

2 Losgrößen- und Instandhaltungsplanung in der Sachgüterindustrie

2.1 Grundlagen der Losgrößen- und Instandhaltungsplanung

2.1.1 Kennzeichnung der Losgrößenplanung innerhalb der Produktionsplanung

2.1.1.1 Definition grundlegender Begriffe

Der Grundlagenliteratur ist keine einheitliche Definition des Begriffs *Produktion* zu entnehmen. Obwohl auf übergeordneter Ebene ein einheitliches Verständnis besteht, werden je nach Themenschwerpunkt unterschiedliche Facetten des Begriffs beleuchtet. Oft findet sich eine zu der Abbildung 2.1 vergleichbare Darstellung des Produktionsprozesses.⁵

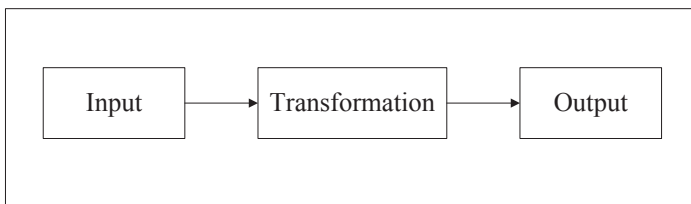


Abbildung 2.1: Generalisierter Produktionsprozess

Der Produktionsprozess umfasst demnach die Transformation von Inputs in Outputs. Die Aufgabe der Produktion kann etwas ausführlicher charakterisiert werden als die Kombination von Produktionsfaktoren sowie deren Transformation in materielle Güter und Dienstleistungen als Produkte.⁶

⁵Vgl. Corsten und Gössinger (2012), S. 1-2, Fandel (2005), S. 1, Günther und Tempelmeier (2012), S. 7, Kiener et al. (2009), S. 6, Kistner und Steven (2001), S. 2 oder Steven (1998), S. 3.

⁶Vgl. Steven (1998), S. 1.

*Planung ist laut Wild*⁷

„...ein systematisches, zukunftsbezogenes Durchdenken und Festlegen von Zielen, Maßnahmen, Mitteln und Wegen zur zukünftigen Zielerreichung...“.

In anderen Quellen wird Planung u. a. als die Vorbereitung definiert, die es erst ermöglicht, Entscheidungen zu fällen.⁸

Die *operative Produktionsplanung* bestimmt das Produktionsprogramm, den zugehörigen Materialbedarf sowie die Ressourcenbelegung, mit dem Ziel der effizienten Nutzung des Produktionssystems.⁹ Es bietet sich an dieser Stelle an, eine Reihe von bereits genannten Begriffen zu definieren.

Das *Produktionsprogramm* legt Art und Menge der in den nächsten Perioden zu produzierenden Erzeugnisse fest.¹⁰ Die *Losgröße* ist die Anzahl einer Produktvariante, die ohne ein Umrüsten oder Unterbrechen des Produktionsprozesses hergestellt wird.¹¹ Die *Maschinenbelegungsplanung* oder auch Reihenfolgeplanung ordnet Aufträge Maschinen so zu, dass die Kapazitätsrestriktionen der Maschinen eingehalten werden.¹² Hierdurch ergeben sich implizit auch die Rüstvorgänge an den beteiligten Maschinen. Ein *Rüstvorgang* bezeichnet das Vorbereiten einer Anlage für das Fertigen eines bestimmten Erzeugnisses.¹³ Das effiziente Nutzen der Ressourcen wird durch die Anforderungen aus der Absatzplanung sowie die kapazitiven Restriktionen des Systems zum Entscheidungsproblem.

Wie dargestellt ist die *Losgrößenplanung* Teil der operativen Produktionsplanung. Die Losgrößenplanung legt die Größe der Lose und damit einhergehend die notwendigen Rüstvorgänge fest. Während es niedrige Losgrößen ermöglichen eher bedarfsgerecht zu produzieren, kann durch hohe Losgrößen die Anzahl an notwendigen Rüstvorgängen gesenkt werden. Im ersten Fall von niedrigen Losgrößen kommt es in der Folge allerdings zu einer erhöhten Anzahl an Rüstvorgängen. Der zweite Fall von hohen Losgrößen wirkt entgegengesetzt und bewirkt höhere Lagerbestände. Der daraus resultierende Zielkonflikt des gleichzeitigen Minimierens von Rüst- und Lagerkosten führt zum sogenannten *Losgrößenproblem*.¹⁴

⁷Wild (1974), S. 13.

