lage, Werkstück- und Werkzeugwechsel programm- und sensorgesteuert vorzunehmen. Basis der Zelle ist ein Bearbeitungszentrum. Das ist eine Werkzeugmaschine, die Dreh- sowie Fräs- und Bohrarbeiten ausführen kann. Ein Rechner steuert die Bewegungen der Maschine. Die Steuerung wird als NC- oder CNC-Programm ausgeführt.

Exkurs

„NC“ steht für „Numerical Control“. Die Bewegungen der Werkzeugmaschine werden bei NC-Programmen durch Maßzahlen gesteuert, die das Werkzeug bzw. den Werkzeugträger in ihrer relativen Position verändern. Das Programm wird beliebig oft von einem Steuerungsrechner sequenziell abgearbeitet und erlaubt eine hochpräzise Steuerung der Werkzeugführung. Mussten früher die Programme an der Maschine selbst in Form von Zahlencodes eingegeben werden, so können diese inzwischen aus den Konstruktionszeichnungen extrahiert werden.

„CNC“ steht für „Computerized Numerical Control“. Ergänzend zu den Möglichkeiten der NC-Steuerung kann eine CNC-Maschine direkt am Gerät und in einer höheren Beschreibungssprache über einen Computer programmiert werden.

Flexible Fertigungssysteme bestehen aus mehreren Bearbeitungszentren, die durch eine automatisierte Fördereinrichtung derart verbunden sind, dass Komplettbearbeitungen durch das Fertigungssystem ermöglicht werden. Die Bearbeitungszentren und die Fördereinrichtung werden von einem Zentralrechner gesteuert. Ein in der Bearbeitung befindliches Werkstück kann auf unterschiedlichen Wegen durch das flexible Fertigungssystem bewegt werden: Dadurch können verschiedene Produktionsabläufe realisiert werden. Technisch ermöglicht dies den Fertigungstyp der Mass-Customization.

Räumlich ist das flexible Fertigungssystem oft „gekapselt“, d. h., ein Gitterkäfig oder Lichtschranken (Lichtvorhänge) trennen die Bewegungsbereiche der Mitarbeiter von den Fördereinrichtungen und Werkzeugmaschinen.

Die **flexible Fertigungslinie** besteht aus einer starren Verkettung mehrerer Bearbeitungszentren. Diese sind ganz im Stile einer Fließfertigung mit starrer Koppelung durch eine automatisierte Fördereinrichtung mit fester Taktzeit verbunden. Teilefamilien, d. h. in ihrer Geometrie ähnliche Bauteile, sowie Produkte und ihre Varianten lassen sich mit diesem Fertigungsansatz kostengünstig bearbeiten.¹⁸⁸

Eine flexible Fertigungslinie ist weniger anpassungsfähig an veränderte Markterfordernisse als die zuletzt beschriebenen flexiblen Fertigungssysteme, kann dafür als Vorteil eine höhere Produktivität geltend machen.

¹⁸⁸ Vgl. Thommen, Betriebswirtschaftslehre, 2007, S. 455.

9.5 Kontrollfragen

K 9-01 Erläutern Sie, wonach Fertigungstypen unterschieden werden, und geben Sie eine Übersicht der Ihnen bekannten Fertigungstypen an.

K 9-02 Erklären Sie den Unterschied zwischen Serienfertigung und Sortenfertigung.

K 9-03 Erläutern Sie den Begriff „Mass-Customization“, grenzen Sie ihn zu anderen Fertigungstypen ab und verdeutlichen Sie den Begriff an einem Beispiel.

K 9-04 Wonach werden die Unterformen der Serienfertigung differenziert und welche Unterformen kennen Sie? Geben Sie ca.-Zahlen je Unterform an.

K 9-05 In welche Prinzipien bzw. Ansätze lassen sich Fertigungskonzepte differenzieren? Geben Sie einen Überblick und nennen Sie die passenden Vertreter.

K 9-06 Erläutern Sie, wie organisatorisch ein Bearbeitungszentrum entsteht und bei welchem Fertigungstyp dieses eingesetzt wird. Gehen Sie auch auf die mit dem Fertigungstyp verbundenen Vor- und Nachteile ein.

K 9-07 Werkstattfertigung: Welche Prinzipien kennzeichnen die Werkstattfertigung und welche Vor-/Nachteile sind mit dieser Form der Fertigungsorganisation verbunden?

K 9-08 Beschreiben Sie Merkmale der Punktfertigung. Für welche Fertigungstypen ist sie geeignet und welche Vor- und Nachteile sind mit der Punktfertigung verbunden?

K 9-09 Fließfertigung: Welche Prinzipien kennzeichnen die Fließfertigung und welche Vor-/Nachteile sind mit dieser Form der Fertigungsorganisation verbunden?

K 9-10 Grenzen Sie Reihen- und Fließfertigung gegeneinander ab. Welches sind die Gemeinsamkeiten, wo unterscheiden sich die beiden Fertigungstypen?

K 9-11 Inselfertigung: Welche Prinzipien kennzeichnen die Inselfertigung und welche Vor-/Nachteile sind mit dieser Form der Fertigungsorganisation verbunden?

K 9-12 Beschreiben Sie das Fertigungskonzept der „agilen Fertigungssysteme“. Was kennzeichnet dieses Konzept, für welche Fertigungstypen ist es geeignet und welche Vor-/Nachteile sind damit verbunden?