

Diplomarbeit

Neugestaltung einer Montagelinie unter den Aspekten der Lean Production

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines

Diplom-Ingenieurs

unter der Leitung von

Univ.Prof. Dipl.WirtschIng. Dr.-Ing. Wilfried Sihn

(E330 Institut für Managementwissenschaften, Bereich: Betriebstechnik und Systemplanung)

Univ.Ass. Dipl.-Ing. Tanja Nemeth

(E330 Institut für Managementwissenschaften, Bereich: Betriebstechnik und Systemplanung,
Fraunhofer Austria Research GmbH)

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften

von

Raphael Weidinger

Matr.Nr. 0835295

Wien, im Mai 2016

Raphael Weidinger



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN

Ich habe zur Kenntnis genommen, dass ich zur Drucklegung meiner Arbeit unter der Bezeichnung

Diplomarbeit

nur mit Bewilligung der Prüfungskommission berechtigt bin.

Ich erkläre weiters Eides statt, dass ich meine Diplomarbeit nach den anerkannten Grundsätzen für wissenschaftliche Abhandlungen selbstständig ausgeführt habe und alle verwendeten Hilfsmittel, insbesondere die zugrunde gelegte Literatur, genannt habe.

Weiters erkläre ich, dass ich dieses Diplomarbeitsthema bisher weder im In- noch Ausland (einer Beurteilerin/einem Beurteiler zur Begutachtung) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe und dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit übereinstimmt.

Wien, im Mai 2016

Raphael Weidinger

Danksagung

Ich danke meinen Eltern, Jutta und Ramon Weidinger, welche mir mein Studium finanziell ermöglicht haben und mir jederzeit mit Rat und Tat beiseite standen.

Ebenfalls danke ich Herrn Jochen Wörner und Herrn Dirk Müller der Bosch Rexroth AG, welche mir ihr Vertrauen schenkten und trotz eines vollen Terminkalenders immer ein offenes Ohr für mich hatten. Herrn Dirk Müller danke ich auch für das besonders detaillierte Feedback zu meiner Arbeit.

Auf der Seite der Technischen Universität Wien, danke ich Herrn Professor Sihm und Frau Tanja Nemeth, welche mir von Anfang an beim Verfassen der Arbeit beiseite standen und mich stets in die richtige Richtung lenkten.

Zuletzt danke ich meiner Freundin, Katharina Lihs, welche sich die Mühe machte und meine Arbeit Korrektur las.

Raphael Weidinger

Kurzfassung

Der sich ständig ändernde Markt sowie das turbulente Umfeld, in welchem Unternehmen sich bewegen, fordert Flexibilität und Reaktionsfähigkeit. Die zunehmende Globalisierung und der damit steigende Konkurrenzdruck stellt jedoch auch die Wirtschaftlichkeit einer Unternehmung immer mehr in den Vordergrund.

Die Methoden der „Lean Production“ oder auf deutsch der „schlanken Produktion“ gestatten Unternehmen bei konsequenter Anwendung immer wirtschaftlicher, flexibler und reaktionsfähiger zu werden. Vom Material- und Informationsfluss in der Produktion bis hin zur Werkzeugbereitstellung an den Arbeitsplätzen wird jede Ebene des Unternehmens beleuchtet und durch methodisches Vorgehen gezielt optimiert.

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit ausgewählten Methoden der Lean Production und wie durch Anwendung dieser Produktionsprozesse optimiert werden können. Anhand von Beispielen werden Designansätze ausgearbeitet, um den oben genannten Anforderungen gerecht zu werden. Die Methoden sowie die erarbeiteten Designansätze werden im Anschluss im Zuge der Neugestaltung einer Montagelinie bei der Firma Bosch Rexroth AG angewandt, erprobt und validiert.

Abstract

The ever-changing market as well as the turbulent environment in which companies operate demand flexibility and the ability to react quickly. At the same time, however, the increasing globalization and the resulting rise in competitive pressure also pushes the economic aspect of an undertaking to the fore.

By strictly implementing “Lean Production“ methods, companies can become more and more efficient and flexible while also increasing their ability to react quickly. From the flow of material and information within a production to the allocation of tools at workstations, each level of a company is examined and optimized in a targeted manner using a methodical approach.

This thesis sets out to address selected methods of Lean Production and how manufacturing processes can be optimized by implementing these methods. Design concepts will be elaborated by means of examples to satisfy the aforementioned demands. The methods as well as the developed design concepts will subsequently be applied, tested and validated as part of the redesign of an assembly line at the company Bosch Rexroth AG.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
1.1. Problemstellung und Zielsetzung	2
1.2. Aufbau der Arbeit	2
I. Aspekte, Methoden und Designansätze der Lean Production	4
2. Lean Production - Die schlanke Produktion	5
2.1. 7 Arten der Verschwendung	6
2.2. Erfolgsfaktoren der Lean Production	8
2.3. Ausgewählte Methoden	10
3. Wertstromanalyse im Detail	15
3.1. Funktionsweise der Wertstromanalyse erläutert an einem Beispiel	15
3.2. Bedeutung weiterer Wertstromsymbole	19
4. Designansätze für die Kundenauftragsfertigung	22
4.1. 8 Leitlinien zur Konzeption eines schlanken Wertstroms	22
4.2. Anwendung auf die Kundenauftragsfertigung	26
4.3. Weitere Aspekte des Kundenentkopplungspunktes	29
5. Optimierung von Arbeitssystemen und -prozessen	33
5.1. Optimale Arbeitshöhe	33
5.2. Seh- und Greifräume	34
5.3. Optimierung von Material- und Werkzeugbereitstellung sowie Prozessen .	36
II. Neugestaltung einer Montagelinie bei der Firma Bosch Rexroth AG	40
6. Einleitung	41
6.1. Unternehmensbeschreibung - Bosch Rexroth und die Bosch-Gruppe	41
6.2. Produktbeschreibung - Transfersysteme	42
6.3. Werksbeschreibung - Das Werk Stuttgart	45
7. Ist-Analyse	46
7.1. Wertstromanalyse	46
7.1.1. Wertstrom auf Werksebene	48

Inhaltsverzeichnis

7.1.2. Wertstrom auf Linienebene	49
7.2. Stapel-Diagramm und Zeitaufnahme	55
7.3. Analyse der Auftragseingänge	58
8. Konzeption Soll-Zustand	62
8.1. Zieldefinition	62
8.1.1. Allgemeine Ziele und Rahmenbedingungen	62
8.1.2. Künftiger Bedarf und Zielkundentakt	63
8.2. Idealplanung	65
8.2.1. Notwendige Anzahl an Mitarbeitern	65
8.2.2. Wertstromdesign	68
8.2.3. Grundsätzlicher Aufbau eines Arbeitsplatzes	72
8.2.4. Layoutplanung auf „grüner Wiese“	73
8.3. Realplanung	79
8.3.1. Nutzwertanalyse	80
8.3.2. Berechnung des notwendigen Supermarktbestandes mittels der Bosch Kanban-Formel	85
8.3.3. Umlegung des Ideallayouts	94
8.4. Detailplanung	96
8.4.1. Ableitungen aus dem Stapel-Diagramm	97
8.4.2. Montagevorrichtungen	101
8.4.3. Weitere Arbeitsplatzgestaltung und Planung in MTpro	108
8.4.4. Maßnahmen zur Qualitätssicherung	113
9. Umsetzung	117
9.1. Die fertige Linie	118
9.1.1. Überblick	118
9.1.2. Ausgewählte Arbeitsplätze im Detail	120
9.1.3. Verkettung zwischen Vor- und Endmontage	130
9.2. Evaluierung und Amortisationsrechnung	132
10. Schlussfolgerung und Ausblick	136
Literaturverzeichnis	137
Abbildungsverzeichnis	139
Tabellenverzeichnis	142
Anhang	142
A. Hallenlayout	144
B. Wertstromanalyse auf Werksebene	146

Inhaltsverzeichnis

C. Linienlayout	148
D. Technische Zeichnungen der Montagevorrichtungen	150
E. Plakat	160

1. Einleitung

„Nichts ist so beständig wie der Wandel.“¹

Häufig notwendige Produktänderungen oder stark schwankende Auftragseingänge sind nur zwei der vielen Anforderungen mit welchen Unternehmen heutzutage zurecht kommen müssen. Daher wird es immer wichtiger, die Prozesse eines Unternehmens so zu gestalten, dass eine Anpassung an die geänderten Anforderung möglichst schnell und verschwendungsarm realisiert werden kann. Produktänderung werden mit flexiblen Prozessen gemeistert, schwankende Auftragseingänge durch Reaktionsfähigkeit. Bei steigendem Wettbewerbsdruck gewinnt jedoch auch die **Wirtschaftlichkeit** der zu erbringenden **Flexibilität** und **Reaktionsfähigkeit** an Bedeutung. Zusammen stellen diese drei Faktoren die Wandlungsfähigkeit eines Unternehmens dar.² Da sich die einzelnen Faktoren in mancher Hinsicht widersprechen oder der eine Faktor nur auf Kosten des anderen realisiert werden kann, ist die Herausforderung groß, allen drei Faktoren gleichzeitig gerecht zu werden.³ Bildlich kann das traditionelle Spannungsdreieck bestehend aus Zeit, Qualität und Kosten um die Faktoren der Wandlungsfähigkeit gemäß Abbildung 1.1 erweitert werden.