⁸Vgl. Klenger (2000), S. 66 oder Eßig und Wagner (2003), S. 281.

⁹Vgl. Buzacott et al. (2005), S. 14 und Kiener et al. (2009), S. 10.

¹⁰Vgl. Günther und Tempelmeier (2012), S. 147.

¹¹Vgl. Hompel und Heidenblut (2011), S. 176 und Roberts et al. (2010), S. 1970.

¹²Vgl. Küpper und Helber (2004), S. 213.

¹³Vgl. Buzacott et al. (2005), S. 46.

¹⁴Vgl. Günther und Tempelmeier (2012), S. 199.

Abschließend bezeichnet *Enterprise Resource Planning (ERP)* Systeme zur Datenverwaltung und Entscheidungsunterstützung für das Produktionsmanagement und damit auch für die Losgrößenplanung. Diese verbinden die planerischen Aufgaben in der Produktion datenseitig durch adäquate Modellformulierung, Datenbereitstellung und Lösungsmethodiken.¹⁵

2.1.1.2 Ausgewählte Produktionstechnik in der industriellen Produktion

Wie in dem Kapitel 2.1.1.1 kurz beschrieben reichen die Endprodukte einer Produktion von materiellen Gütern bis hin zu Dienstleistungen. Das Herstellen von materiellen Sachgütern in großen Volumina wird als *industrielle Produktion* bezeichnet. Die Begriffsherkunft leitet sich von der industriellen Revolution ab. Diese führte zu einer Neuordnung der Produktionsverhältnisse in Europa von der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts bis ins 19. Jahrhundert hinein. Die industrielle Produktion löste mithilfe von Arbeits- und Werkzeugmaschinen die handwerkliche Produktion ab.¹⁶

Werkzeugmaschinen

Im Zuge der Industrialisierung erhielten Werkzeugmaschinen aufgrund der Automatisierung des Produktionsprozesses, die mit der Nutzung einhergeht, eine zentrale Bedeutung. Werkzeugmaschinen können prinzipiell in unterschiedlichen Organisationstypen wie der Reihenfertigung, der Werkstattproduktion, den Flexiblen Fertigungssystemen oder auch den Produktionsinseln eingesetzt werden.¹⁷

Für den weiteren Verlauf dieser Arbeit genügt die Berücksichtigung von Werkzeugmaschinen, die typischerweise in Produktionsinseln eingesetzt werden. In diesem Zusammenhang sind Werkzeugmaschinen als mechanisierte und automatisierte Fertigungseinrichtungen zu verstehen. Durch relative Bewegungen zwischen Werkzeug und Werkstück stellen Werkzeugmaschinen die gewünschte Form des Werkstücks her.¹⁸ Insbesondere für die Serien- und Massenfertigung sind diese Fertigungseinrichtungen meist computernumerisch gesteuert. Der Bearbeitungsprozess einschließlich des Messens, Einstellens, Positionierens und des Werkzeugwechsels erfolgt hier durch sogenannte CNC¹⁹-Werkzeugmaschinen.²⁰ CNC-Werkzeugmaschinen können neben dem automatisierten Bearbeitungs-

¹⁵Vgl. Wagner und Meyr (2008), S. 449.

¹⁶Vgl. Buzacott et al. (2005), S. 1, Corsten und Gössinger (2012), S. 23 sowie Günther und Tempelmeier (2012), S. 6.

¹⁷Vgl. Buzacott et al. (2005), S. 1 und Günther und Tempelmeier (2012), S. 13.

¹⁸Vgl. Brecher et al. (2014), S. T1.

¹⁹Englisch: Computerized Numerical Control (CNC).

²⁰Vgl. Weck und Brecher (2005), S. 18-23.

prozess je nach Grad der Automatisierung zusätzlich über eine automatisierte Werkstückzu- und abfuhr verfügen.

Drehmaschinen und Bearbeitungszentren

Als für diese Arbeit wichtigsten Vertreter der CNC-Werkzeugmaschinen sind die CNC-Drehautomaten und die CNC-Bearbeitungszentren zu nennen.²¹ In der weiteren Arbeit wird der CNC-Drehautomat allgemein mit dem zugehörigen Überbegriff Drehmaschine bezeichnet. Bei den Drehmaschinen rotiert das Werkstück und das Werkzeug vollzieht eine Vorschubbewegung in einer zur Schnitttrichtung senkrechten Ebene.²² Die Abbildung 2.2 zeigt exemplarisch einen Mehrspindel-drehautomat. Dieser verfügt über bis zu acht Spindeln, wodurch gleichzeitig mehrere Werkstücke bearbeitet werden können.

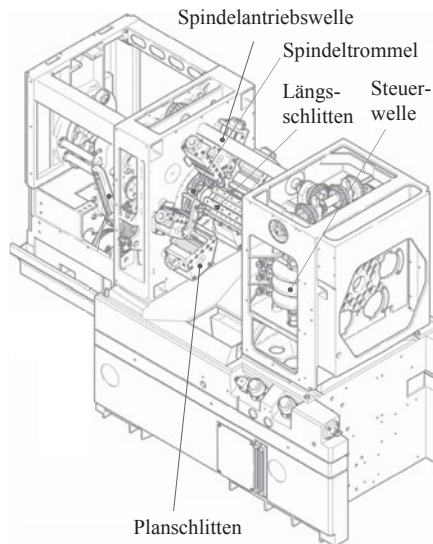


Abbildung 2.2: Schematische Darstellung eines Mehrspindeldrehautomats
Quelle: Weck und Brecher (2005), S. 142.

Die Spindeln sind in der Spindeltrommel gelagert, die wiederum durch die Steuerwelle getaktet wird. So können an einem Werkstück nacheinander mehrere Fertigungsschritte durchgeführt werden. Die Spindeltriebswelle versetzt wiederum

²¹Vgl. Uhlmann (2014), S. T74, T86.

²²Vgl. Uhlmann (2014), S. T71 und Weck und Brecher (2005), S. 134.

die Spindeln in eine Rotationbewegung. Jede Spindel trägt ein Spannfutter, in welches die Werkstücke zur Bearbeitung einzuspannen sind. Die Plan- und Längsschlitten tragen und führen die Werkzeuge. Die Schlitten führen dabei eine rein translatorische Bewegung durch.²³

Ein CNC-Bearbeitungszentrum (BAZ) ermöglicht aufgrund der mindestens drei numerisch gesteuerten, translatorischen Achsen eine höhere Flexibilität der Bearbeitung. So sind beispielsweise Bohr-, Fräs- und Ausdrehoperationen in einem Arbeitsgang möglich. Im Gegensatz zur Drehmaschine rotiert bei den Bearbeitungszentren typischerweise das Werkzeug und das Werkstück bleibt fixiert.²⁴

Fertigungsverfahren

Das von Werkzeugmaschinen primär durchgeführte Fertigungsverfahren „Trennen“²⁵ löst lokal den Stoffzusammenhalt. Der Endkörper liegt dabei schon im Anfangskörper vor und wird daher freigelegt. Relevante Beispiele für Trennverfahren zum Anwendungsfall aus Kapitel 2.2 sind das Drehen²⁶, das Bohren²⁷ und das Fräsen²⁸.

Die mechanische Bearbeitung durch die angerissenen Trennverfahren zeichnet sich durch das Einwirken hoher mechanischer Kräfte und damit einhergehend einen hohen mechanischen Verschleiß aus. Hierdurch kommt es u. U. zum Versagen einer Vielzahl verschiedener Bauteile – allen voran die Werkzeuge – und damit zum Ausfall der Werkzeugmaschine. Daher ist ein hoher Instandhaltungsaufwand ein Charakteristikum von Produktionen, die diese Bearbeitungsform aufweisen. Kühlschmiermittel sind bei dieser Bearbeitungsform sehr bedeutsam. Diese vermindern die Abnutzung der Werkzeuge deutlich.²⁹

Eine Werkzeugmaschine kann in diverse Teilsysteme gegliedert werden. Die Teilsysteme bestehen wiederum aus einzelnen Komponenten. Das Energie- und Kinematiksystem ist dabei verantwortlich für das Erzeugen der Schnittbewegung und den Vorschub. Die Achsantriebsmotoren erzeugen wiederum diese Vorschubbewegungen. Das Informationssystem dient der Steuerung der Maschine.