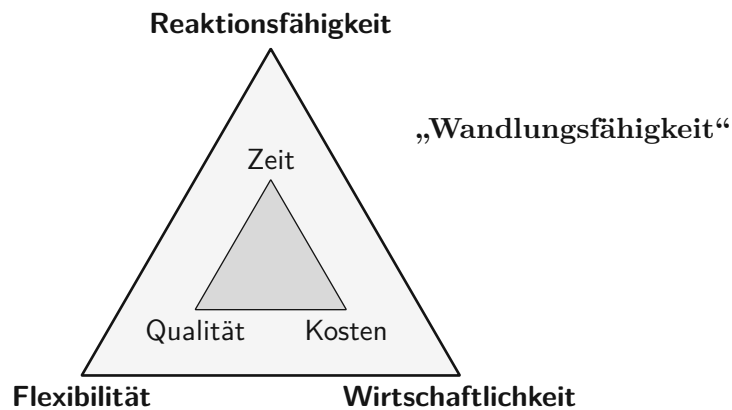


Abbildung 1.1.: Erweiterung des traditionellen Spannungsdreiecks

¹Becker 2008, S. 16.

²vgl. ebd., S. 16; vgl. Kuhlmann 2006, S. 6 ff.

³vgl. Erlach 2010, S. 226 f.

1. Einleitung

Die Wirtschaftlichkeit bewertet die monetäre Ergiebigkeit einer Unternehmung und ist meist als Verhältnis zwischen Erträgen und Aufwendungen definiert. Um nun wirtschaftlich zu produzieren, muss das Verhältnis dieser beiden Faktoren stimmen. Soll die Wirtschaftlichkeit erhöht werden, können entweder die Erträge gesteigert oder die Aufwendungen minimiert werden. Sind aufgrund von stagnierenden Märkte oder steigendem Kostendruck die Erträge nicht zu erhöhen, müssen, um wirtschaftlicher zu agieren, die Aufwendungen optimiert werden.⁴ „Lean Thinking“ zeigt einen Weg, um „immer mehr mit immer weniger zu erreichen - weniger menschliche Arbeit, weniger Equipment, weniger Zeit und weniger Raum“.⁵ Der Ursprung des „Lean Thinkings“ liegt in der „Lean Production“. Bei durchgängiger Anwendung der Methoden der „Lean Production“ kann es Unternehmen gelingen, immer wirtschaftlicher zu produzieren und zusätzlich die Flexibilität und Reaktionsfähigkeit zu erhöhen. Unternehmen erhalten damit ein Werkzeug, um den Faktoren des oben genannten Spannungsdreieckes gerecht zu werden.⁶

1.1. Problemstellung und Zielsetzung

Den Anforderungen des heutigen Marktes muss sich auch die Firma Bosch Rexroth AG stellen. Unter den Aspekten der Lean Production soll die im Praxisteil der vorliegenden Arbeit beschriebene Montagelinie neu gestaltet werden. Erreicht werden soll eine Effizienzsteigerung sowie eine Absicherung der Produktqualität und Arbeitsplatzergonomie. Da die starken und schnellen Veränderungen der Auftragseingänge in den kommenden Jahren tendenziell eher zu- als abnehmen,⁷ soll das neue Produktionskonzept die Reaktionsfähigkeit erhöhen und die Produktion trotz Schwankungen stabilisieren. Zu beachten ist dabei die hohe Anzahl der verschiedenen Produktvarianten, welche kundenbezogen zu produzieren sind.

Die zur Neugestaltung notwendigen, theoretischen Grundlagen sowie mögliche Designansätze sollen im Theorieteil der vorliegenden Arbeit ausgearbeitet werden.

1.2. Aufbau der Arbeit

Die vorliegende Arbeit setzt sich aus einem ersten Teil, dem Theorieteil, und einem zweiten Teil, dem Praxisteil, zusammen.

Die Aspekte der Lean Production sollen im folgenden Kapitel 2 des Theorieteils erläutert werden. Ausgewählte und für die vorliegende Arbeit relevante Methoden werden in Abschnitt 2.3 beschrieben. Die Wertstromanalyse stellt in der vorliegenden Arbeit eines der

⁴ vgl. Kummer, Grün und Jammernegg 2013, S. 48 f.; vgl. REFA 2015, S. 9 ff.

⁵ Womack und Jones 2004, S. 23.

⁶ vgl. Kapitel 2

⁷ vgl. REFA 2015, S. 9.

1. Einleitung

wichtigsten Werkzeuge dar, weshalb in Kapitel 3 auf diese im Detail eingegangen wird. Mögliche Designansätze werden in Kapitel 4 erläutert, wobei das Hauptaugenmerk auf der Kundenauftragsfertigung liegen soll. Um den Ansprüchen einer ergonomischen und effizienten Arbeitsplatzgestaltung gerecht zu werden, sollen in Kapitel 5 entsprechende Gestaltungsempfehlungen aufgezeigt werden.

Im Praxisteil wird die Neugestaltung der Montagelinie dokumentiert. In Kapitel 6 soll auf die Vorgehensweise eingegangen werden, ebenfalls wird die Firma Bosch Rexroth AG, das Werk und relevante Produktbereiche beschrieben. Der vor der Neugestaltung vorliegende Zustand der Linie wird in Kapitel 7 aufgezeigt. Die Konzepterstellung und das Konzept selbst wird in Kapitel 8 dokumentiert. Die Vorstellung und Evaluierung der neuen Linie erfolgt in Kapitel 9.

Teil I.

Aspekte, Methoden und Designansätze der Lean Production

Theorieteil

2. Lean Production - Die schlanke Produktion

Ein Markt wie der heutige erfordert aufgrund seiner ständigen Veränderung hohe Anpassungsfähigkeit der Unternehmen sowie aufgrund des zunehmenden Konkurrenzdrucks fortwährende Steigerung der Wirtschaftlichkeit und Effizienz.¹ Diese Forderungen prägten den heute weit verbreitete Ansatz der „Lean Production“. Auf das gesamte Unternehmen ausgeweitet und als umfassend Management-Strategie angewandt, wird auch oft von „Lean Management“ oder „Lean Thinking“ gesprochen.²

Der Begriff „Lean Production“ wurde 1990 von den Autoren des Buches „The Machine that changed the World“ in die Welt gesetzt und beruht auf dem damaligen Produktionskonzept der japanischen Toyota Motor Company. Bei Toyota galt es damals ein Produktionskonzept zu finden, um mit den großen amerikanischen und europäischen Fahrzeugherstellern konkurrieren zu können. Heute ist die Situation umgekehrt: Aufgrund des Zusammenwachsens der Märkte werden Unternehmen in Europa immer mehr in Bedrängnis gebracht, weshalb in den vergangenen Jahren die Methoden von Toyota und der „Lean Production“ auch in Europa zunehmend an Bedeutung gewannen. Die Wirtschaftlichkeit alleine reicht oft nicht mehr aus, ebenso wenig die gute Startposition. Viel wichtiger ist in diesem internationalen Umfeld die „Schnelligkeit, Prozesse bei höchster Flexibilität zu optimieren“.³ Die geforderte Schnelligkeit und Flexibilität wird unter anderem durch einen schlanken Materialfluss erreicht. Dieser wiederum ist dem Konzept „Lean Production“ oder „schlanken Produktion“ zugrunde gelegt.⁴

Eine schlanke Produktion erfordert das Vermeiden jeglicher Verschwendung, nicht nur alleine in den Produktionsbereichen, sondern auch in der Produktentwicklung und der Zulieferkette, zumal beispielsweise in der Automobilindustrie die eigentliche Produktion des Fahrzeugs gerade einmal 15 Prozent der menschlichen Leistung darstellt, welche insgesamt notwendig ist, um ein Fahrzeug zu bauen.⁵ Auf die Definition von Verschwendung soll im folgenden Abschnitt 2.1 eingegangen werden. Neben dem Vermeiden von

¹vgl. REFA 2015, S. 9 ff.

²vgl. Kummer, Grün und Jammerneegg 2013, S. 62.

³Dickmann 2009, S. 6.

⁴vgl. ebd., S. 5 ff.; vgl. Womack, Jones und Roos 1990, S. 48 f.; vgl. Brunner 2014, S. 61 f.

⁵vgl. Womack, Jones und Roos 1990, S. 73; vgl. Brunner 2014, S. 63.

2. Lean Production - Die schlanke Produktion

Verschwendung in erster Linie, ist ein wichtiger Bestandteil des Konzepts auch das konsequente Ausschließen und Eliminieren von vorhandener Verschwendung und damit einhergehend das ständige Besserwerden.⁶ Diese Verbesserung erfolgt nicht sprunghaft, sondern in kleinen Schritten.⁷ Aus diesen Ansätzen sind zahlreiche Methoden entstanden, deren Anwendung das Schlankwerden und -bleiben sicherstellen soll. Ausgewählte Methoden werden in Abschnitt 2.3 dargestellt.⁸

Am Weg zur schlanken Produktion scheitern Unternehmen oft an der nötigen Konsequenz: Es zeigte sich, dass Methoden zwar initiiert werden, die konsequente Anwendung dieser jedoch vernachlässigt wird, oder dass Methoden nur in Teilbereichen der Unternehmen umgesetzt werden.⁹ Dabei beruht die Stärke des Konzepts gerade in der Konsequenz und Durchgängigkeit der Umsetzung. Nach dem Grundsatz

„Wer aufhört besser zu werden, hat aufgehört gut zu sein!“¹⁰

muss ständig weiter nach Verbesserung gesucht werden. Dies erfordert jedoch Durchhaltevermögen, Disziplin und die entsprechende Unternehmenskultur, in welcher ständige Verbesserung als Selbstverständlichkeit verankert wurde.¹¹ Oft wird auch davon gesprochen, dass der Lean-Gedanke gelebt werden muss, um mit dem Konzept der Lean Production auch tatsächlich einen Erfolg zu erzielen.

2.1. 7 Arten der Verschwendung

Tätigkeiten, welche nicht zum Wert eines Produktes beitragen, stellen für den Kunden keinen Nutzen dar. Daher ist der Kunde auch nicht bereit für diese Tätigkeiten zu bezahlen, was in weiterer Folge für das Unternehmen einen Verlust bedeutet. Ursache des Verlustes sind die eben genannten Tätigkeiten, weshalb diese im Sinne der Lean Production als Verschwendung gesehen werden und zu eliminieren sind.¹² Wie bereits oben angedeutet, behindern Verschwendungen auch die Flexibilität und Schnelligkeit von Unternehmensprozessen. Nach diesen Ansätzen wird zwischen 7 Arten der Verschwendung unterschieden:

1. **Überproduktion:** Überproduktion ist das Herstellen von Produkten ohne Auftrag oder gar, ohne dass diese benötigt werden. Das Resultat sind unnötige Lagerhaltungs- und Kapitalbindungskosten.

⁶vgl. REFA 2015, S. 17.

⁷vgl. Brunner 2014, S. 31.

⁸vgl. Kuhlang, Matyas u. a. 2012, S. 140.

⁹vgl. REFA 2015, S. 18; vgl. Becker 2008, S. 1 f., 42.

¹⁰Brunner 2014, S. 6.

¹¹vgl. ebd., S. 4 ff.; vgl. Becker 2008, S. 2, 42.

¹²vgl. Kuhlang, Matyas u. a. 2012, S. 135; vgl. Brunner 2014, S. 67.

2. Lean Production - Die schlanke Produktion

2. **Wartezeit:** Wartezeit kann bei Mitarbeitern, Maschinen und Anlagen sowie bei Material identifiziert werden. Mitarbeiter warten beispielsweise auf Nachschub aus dem vorigen Prozess, darauf, dass die Weitergabe der Produkte an den nächsten Prozess erfolgen kann oder gar auf das Material selbst. Wartezeiten können auch während der Laufzeit von Maschinen entstehen. Bei Maschinen wiederum entsteht Wartezeit während des Rüstens oder wenn diese nicht voll ausgelastet sind. Produkte oder Materialien, welche sich zwischen zwei Prozessen aufstauen, warten ebenfalls und gelten daher als Verschwendung.
3. **Umständliche Arbeitsabläufe und Prozesse:** Dabei geht es um die Organisation der Prozesse und Arbeitsabläufe sowie der Arbeitsplätze selbst. Nicht notwendige oder ineffiziente Prozessschritte aufgrund von mangelnder Gestaltung des Prozesses oder der Arbeitsplätze stellen Verschwendung dar. Ebenso ist ungeeignetes Werkzeug, das Suchen nach Werkzeug oder selbst eine ungünstige Anordnung von Material oder Werkzeugen als Verschwendung zu sehen. Auf die Optimierung von Arbeitsplätzen wird in Kapitel 5 eingegangen.
4. **Unnötige oder lange Transportwege:** Weite Wege zwischen den Arbeitsplätzen oder Lagern, Mehrfachtransporte zwischen zwei Arbeitsgängen und hohe Transporthäufigkeit im Allgemeinen stellt Verschwendung dar, ebenso wie Leertransporte.
5. **Zu hohe Bestände:** Hohe Bestände von Rohmaterialien, Halbfabrikaten oder Endprodukten führen zu hohen Durchlaufzeiten, zu veralteten Gütern sowie wiederum zu unnötigen Lagerhaltungs- und Kapitalbindungskosten.
6. **Fehler und Fehlerfolgen:** Nicht nur die Qualität des Produktes leidet unter Fehlern, sondern auch die Wirtschaftlichkeit des Prozesses aufgrund von notwendiger Nacharbeit, Reparatur oder gar Neuproduktion. Fehler sind daher ebenfalls als Verschwendung zu sehen. (Bei Motorola mussten beispielsweise im Jahr 1997 fünf bis zwanzig Prozent der jährlichen Erträge wieder ausgegeben werden, um minderwertige Qualität nachzubessern.¹³)
7. **Verschwendung am Produkt:** Durch aufwändige Konstruktionen oder schlechtes Design sowie durch zu viel Material oder eine höhere Qualität als notwendig entsteht ebenfalls Verschwendung. (Beispielsweise wird alleine durch die Konstruktion 80 bis 90 Prozent des späteren Produktwertes festgelegt.¹⁴¹⁵)

In manchen Darstellungen werden die 7 eben genannten Verschwendungsarten um eine achte ergänzt:

¹³ vgl. Dickmann 2009, S. 47.

¹⁴ vgl. ebd., S. 117.

¹⁵ vgl. REFA 2015, S. 15; vgl. Kuhlang, Matyas u. a. 2012, S. 136.

8. **Ungenutztes Kreativitätspotenzial:**¹⁶ Die Einbindung der Mitarbeiter in den gesamten Prozess ist ein wesentlicher Bestandteil der Lean-Ideologie.

Im Gegensatz zu verschwenderischen Tätigkeiten, werden jene Tätigkeiten, welche tatsächlich zur Werterhöhung des Produktes beitragen, als **wertschöpfende Tätigkeiten** bezeichnet. Tätigkeiten, welche zwar nicht wertschöpfend sind, jedoch notwendig, da sie die wertschöpfenden Tätigkeiten unterstützen, werden in weiterer Folge **unterstützende Nebentätigkeiten** genannt.¹⁷ Demnach lassen sich Tätigkeiten (und Prozesse) in wertschöpfende Tätigkeiten, unterstützende Nebentätigkeiten und Verschwendung einteilen. Abbildung 2.1 verdeutlicht diesen Zusammenhang.

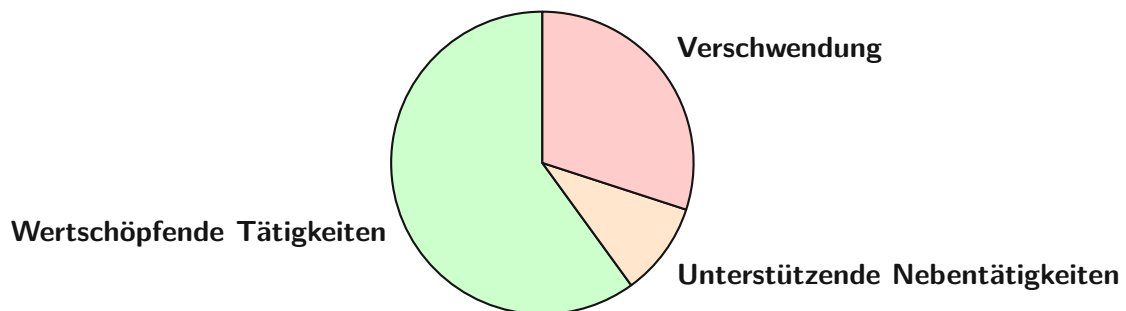


Abbildung 2.1.: Kategorisierung von Arbeitsinhalten¹⁸

Gemäß dem Global Productivity Report 2008 liegt in der Produktion der Anteil der tatsächlich wertschöpfenden Tätigkeiten im Durchschnitt bei lediglich 60 Prozent.¹⁹ Dies verdeutlicht umso mehr die Notwendigkeit, Verschwendung zu eliminieren.

2.2. Erfolgsfaktoren der Lean Production

Aus dem Umkehrschluss, dass Verschwendungen vermieden werden sollen, lassen sich die Erfolgsfaktoren einer schlanken Produktion ableiten. Abbildung 2.2 zeigt diese.

Oberste Priorität und Dach des Konzeptes bildet die **Produktion im Kundentakt**, also in jenem Tempo, in welchem der Kunde die fertigen Produkte abrufen. Produkte zu produzieren, ohne dass der Kunde diese benötigt, wäre eine Überproduktion von Ware und somit eine Verschwendung. Diese gilt es zu eliminieren, ebenso wie die anderen, oben genannten Verschwendungsarten. Gestützt wird das **Eliminieren von Verschwendung** durch die folgenden fünf Ansätze, den Säulen des Konzeptes:

¹⁶ vgl. Brunner 2014, S. 48.

¹⁷ vgl. Kuhlmann, Matyas u. a. 2012, S. 135.

¹⁸ vgl. Kuhlmann, Matyas u. a. 2012, S. 135.

¹⁹ vgl. REFA 2015, S. 14.

²⁰ vgl. Brunner 2014, S. 65.