²³ Vgl. Weck und Brecher (2005), S. 141-145.

²⁴ Vgl. Uhlmann (2014), S. T86 und Fandel et al. (2011), S. 34.

²⁵ Vgl. Deutsches Institut für Normung e.V. (2003a).

²⁶ „Spanen mit geschlossener, meist kreisförmiger Schnittbewegung und beliebiger quer zur Schnittrichtung liegender Vorschubbewegung.“ Deutsches Institut für Normung e.V. (2003b).

²⁷ „Spanen mit kreisförmiger Schnittbewegung, bei dem die Drehachse des Werkzeuges und die Achse der zu erzeugenden Innenfläche identisch sind und die Vorschubbewegung in Richtung dieser Achse verläuft.“ Deutsches Institut für Normung e.V. (2003c).

²⁸ „Spanen mit kreisförmiger, einem meist mehrzahnigen Werkzeug zugeordneter Schnittbewegung und mit senkrecht oder auch schräg zur Drehachse des Werkzeuges verlaufender Vorschubbewegung zur Erzeugung beliebiger Werkstückoberflächen.“ Deutsches Institut für Normung e.V. (2003d).

²⁹ Vgl. Tönshoff et al. (2014), S. S47, S62 sowie Koether und Rau (2012), S. 14.

Die Hilfssysteme umfassen Kühlschmiermittelbereitstellung, Spanförderung und Zentralschmierung. Das Werkzeugsystem hält die für die Bearbeitung notwendigen Werkzeuge vor. Dieses umfasst ebenso das Werkzeugspannmittel, den Werkzeugträger und das Werkzeugwechselsystem. Das Werkstücksystem beinhaltet das Spannfutter und die notwendigen Einspannmittel für die Werkstücke.³⁰

2.1.2 Kennzeichnung der Instandhaltungsplanung

Laut DIN-Norm 31051 bezeichnet *Instandhaltung* die Kombination aller Maßnahmen, die die Funktion einer Einheit wiederherstellen oder bewahren.³¹

Der Begriff *Einheit* kann hierbei einzelne Teile bis hin zu Funktionseinheiten oder Bauelemente bezeichnen. Die Gliederung von Einheiten eines instandzuhaltenden Systems aus Sicht der Instandhaltung richtet sich dabei nach der Komplexität des Aufbaus der Einheiten. Auch die notwendige Qualifikation des Personals oder die Zugänglichkeit der Einheiten im System unterstützen die Gliederung. Unter der *Funktion* einer Einheit wird die vom Hersteller definierte Anforderung an die Verwendung verstanden. Ist eine Einheit nicht mehr in der Lage, die von ihr geforderte Funktion zu erfüllen, liegt ein *Ausfall* vor.³² Die Abbildung 2.3 stellt den schematischen Verlauf des Zustands einer Einheit über die Zeit dar.³³

Zu einem Ausfall kommt es bei Erschöpfen des *Abnutzungsvorrats*. Dieser ist definiert als Vorrat einer Einheit zur Funktionserfüllung, der dieser innewohnt. Chemische und / oder physikalische Vorgänge, die während der Nutzung auftreten, reduzieren diesen Vorrat. Dieses Verhalten wird mit *Abnutzung* bezeichnet.³⁴

Unternehmungen in der Sachgüterproduktion nutzen zur Information über das Ausfallverhalten u. a. die Größen „durchschnittliche Betriebszeit zwischen Ausfällen“ und „durchschnittliche Instandsetzungszeit“. Mean Time Between Failure (MTBF) bezeichnet die „durchschnittliche Betriebszeit zwischen Ausfällen“ und Mean Time To Repair (MTTR) die „durchschnittliche Instandsetzungszeit“.³⁵ Die Zeit zwischen Ausfällen ist dabei definiert als der mathematische Erwartungswert der Zeit (berechnet in Kalender- oder Betriebszeit) zwischen zwei Ausfällen.

³⁰Vgl. Westkämper (2014), S. S137 und Uhlmann (2014), S. T71, T87.

³¹Vgl. Deutsches Institut für Normung e.V. (2012), S. 4.

³²Vgl. Deutsches Institut für Normung e.V. (2012), S. 9 sowie Deutsches Institut für Normung e.V. (2010), S. 10, 16 und 20.

³³Vgl. Deutsches Institut für Normung e.V. (2012), S. 8. Ausgabedatum: 09/2012. Wiedergegeben mit Erlaubnis des DIN Deutsches Institut für Normung e. V. Maßgebend für das Anwenden der DIN-Norm ist deren Fassung mit dem neuesten Ausgabedatum, die bei der Beuth Verlag GmbH, Burggrafenstraße 6, 10787 Berlin, erhältlich ist.

³⁴Vgl. Deutsches Institut für Normung e.V. (2012), S. 7-8 und Rötzel (2009), S. 16.

³⁵Vgl. Deutsches Institut für Normung e.V. (2010), S. 37 und Matyas (2010), S. 117-118.

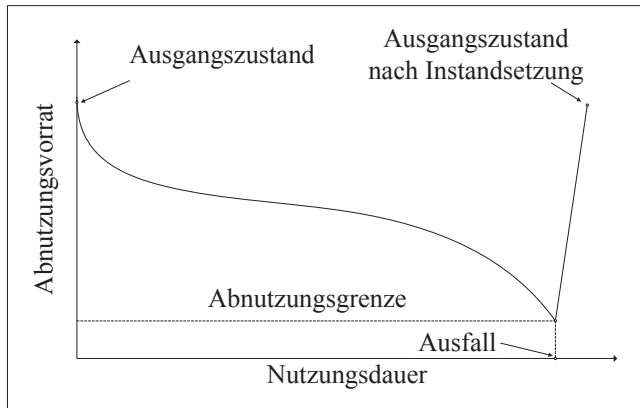


Abbildung 2.3: Zusammenhang zwischen Abnutzung und Instandsetzung

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Deutsches Institut für Normung e.V. (2012), S. 8.

In der industriellen Sachgüterproduktion sind zudem die Begriffe Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit bedeutsam. Die *Verfügbarkeit*³⁶ ist die Fähigkeit einer Einheit, die geforderte Funktion zu erfüllen. Der Term *Zuverlässigkeit* beschreibt den Fall, dass eine Einheit in einer gegebenen Zeitspanne verfügbar ist. Die Zuverlässigkeit ist eine zentrale Messgröße für die Nutzbarkeit einer Einheit (z. B. einer Maschine). Sie gibt an, in welchem Maße die Einheit produktiv eingesetzt werden kann.³⁷

Konzept der Instandhaltung

Das Konzept der Instandhaltung beinhaltet die vier Grundmaßnahmen Wartung, Inspektion, Instandsetzung und Verbesserung (siehe Abbildung 2.4).³⁸

Die *Wartung* beinhaltet alle Maßnahmen, die den Abbau des Abnutzungsvorrats verzögern. Ein Beispiel hierfür ist der Wechsel eines Ölfilters an einer Werkzeugmaschine. Die *Inspektion* wiederum umfasst alle Maßnahmen, die notwendig sind, um die Abweichung des Istzustands vom Sollzustand zu beurteilen. Dies beinhaltet zum einen, die Ursachen für eine Abnutzung zu untersuchen. Zum anderen werden durch die Inspektion Gebrauchsänderungen erarbeitet, die die zukünftige Abnutzung verringern. Die *Instandsetzung* stellt die Funktion einer fehlerhaften

³⁶Die Verfügbarkeit innerhalb eines Zeitraums kann durch den Quotienten $\frac{\text{Gesamtzeit} - \text{Gesamtausfallzeit}}{\text{Gesamtzeit}}$ berechnet werden.