2. Lean Production - Die schlanke Produktion

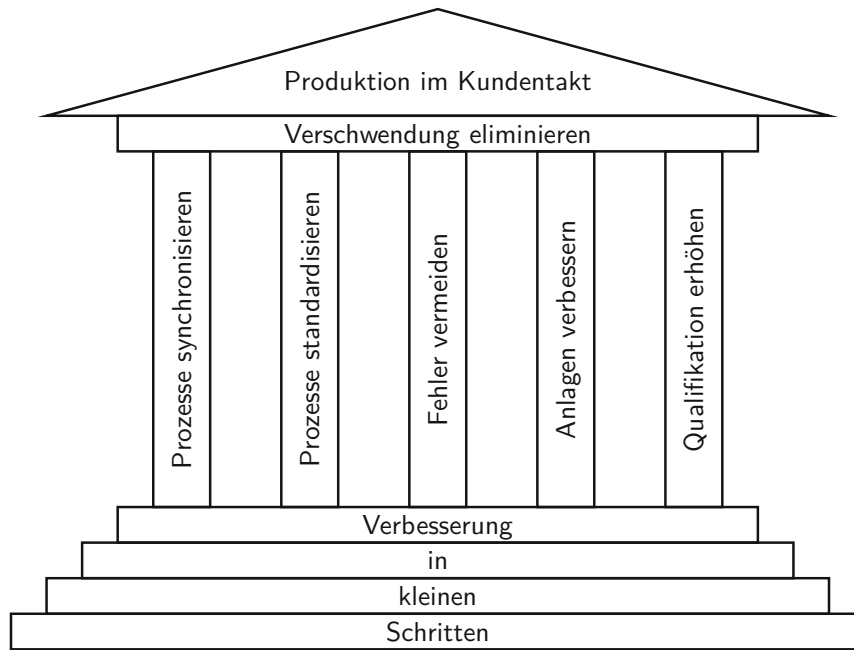


Abbildung 2.2.: Erfolgsfaktoren einer schlanke Produktion²⁰

- **Prozesse synchronisieren** (bedeutet das Eliminieren von Wartezeiten und Reduzieren von Beständen zwischen den Prozessen.)
- **Prozesse standardisieren** (zielt darauf ab, Abläufe und Prozesse so zu gestalten, dass diese immer gleich und damit effizient ablaufen und zum Beispiel ohne dass nach Werkzeug gesucht werden muss. Ebenfalls sind Standards zu setzen, um ein Rückfallen in alte Prozesse zu verhindern und auf die Standards aufbauend nach neuen Verbesserungen zu suchen.²¹)
- **Fehler vermeiden** (Neben der Kundenzufriedenheit ist das Vermeiden von Fehlern auch essentiell, um Störungen in den nachfolgenden Prozessen zu vermeiden. Durch notwendige Nacharbeiten oder Nachproduktion kann eine eingeschwungene Produktion leicht aus dem Rhythmus geraten.²²)
- **Anlagen verbessern** (zum Beispiel um Rüstzeiten auf ein Minimum zu reduzieren und so die Maschinenauslastung zu steigern.)
- **Qualifikation erhöhen** (zum Beispiel um Fehler zu vermeiden, aber auch um ein Verständnis für das vorliegende Konzept zu schaffen.)

Das Eliminieren der Verschwendung und die damit einhergehende Verbesserung erfolgt **in kleinen Schritten**. Radikale Veränderungen werden aus Angst oft abgelehnt. „Kleine

²¹ vgl. Erlach 2010, S. 12.

²² vgl. ebd., S. 179.

2. Lean Production - Die schlanke Produktion

Schritte hingegen entwaffnen die Angstabwehr in den Gehirnen der Mitarbeiter und stimulieren die Kreativität. [...] Einem kleinen Schritt folgen weitere und eines Tages kann auf diese Weise auch eine größere Veränderung gemeistert werden!“²³ Dieser Ansatz bildet das Fundament des Konzepts. *(Bei den eingeklammerten Kommentaren handelt es sich, falls nicht anders angegeben, um die eigene Interpretation des Modells.)*

Wie bereits angedeutet, gibt es für die Umsetzung dieser Ansätze eine Vielfalt an Methoden. Auf ausgewählte soll im folgenden Abschnitt 2.3 eingegangen werden.

Als Ergebnis der Lean Production ergibt sich ein kontinuierlicher und schlanker Materialfluss in der Produktion ohne Bestände und Zwischenlager. Ein solcher Fluss erhöht die Reaktionsfähigkeit und Flexibilität des Unternehmens, was, wie oben bereits besprochen, in der heutigen Zeit aufgrund der starken Marktschwankungen immer wichtiger wird.²⁴

2.3. Ausgewählte Methoden

Im Folgenden soll auf ausgewählte Methoden (oder Prinzipien) eingegangen werden, welche für die vorliegende Arbeit relevant sind. Die meisten dieser Methoden zielen darauf ab, Verschwendung zu eliminieren.

Wertstromanalyse und -design

Die Wertstromanalyse ist eine Methode zur Aufnahme und Veranschaulichung der Material- und Informationsflüsse zwischen den Produktionsprozessen eines Unternehmens. Dabei werden Verschwendungen aufgedeckt und können so im anschließenden Wertstromdesign gezielt eliminiert werden.²⁵ Auf die genaue Anwendung wird im folgenden Kapitel 3 eingegangen.

Kanban

Kanban ist eine Methode zur Steuerung der Produktion. Das Grundelement dieser Steuerung bilden Behälter und die sogenannten Kanban-Karten. In der Regel ist die Karte direkt am Behälter angebracht. Prozesse werden wie interne Lieferanten und Kunden gesehen, wobei, bei aufeinanderfolgenden Prozessen, der erste Prozess der Lieferant ist und der nachfolgende der Kunde. Dieser entnimmt aus einem Behälter mit Kanban-Karte die

²³Brunner 2014, S. 31 f.

²⁴vgl. ebd., S. 63 ff.

²⁵vgl. Dickmann 2009, S. 276 f.

2. Lean Production - Die schlanke Produktion

bei der Produktion benötigten Teile. Ist der Behälter leer, wird dieser, oder auch nur die Kanban-Karte an den vorgelagerten Prozess geschickt. Damit werden die benötigten Teile beim vorgelagerten Prozess bestellt und die Produktion dieser wird ausgelöst. Abbildung 2.3 veranschaulicht ein solchen Bestellvorgang.²⁶

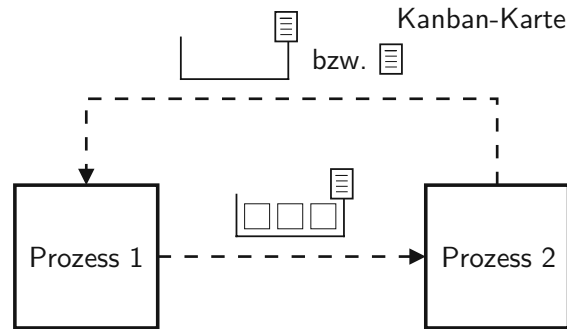


Abbildung 2.3.: Steuerung von aufeinanderfolgenden Prozessen mittels Kanban

Supermarkt

Ein Supermarkt liegt in der Produktion in der Regel zwischen zwei aufeinanderfolgenden Prozessen. Der dem Supermarkt nachgelagerte Prozess entnimmt dabei die zur Produktion benötigten Teile aus dem Supermarkt, während der vorgelagerte Prozess diesen wieder befüllt. Die Steuerung des vorgelagerten Prozesses erfolgt über Kanban. Die Zahl der umlaufenden Kanban-Karten legt dabei den maximalen Bestand des Supermarktes fest. Abbildung 2.4 veranschaulicht die entsprechenden Abläufe.²⁷

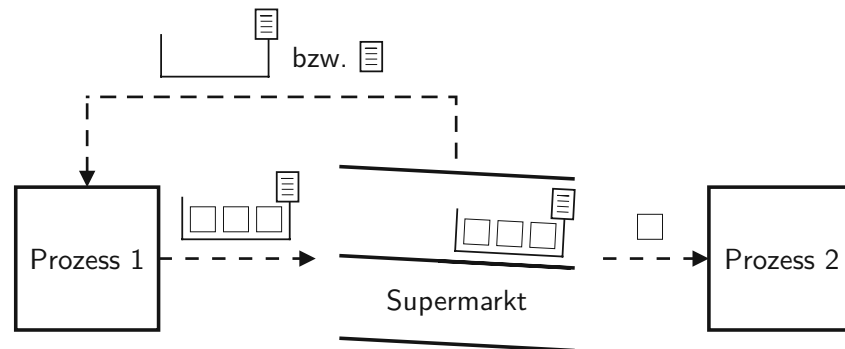


Abbildung 2.4.: Funktionsweise eines Supermarktes zwischen zwei Prozessen

²⁶ vgl. Dickmann 2009, S. 12.

²⁷ vgl. Erlach 2010, S. 199.

MTM

MTM steht für „Methods-Time Measurement“ und wird mit Methodenzeitmessung übersetzt. MTM zählt zu den Systemen vorbestimmter Zeiten. Die Methode dient sowohl zur Analyse als auch zum Design von manuellen Arbeitsabläufen. Dazu sind tabellarisch, in Form von Bausteinen, Zeiten für die verschiedensten menschlichen Bewegungen hinterlegt. Durch Synthese dieser Bausteine kann die Zeit einer Montagetätigkeit ermittelt werden. Während das Ziel der Analyse die Erfassung und Optimierung eines beobachteten Arbeitsablaufes ist, kann bei der Planung von Arbeitsabläufen bereits ohne einem existierenden Arbeitssystem die zu erwartende Montagezeit ermittelt werden. Der Methode zugrunde gelegt wird, dass die beanspruchte Zeit eines Arbeitsablaufes von der gewählten Methode zur Arbeitsausführung abhängt.²⁸

Während oben genannte Wertstromanalyse die Material- und Informationsflüsse zwischen Prozessen abbildet, eignet sich MTM sehr gut für die Analyse der Prozesse selbst. Die beiden Methoden ergänzen sich daher optimal und ermöglichen durch eine kombinierte Anwendung die Darstellung von Unternehmensprozessen sowohl auf Makro- als auch auf Mikroebene.²⁹

5-A-Methode

Das Suchen nach Werkzeug wurde gemäß Abschnitt 2.1 als Verschwendung identifiziert und ist daher weitgehend zu vermeiden. Die 5-A-Methode bietet ein Konzept, um Ordnung am Arbeitsplatz zu schaffen und diese beizubehalten. Folgende 5 Schritte sind dabei zu befolgen:

- **A**ussortieren
- **A**ufräumen
- **A**rbeitsplatz sauber halten
- **A**nordnung zur Regel machen
- **A**lle Schritte wiederholen

Durch **Aussortieren** werden eigentlich nicht benötigte Werkzeug vom Arbeitsplatz entfernt. Das **Aufräumen** zielt darauf ab, das als notwendig empfundene Werkzeug in eine gewisse Grundordnung zu bringen. Diese wird durch **Regeln** zum Standard gemacht und so langfristig abgesichert. Zur ständigen Verbesserung werden die Schritte laufend wiederholt.³⁰

²⁸ vgl. Kuhlmann, Matyas u. a. 2012, S. 291 ff.; vgl. REFA 2015, S. 241 ff.