³⁷Vgl. Deutsches Institut für Normung e.V. (2010), S. 10 und Götze (2008), S. 79.

³⁸Vgl. Deutsches Institut für Normung e.V. (2012), S. 4-6.

Einheit wieder her. Dies kann die Reparatur oder auch den vollständigen Ersatz einer Einheit bedeuten. Die letzte Grundmaßnahme im Maßnahmenbündel des Konzepts der Instandhaltung ist die *Verbesserung*. Hierunter fallen alle Maßnahmen, die mindestens eines der drei Kriterien Zuverlässigkeit, Instandhaltbarkeit oder Sicherheit der instandzuhaltenden Einheit verbessern.

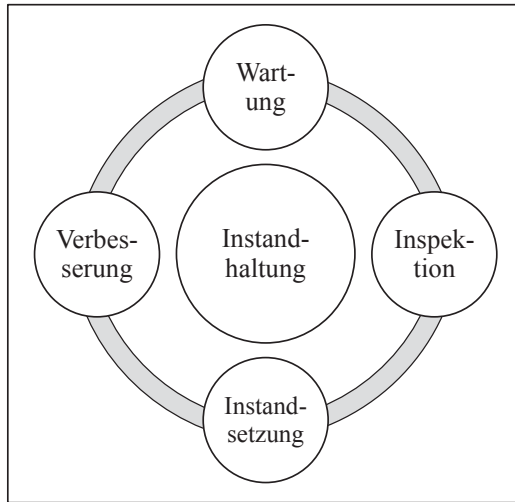


Abbildung 2.4: Grundmaßnahmen der Instandhaltung

Instandhaltungsarten

Bei den Instandhaltungsarten lässt sich die korrektive sowie die präventive Instandhaltung unterscheiden. Während die korrektive Instandhaltung nur nach Fehlererkennung und somit reaktiv handelt, wirkt die präventive Instandhaltung proaktiv. Die korrektive Instandhaltung kann dabei aufgeschoben oder unmittelbar erfolgen. Der erste Fall ist allerdings nur möglich, falls der Ausfall nicht entscheidend für die Funktionsfähigkeit des Systems ist. Die präventive Instandhaltung überwacht den Zustand der Einheiten während des Nutzens. Nach definierten Kriterien erfolgt die Instandhaltungsmaßnahme, um die Ausfallwahrscheinlichkeit zu vermindern. Die Überwachung kann entweder nach festgelegten Kalenderzeitabständen, Betriebszeitabständen oder Nutzungseinheiten erfolgen (vorausbestimmte Instandhaltung). Andernfalls können auch Systeme den Zustand der Einheit kontrol-

lieren (zustandsorientierte Instandhaltung).³⁹ Die Abbildung 2.5 stellt die unterschiedlichen Instandhaltungsarten dar.

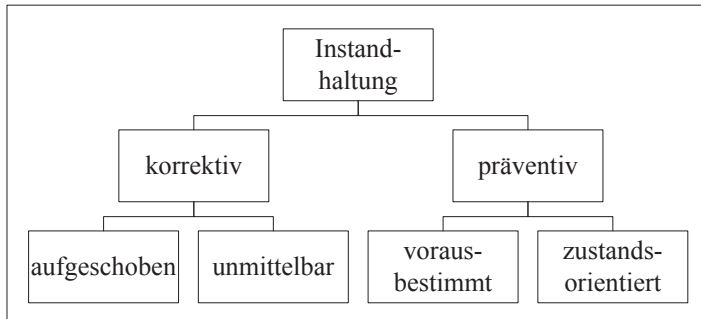


Abbildung 2.5: Klassifikation der Instandhaltungsarten

Ein Überwachungssystem kann beispielsweise ein Instandhalter sein, der die Einheit visuell überwacht. Elektronische Überwachungssysteme (*Condition-Monitoring-Systeme*) kontrollieren mithilfe von Sensorik auf Basis von mechanischen, thermischen oder elektrischen Signalen. Unternehmen setzen zunehmend die zustandsorientierte Instandhaltung ein und nutzen hierbei die genannten Condition-Monitoring-Systeme. Ziele dieser Maßnahmen sind die Reduktion von Ausfällen und effizientere Reparaturmaßnahmen. Die technische Komplexität, die hohen Kosten und ein hoher Aufwand bei der Datenerhebung sowie -auswertung hemmen allerdings die Einführung dieser Systeme.⁴⁰