²⁹ vgl. Kuhlmann und Sihm 2008, S. 10; vgl. Kuhlmann, Edtmayr und Sihm 2011, S. 26.

³⁰ vgl. REFA 2015, S. 47 f.

Kaizen

Das Wort „Kaizen“ entstammt dem Japanischen und steht für die „Verbesserung in kleinen Schritten“. Kaizen ist weniger als Methode zu sehen, sondern eher als Denkweise. Wie bereits oben angesprochen, muss das ständige Streben nach Verbesserung gelebt werden und so Teil der Unternehmenskultur werden. Als deutsches Synonym ist in der Literatur der kontinuierliche Verbesserungsprozess zu finden. Durch das Anstoßen von PDCA-Zyklen kann der kontinuierliche Verbesserungsprozess systematisch unterstützt werden. Abbildung 2.5 zeigt einen solchen Zyklus und das entsprechende Vorgehen.

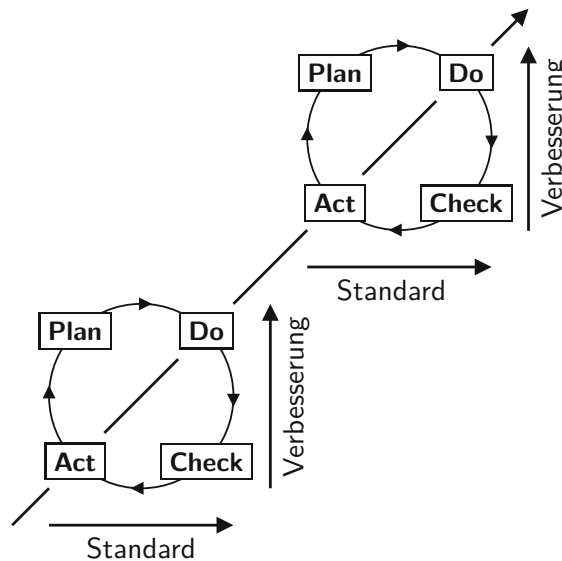


Abbildung 2.5.: Kontinuierliche Verbesserung mithilfe von PDCA-Zyklen³¹

Erster Schritt des Zyklus ist die Planung der Verbesserung (**plan**). Diese wird anschließend umgesetzt (**do**) und auf Wirksamkeit geprüft (**check**). Ist das gewünschte Ziel erreicht, muss, wie bereits oben angesprochen, die Verbesserung mit einem Standard abgesichert werden. Ist das gewünschte Ziel nicht erreicht, so ist die Verbesserung anzupassen und der Zyklus zu wiederholen (**act**). Auf einer funktionierenden Verbesserung aufbauend, kann dann der nächste PDCA-Zyklus gestartet werden. Im Geschäftsleben wären für die einzelnen Schritte zeitliche Fristen zu setzen.³²

Poka Yoke

Poka Yoke ist eine Methode, bei welcher durch gestalterische Maßnahmen am Produkt sowie an Werkzeugen und Maschinen Fehler vollständig ausgeschlossen werden. Abbildung 2.6 veranschaulicht die Wirkungsweise. Abgebildet ist eine Abdeckung, welche im

³¹ vgl. REFA 2015, S. 90.

³² vgl. Brunner 2014, S. 6 f., 11; vgl. REFA 2015, S. 86.

2. Lean Production - Die schlanke Produktion

Zuge des Montageprozesses aufgesteckt werden muss. Bei der linken Variante ist der Abstand zwischen den oberen und unteren Löchern identisch, weshalb die Abdeckung unter Umständen verkehrt angebracht werden kann. Bei der rechten Variante wurde nach dem Poka-Yoke-Prinzip der Abstand zwischen den oberen Löchern verkleinert. Damit ist ein verkehrtes Anbringen unmöglich und der Fehler gänzlich ausgeschlossen.³³



Abbildung 2.6.: Beispiel für das Poka-Yoke-Prinzip³⁴

³³ vgl. Brunner 2014, S. 49 f.

³⁴ vgl. Brunner 2014, S. 49.

3. Wertstromanalyse im Detail

Wie bereits oben besprochen, ist die Wertstromanalyse eine Methode zur Aufnahme und Veranschaulichung der Material- und Informationsflüsse in einem Unternehmen. Wichtig dabei ist die ganzheitliche Betrachtung: Vom Wareneingang bis zum Warenausgang, also von Rampe zu Rampe, sollen alle Tätigkeiten und Prozesse aufgezeigt werden, welche notwendig sind, um ein bestimmtes Produkt oder eine bestimmte Produktfamilie herzustellen. Unter Wertstrom wird daher in diesem Zusammenhang der „Fertigungsstrom vom Rohmaterial bis in die Hände des Kunden“¹ verstanden. Für das Skizzieren des Wertstromes gibt es verschiedene Symbole. Die für die vorliegende Arbeit relevanten Symbole sind in Abbildung 3.3 dargestellt. Die hier abgebildeten Symbole entstammen verschiedenen Quellen, wobei sich einige auch an einer Vorlage der Robert Bosch GmbH orientieren. Bei der Aufnahme wird empfohlen, beim Kunden anzufangen und dann rückwärts bis zum Lieferanten alle Prozesse und Tätigkeiten aufzunehmen.² Im Folgenden soll anhand eines Beispiels die Funktionsweise der Wertstromanalyse und die Bedeutung von einzelnen Symbolen erläutert werden.

3.1. Funktionsweise der Wertstromanalyse erläutert an einem Beispiel

Abbildung 3.1 zeigt den (teilweise vereinfachten) Wertstrom eines produzierenden Unternehmens. Dabei könnte es sich zum Beispiel um den Wertstrom eines Automobilzulieferers handeln.

Kunde des Automobilzulieferers ist ein OEM (Original Equipment Manufacturer, dt. Erstausrüster). Dessen Fabrik ist rechts oben eingezeichnet (*Sym. Kunde*). Beliefert wird die Fabrik des OEMs durch LKWs, welche die Ware vom Versand abholen und zum OEM bringen (*Kombination von Sym. Versand und Sym. Lieferung per LKW*). Zur Herstellung der Ware durchläuft diese mehrere Prozesse (*Sym. Prozess für jeden der einzelnen Prozesse*), wobei die Halbfabrikate in Lagern zwischen den Prozessen abgelegt werden (*Sym. Lager*). Die Bestände in den Zwischenlagern sind unterhalb dieser eingetragen. Gesteuert werden die einzelnen Prozesse durch tägliche Versand- bzw.

¹Rother und Shook 2011, S. 3.

²vgl. ebd., S. 3 f.; vgl. Dickmann 2009, S. 276 f.

3. Wertstromanalyse im Detail

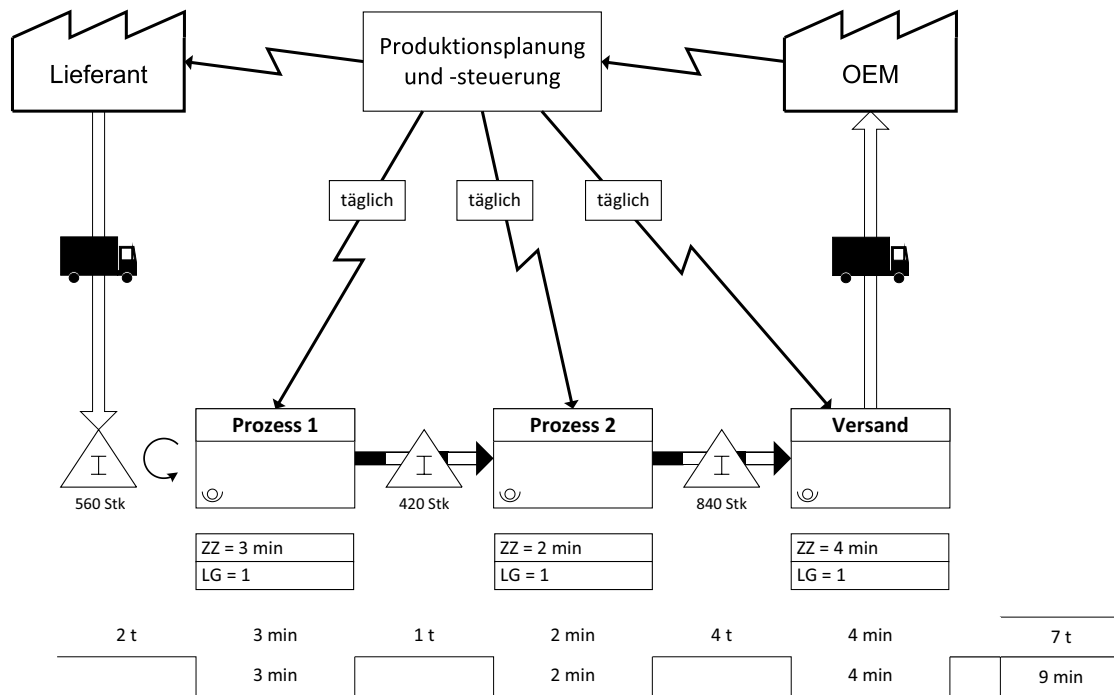


Abbildung 3.1.: Beispiel für einer Wertstromanalyse

Fertigungsaufträge der Produktionsplanung und -steuerung (*Sym. Elektronischer Informationsfluss, ausgehend von der Produktionsplanung und -steuerung*). Ungeachtet davon, ob der nachfolgende Prozess die Halbfabrikate tatsächlich benötigt, wird an den einzelnen Prozessen nach den Aufträgen der Produktionsplanung und -steuerung gefertigt und die Ware in den bereits erwähnten Zwischenlager abgelegt. Das Material wird also über die Zwischenlager von einem Prozess zum nächsten geschoben. Dieses Vorgehen wird Push-Prinzip genannt (*Sym. Material-Push*)³. Ganz am Anfang der Prozesskette befindet sich ebenfalls ein Lager: Aus diesem entnimmt der erste Prozess die Rohmaterialien (*Sym. Physisches Ziehen*). Die Belieferung des Lagers erfolgt durch den Lieferanten des Automobilzulieferers (*Sym. Lieferant*). Neben der Steuerung der Prozesse, nimmt in diesem Beispiel die Produktionsplanung und -steuerung auch die Bestellungen des OEMs entgegen und fordert Rohmaterial beim Lieferanten an. Unterhalb der Prozesse befinden sich die Datenkästen der Prozesse. Hier können verschiedenste Informationen eingetragen werden. Im vorliegenden Beispiel wurden Zykluszeiten und Losgrößen notiert. Die Zykluszeit ist jene Zeit, welche der Mitarbeiter benötigt, um den Prozesszyklus am nächsten Teil wieder von vorne zu beginnen.⁴ Unterhalb der Datenkästen befindet sich die Zeitlinie. Hier wird gemäß Abbildung 3.3 am unteren Niveau die Wertschöpfungszeit und am oberen die Durchlaufzeit eingetragen. Die Durchlaufzeit ist jene Zeit, welche ein Teil benötigt, um einen Prozess oder einen Wertstrom kom-

³vgl. Rother und Shook 2011, S. 25.

⁴vgl. ebd., S. 19.

3. Wertstromanalyse im Detail

plett zu durchlaufen.⁵ Die Wertschöpfungszeit ist dahingegen nur jener Zeitanteil, in welchem dem Teil gemäß Abschnitt 2.1 tatsächlich Wert hinzugefügt wird. Abbildung 3.2 veranschaulicht den Zusammenhang zwischen Zykluszeit, Wertschöpfungszeit und Durchlaufzeit.

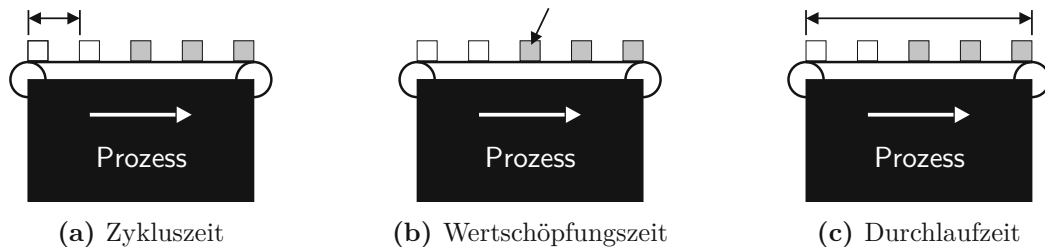


Abbildung 3.2.: Zusammenhang zwischen Zykluszeit, Wertschöpfungszeit und Durchlaufzeit⁶

In dem vorliegenden Beispiel sind in den einzelnen Prozessen die Zyklus-, Durchlauf- und Wertschöpfungszeiten identisch. Dies bedeutet einerseits, dass sich in den Prozessen immer nur ein Teil befindet, andererseits, dass innerhalb der Prozesse keine Verschwendung stattfindet und jede Tätigkeit wertschöpfend ist. Da zweit genanntes unwahrscheinlich ist, müsste in einer genauen Analyse der Prozesse festgestellt werden, welche der Tätigkeiten gemäß Abschnitt 2.1 wertschöpfend bzw. unterstützend sind und welche eigentlich eine Verschwendung darstellen. Letztere wären von der Wertschöpfungszeit abzuziehen. Die unterhalb der Lager eingetragenen Durchlaufzeiten entsprechen den Reichweiten der Lager. Die Reichweite wird durch Division des Bestandes mit dem Tagesbedarf des nachfolgenden Prozesses errechnet.⁷ Ein Arbeitstag besteht im vorliegenden Beispiel aus zwei Schichten zu je 7 Stunden. Am Ende der Linie stehen die Summen der Zeiten. Demzufolge benötigt die Ware 7 Tage um von der Wareneingangsrampe zur Warenausgangsrampe zu gelangen. Wertschöpfend gearbeitet werden an dem Produkt jedoch lediglich 9 Minuten.

Die Zeitlinie zeigt nun auf einen Blick, wo in der Produktion Verbesserungspotenzial besteht. Hohe Bestände wurden bereits in Abschnitt 2.1 als Verschwendung definiert und deuten auf eine Verstopfung im Produktionsfluss. Der vorgelagerte Prozess ist dabei schneller als der nachfolgende, weshalb sich in weiterer Folge zwischen den beiden Prozessen Material anstaut. Das Synchronisieren von Prozessen ist gemäß Abschnitt 2.2 einer der Erfolgsfaktoren der Lean Production. Die Summe der Wertschöpfungszeiten ergibt, wie schnell ein Teil theoretisch und nach Beseitigung aller Verschwendungen produziert werden könnte. Die Summe der Durchlaufzeiten zeigt hingegen, wie weit die Produktion in ihrem aktuellen Zustand davon entfernt ist. Das Verhältnis zwischen den beiden Summen wird auch als Flussgrad bezeichnet und ist ein Maß für die Dynamik der Produktion. Grundsätzlich sollte der Grad möglichst hoch sein, jedoch ist der optimale

⁵ vgl. Rother und Shook 2011, S. 19.

⁶ vgl. Rother und Shook 2011, S. 19.

⁷ vgl. Erlach 2010, S. 84.

⁸ vgl. Microsoft Visio 2016; vgl. Günthner u. a. 2013, S. 216, 219; vgl. Rother und Shook 2011, S. 29.

3. Wertstromanalyse im Detail

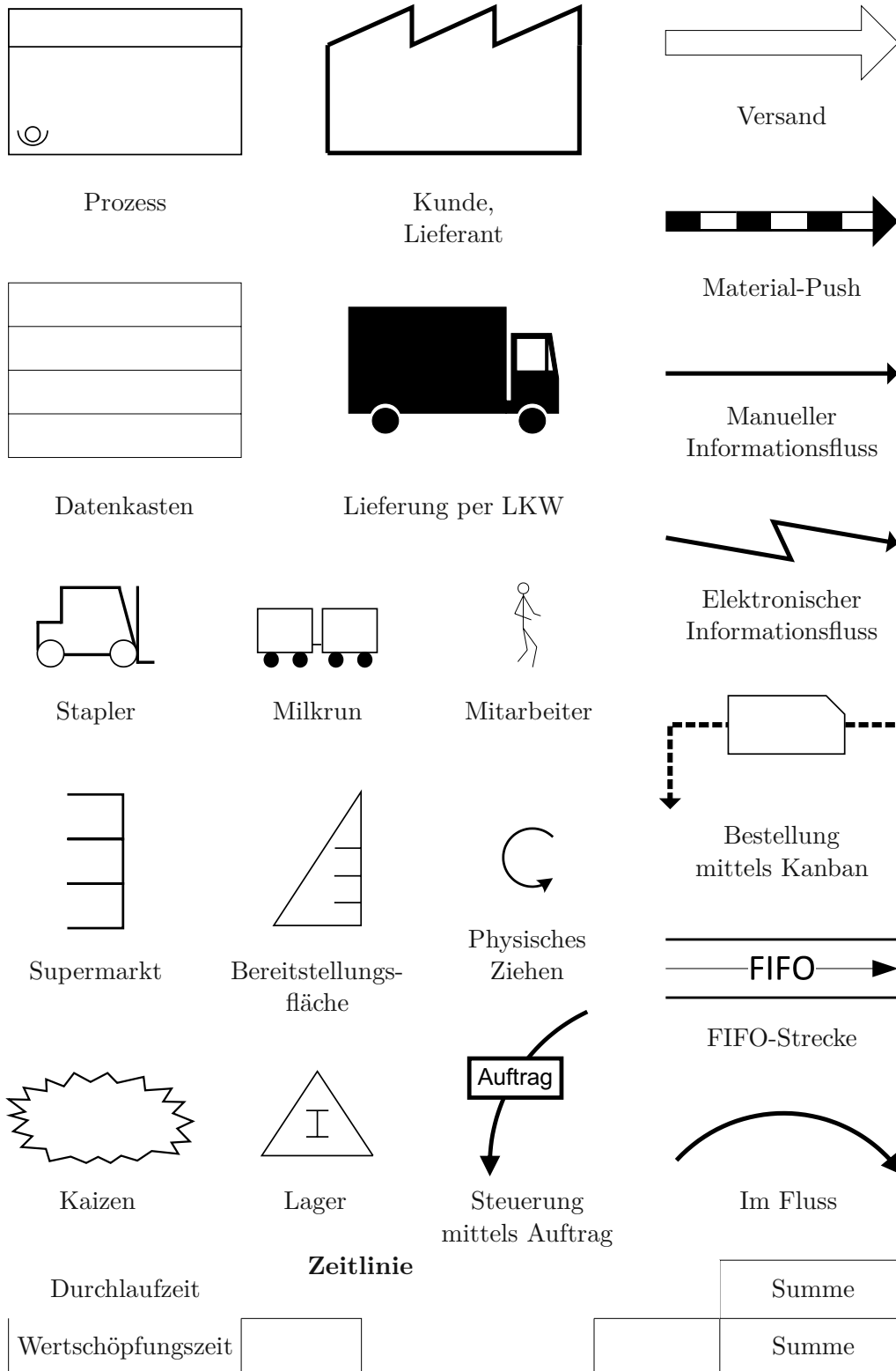


Abbildung 3.3.: Wertstromsymbole (Auszug)⁸

3. Wertstromanalyse im Detail

Grad stark produktabhängig. Auch ist aufgrund von eventuell erforderlichen Losgrößen oder Sicherheitsbeständen der Annäherung der Durchlaufzeit an die Wertschöpfungszeit Grenzen gesetzt. Ebenso ist der Bestand im Rohmateriallager an den Lieferrhythmus des Lieferanten anzupassen.⁹

3.2. Bedeutung weiterer Wertstromsymbole

Im Folgenden soll auf die Bedeutung der noch nicht besprochenen Symbole eingegangen werden.