2.2 Detaillierte Untersuchung eines Anwendungsfalls bei einem Automobilzulieferer

2.2.1 Vorbemerkung zur Datenerhebung und -darstellung

Das folgende Kapitel beschreibt das Produktionssystem eines Automobilzulieferers. Dieser Anwendungsfall dient für diese Arbeit als Inspiration. Aufgrund der Geheimhaltungsaufgaben wird der Praxispartner nicht namentlich genannt. Auch

³⁹Vgl. Deutsches Institut für Normung e.V. (2010), S. 22-23, Matyas (2010), S. 117-120, Schenk (2010), S. 26-34 und Kropik (2009), S. 202-203.

⁴⁰Vgl. Matyas (2010), S. 122-124, Ryll (2008), S. 30-31 sowie Schenk (2010), S. 126-127 und 272.

werden keine detaillierten Daten zu der Produktionsstruktur, den produzierten Gütern sowie der Instandhaltung aufgeführt. Es wird somit nur qualitativ beschrieben, welche Strukturen vorliegen und welche Fragestellungen sich hier aus der produktionswirtschaftlichen Perspektive ergeben. Dieses Vorgehen ist als Basis zum Verständnis für die in den folgenden Kapiteln dargestellten Optimierungsmodelle, Algorithmen und numerischen Untersuchungen ausreichend. Die dargestellten Informationen beruhen auf Datenauszügen der Produktion und der Instandhaltung, unzähligen Besuchen sowie Experteninterviews.⁴¹

2.2.2 Beschreibung des zugrunde liegenden Produkts, des Produktionsprozesses sowie der Losgrößenplanung

Das hergestellte Produkt im Anwendungsfall ist ein in Abbildung 2.6 dargestellter Tandemhauptzylinder.

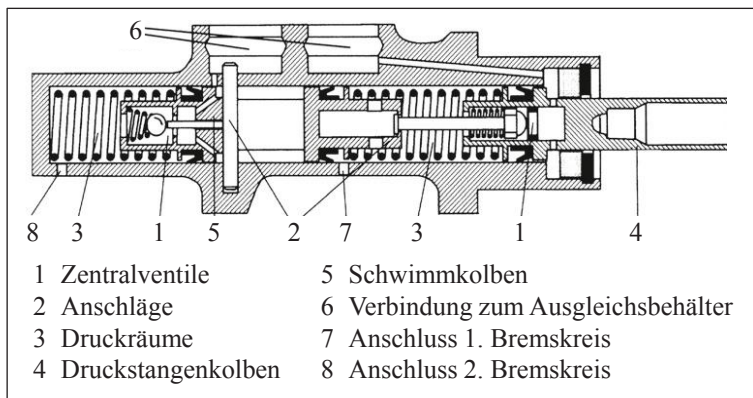


Abbildung 2.6: Schematische Darstellung eines Tandemhauptzylinders

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Rieth (2013), S. 7.

Der Tandemhauptzylinder wird in Kraftfahrzeugen verbaut. Zweck dieses Bauteils ist das Übertragen der vom Kraftfahrzeugführer ausgegebenen Bremskraft an die Bremssättel der Räder. Wie die Abbildung 2.6 illustriert besteht der Tandemhauptzylinder aus mehreren starren und beweglichen Teilen.⁴² Der Terminus

⁴¹Die Informationen wurden teilweise im Rahmen von Abschlussarbeiten von Derbali (2009), Kubitzki (2012), Schirmer (2012) und Wahl (2011) erhoben.

⁴²Eine detaillierte Beschreibung der Funktionsweise des Tandemhauptzylinders kann beispielsweise Reif (2010), S. 55-56 entnommen werden.

Integrierte Optimierung der Losgrößen- und
Instandhaltungsplanung bei industrieller
Sachgüterproduktion

Kasper, S.

2016, XXI, 263 S. 79 Abb. in Farbe., Softcover

ISBN: 978-3-658-11999-7