Innerhalb eines Werkes erfolgt der Versand von Material in der Regel nicht durch einen LKW. Daher wurde die Standardsymbolik um die Symbole **Stapler**, **Milkrun** und **Mitarbeiter** erweitert. Dabei handelt es sich um Symbole aus der Vorlage der Robert Bosch GmbH. Als **Milkrun** wird die Verteilung von Material nach einem festen Fahrplan bezeichnet. In der Literatur ist diese Vorgehensweise auch unter Routenzug zu finden.¹⁰ Das Symbol **Mitarbeiter** wird verwendet, wenn der Mitarbeiter einer Montagelinie selber Material von einem Lager oder Supermarkt holen muss oder die fertigen Produkte nach Abschluss des Prozesses an einen bestimmten Ort bringt.

Der **Supermarkt** und die **Bestellung mittels Kanban** wurden in Abschnitt 2.3 bereits als Methoden der Lean Production beschrieben. Wie ebenfalls besprochen, erfolgt die Ansteuerung des dem Supermarkt vorgelagerten Prozesses oft durch Kanban. Die in Abbildung 2.4 veranschaulichten Abläufe können mit den Symbolen der Wertstromanalyse gemäß Abbildung 3.4 dargestellt werden. Der nachgelagerte Prozess zieht dabei aus dem Supermarkt, und somit, durch Kanban gesteuert, auch vom vorgelagerten Prozess. Im Gegensatz zum oben beschriebenen Push-Prinzip, wird diese Art der Steuerung aufgrund des Ziehens Pull-Steuerung genannt. Der große Vorteil liegt darin, dass die Prozesse nicht wie oben beschrieben nach einem prognostizierten Bedarf der Produktionsplanung und -steuerung arbeiten, sondern sich an dem tatsächlichen Verbrauch des nachfolgenden Prozesses orientieren.¹¹

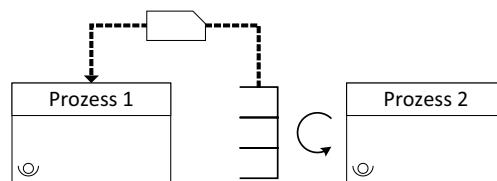


Abbildung 3.4.: Darstellung eines Supermarktes mit den Symbolen der Wertstromanalyse¹²

⁹ vgl. Erlach 2010, S. 104 f., 108.

¹⁰ vgl. Günthner u. a. 2013, S. 222.

¹¹ vgl. ebd., S. 210.

3. Wertstromanalyse im Detail

Das Symbol **Bereitstellungsfläche** entstammt ebenfalls der Vorlage der Robert Bosch GmbH. Bereitstellungsflächen werden zum Beispiel an Kommissionierplätzen angelegt. Wägen mit kommissioniertem Material werden dort zur Abholung durch den Milkrun oder den Mitarbeiter der Montagelinie bereitgestellt.

Kaizen wurde ebenfalls bereits als Methode der Lean Production beschrieben. Dort, wo Verbesserung im Wertstrom notwendig ist, wird mithilfe des Blitzes und einer eingetragenen Beschreibung die notwendige Verbesserung festgehalten.

Das Symbol **Steuerung mittels Auftrag** dient dem unabhängigen Steuern von Prozessen mittels Einzelaufträgen. „Mindestens ein Prozess in der Kette erhält dabei seine Aufträge über eine zentrale Instanz, die die Kundenaufträge an die internen Prozesse weitergibt.“¹³ In der vorliegenden Arbeit wurde dieses Symbol verwendet, um im Wertstrom auf Linienebene jenen Prozess zu kennzeichnen, an welchem die Aufträge eingehen.

Während bei der Kanban-Steuerung ein Prozess durch den nachgelagerten Prozess gesteuert wird, kann mittels einer **FIFO-Strecke** oder „im Fluss“ ein Prozess durch seinen vorgelagerten Prozess gesteuert werden. Im Gegensatz zum oben beschriebenen Material-Push, ist der Bestand in der FIFO-Strecke auf einige wenige Aufträge begrenzt. Ebenfalls erhält zumindest der zweite Prozess in der Kette nicht mehr seine Aufträge von der Produktionsplanung und -steuerung, sondern eben durch den vorgelagerten Prozess. Die FIFO-Strecke dient nicht wie ein Lager, sondern wie ein Puffer, zum Beispiel um Unregelmäßigkeiten auszugleichen. Die Reihenfolge, in welcher die Aufträge am nächsten Prozess ankommen, ist streng einzuhalten.¹⁴

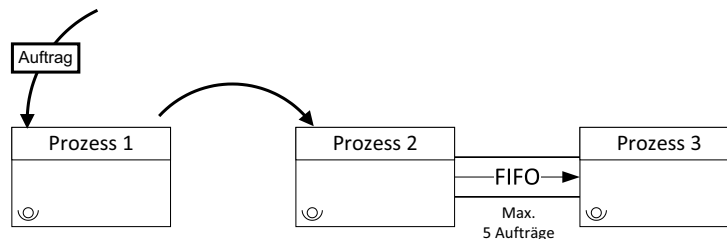


Abbildung 3.5.: „Steuerung mittels Auftrag“, „im Fluss“ und FIFO-Strecke

Sind zwei Prozesse **im Fluss**, besteht eine direkte Kopplung zwischen den Prozessen: Die vom ersteren Prozess weitergegebenen Aufträge werden am zweiten direkt bearbeitet. Zwischen den Prozessen darf dabei kein Bestand aufgebaut werden, weshalb der erste Prozess auch nicht weiterarbeiten darf, wenn der zweite stockt. Die durch „im Fluss“ gekoppelten Einzelprozesse könnten im Wertstrom auch als ein einziger Prozess eingezeichnet werden, jedoch bietet sich die vorliegende Schreibweise an, um zum Beispiel

¹²vgl. Rother und Shook 2011, S. 45.

¹³Günthner u. a. 2013, S. 219.

¹⁴vgl. ebd., S. 217.

3. Wertstromanalyse im Detail

einen Prozess in einzelne Schritte aufzubrechen, um diese so separat planen zu können. Die Abhandlung der einzelnen Prozessschritte kann durch einen Mitarbeiter oder durch verschiedene Mitarbeiter erfolgen.¹⁵ In der vorliegenden Arbeit wurde „im Fluss“ verwendet, um den Gesamtprozess der Linie in einzelne Teilprozesse zu unterteilen. Abbildung 3.5 zeigt die Verwendung von „Steuerung mittels Auftrag“, „im Fluss“ und der FIFO-Strecke.

¹⁵vgl. Günthner u. a. 2013, S. 216.

4. Designansätze für die Kundenauftragsfertigung

Im Folgenden soll erst im Allgemeinen auf die 8 Leitlinien zur Konzeption eines schlanken Wertstroms eingegangen werden und danach auf die Eigenschaften einer Kundenauftragsfertigung und wie sich die Leitlinien auf diese anwenden lassen.

4.1. 8 Leitlinien zur Konzeption eines schlanken Wertstroms¹

Leitlinie Nr. 1: Orientierung am Kundentakt

Wie bereits in Abschnitt 2.2 besprochen, ist die Produktion und alle damit verbundenen Montagetätigkeiten an den tatsächlichen Bedarf des Kunden auszurichten.

Leitlinie Nr. 2: Kontinuierlicher Fluss

Aufeinanderfolgende Prozesse sollten möglichst im Fluss arbeiten und ohne dass zwischen den Prozessen Bestände aufgebaut werden. Damit die kontinuierliche Fließfertigung funktioniert, müssen die Prozesse eine gewisse Stabilität aufweisen und entsprechend aufeinander abgestimmt sein. Kleine Unregelmäßigkeiten zwischen den Prozessen können gemäß Abschnitt 3 mittels FIFO-Strecken ausgeglichen werden. Ist eine kontinuierliche Fließfertigung gar nicht möglich, kann die Kopplung der Prozess auch mittels Kanban und Supermarkt erfolgen (siehe Leitlinie Nr. 3).

Leitlinie Nr. 3: Pull-System (Supermarkt)

Oftmals ist eine kontinuierliche Fließfertigung nicht möglich. Dies kann zum Beispiel sein, wenn zwei aufeinanderfolgende Prozesse stark unterschiedliche Zykluszeiten haben, zwei Prozesse örtlich weit voneinander entfernt sind oder wenn ein Prozess eine hohe Unzuverlässigkeit aufweist und deshalb den Fluss stören würde. Auf keinen Fall sollte in

¹vgl. Kuhlant, Matyas u. a. 2012, S. 144 ff.

4. Designansätze für die Kundenauftragsfertigung

diesen Fällen eine unabhängige Ansteuerung der Prozesse über die Produktionsplanung und -steuerung erfolgen. Stattdessen ist ein Pull-System mit Supermarkt und Kanban einzurichten. Dies gewährleistet, dass die aufeinanderfolgenden Prozesse trotzdem aufeinander abgestimmt sind. Alternativ kann auch eine FIFO-Strecke eingerichtet werden, wobei der nachfolgende Prozess so geregelt ist, dass dieser nur arbeitet, wenn sich die FIFO-Strecke leert.

Leitlinie Nr. 4: Schrittmacherprozess (Ein-Punkt-Steuerung)

Die Einsteuerung der Kundenaufträge sollte generell nur an einem Punkt der Produktion erfolgen. Dadurch werden sich widersprechende Steueranweisungen und daraus resultierende Bestände oder Fehlmengen vermieden. Der Prozess, an welchem der Auftrag eingesteuert wird, wird als Schrittmacherprozess bezeichnet. Alle anderen, flussaufwärts und flussabwärts liegenden Prozesse haben sich an diesem zu orientieren. Direkt vor dem Schrittmacherprozess wird in der Regel ein Supermarkt eingerichtet, während flussabwärts keine Supermärkte mehr liegen können, sondern die Produktion fließen muss. Durch einen flussabwärts liegenden Supermarkt würde die Zuordnung zum Kundenauftrag verloren gehen.²

Leitlinie Nr. 5: Flexibilität durch Ausgleich (des Produktionsmixes)

Eine Produktion in großen Losen erhöht die Bestände in den Supermärkten zwischen den Prozessen und im Fertigteillager am Ende der Produktionskette. Ebenfalls fällt es schwieriger, schnell auf Kundenwünsche zu reagieren, da das aktuell in Produktion befindliche Los immer erst fertiggestellt werden muss, bevor ein neues begonnen wird. Bei großen Losen dauert dies dann deutlich länger als bei kleinen. Daher wird empfohlen in kleinen Losen zu produzieren und dabei die Produktvarianten möglichst gut zu durchmischen. Auch wird durch eine Durchmischung die Produktion gleichmäßiger belastet: Wenn zum Beispiel am Schrittmacherprozess die Bearbeitungszeiten der verschiedenen Varianten nicht exakt identisch sind, sondern um einen Mittelwert schwanken, wird dies durch den Produktionsmix ausgeglichen. Gleiches gilt für die im Fluss nachfolgenden Prozesse. Abbildung 4.1 veranschaulicht die empfohlene Vorgehensweise.³

Leitlinie Nr. 6: Freigabe von kleinen, gleichmäßigen Arbeitsportionen

Ziel ist durch Freigabe der Aufträge in gleichen Zeitabständen und mit ähnlichem Arbeitsumfang die Produktion zum Fließen zu bringen. Werden Aufträge in zu großen

²vgl. Erlach 2010, S. 222.

³vgl. ebd., S. 237 f.

4. Designansätze für die Kundenauftragsfertigung

Zeiteinheiten eingesteuert, verteilt sich das Arbeitsvolumen ungleichmäßig über die Arbeitszeit, wodurch Maschinen, Mitarbeiter und Supermärkte am Anfang der Einheit zusätzlich belastet werden. Daher sind die Zeitabstände und Freigabeportionen möglichst klein zu wählen. Nach Ablauf einer Freigabeeinheit lässt sich am Ende der Produktionskette prüfen, ob die Produktion noch einwandfrei abläuft und die Produkte nach Plan durch die Produktionskette kommen. Bei kleinen Freigabeeinheiten kann diese Überprüfung in kürzeren Abständen erfolgen, wodurch Probleme in der Produktion schnell aufgedeckt werden. Auch aus diesem Grund ist die Freigabeeinheit möglichst klein anzusetzen. Abbildung 4.1 veranschaulicht die Freigabeeinheit.⁴

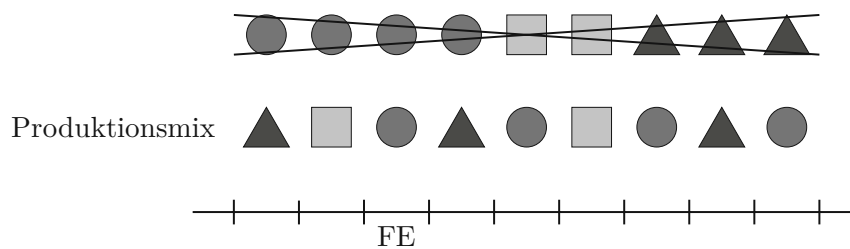


Abbildung 4.1.: Produktionsmix und Freigabeeinheit (FE)⁵

Leitlinie Nr. 7: Verbesserung von Engpässen

Die Prozesse einer Produktion werden meist unterschiedliche Kapazitäten aufweisen. Der Prozess mit der geringsten Kapazität stellt den Engpass dar. Ist dieser Prozess zugleich der Schrittmacherprozess, gibt es keine Probleme. Ist dies nicht der Fall, muss, damit es am Engpass zu keiner Stauung kommt, die Auftragsfreigabe am Schrittmacherprozess mit dem Engpassprozess abgestimmt werden. Dies kann zum Beispiel durch ein Freigabesignal des Engpassprozesses erfolgen, welches die Freigabe von neuen Aufträgen am Schrittmacherprozess bestätigt.⁶

Leitlinie Nr. 8: Trennung und Abstimmung von Arbeitsinhalten

Gemäß Abschnitt 2.1 werden Arbeitsinhalte in wertschöpfende Tätigkeiten, unterstützende Tätigkeiten sowie Verschwendung eingeteilt. Logistische Tätigkeiten, also zum Beispiel die Materialversorgung an den Montageplätzen, fällt unter die unterstützenden Tätigkeiten. Grundsätzlich sollte eine personelle sowie räumliche Trennung von wertschöpfenden und logistischen Tätigkeiten angestrebt werden. Dadurch können sich die

⁴vgl. Erlach 2010, S. 231 f.

⁵vgl. Erlach 2010, S. 238 f.

⁶vgl. ebd., S. 249 f.

4. Designansätze für die Kundenauftragsfertigung

Monteure voll und ganz auf die wertschöpfende Veränderung des Produktes konzentrieren, während die logistischen Mitarbeiter sicher stellen, dass immer ausreichend Material bereit liegt. Ebenfalls erlaubt die Trennung zwischen produzierenden und logistischen Tätigkeiten eine voneinander unabhängige Gestaltung und Optimierung der entsprechenden Arbeitsinhalte. Ebenfalls Ziel der Abstimmung sollte es sein, Mitarbeiter während der Laufzeit von Maschinen auszulasten. Anstatt die Laufzeit als Wartezeit einzuplanen, kann diese zum Beispiel zum Bedienen von anderen Maschinen genutzt werden.⁷

Werden obige Leitlinien auf den in Abbildung 3.1 dargestellten Wertstrom angewandt, könnte das Design für diesen gemäß Abbildung 4.2 aussehen. In einem ersten Schritt werden die Lager durch Supermärkte ersetzt. Dies ist die einfachste Herangehensweise, da die Prozesse dabei nicht zu 100 Prozent aufeinander abgestimmt sein müssen. Die Einsteuerung der Aufträge erfolgt direkt am Versand, welcher die zu versendenden Produkte aus dem letzten Supermarkt, dem Fertigwarensupermarkt, entnimmt. Dies entspricht dem Make-to-Stock-Prinzip.⁸

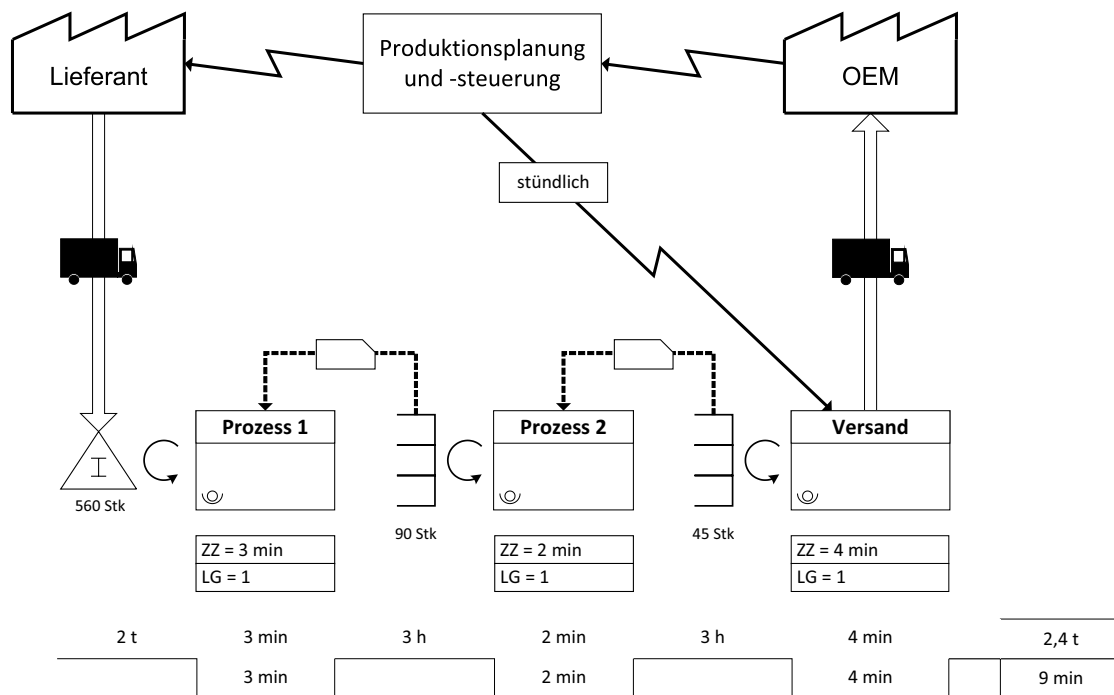


Abbildung 4.2.: Erster Schritt zum schlanken Wertstrom

Der maximale Bestand eines Supermarktes wird gemäß Abschnitt 2.3 über die Anzahl der im Umlauf befindlichen Kanban-Karten festgelegt. Damit der Kreislauf funktioniert, wird jedoch auch eine gewisse Mindestanzahl an Kanban-Karten benötigt, welche zwischen den beiden Prozessen zirkulieren. Diese Anzahl setzt sich aus Karten für den

⁷ vgl. Erlach 2010, S. 290 f.

⁸ vgl. ebd., S. 226.

4. Designansätze für die Kundenauftragsfertigung

Umlauf-, Puffer- und Sicherheitsbestand des Supermarktes zusammen. Der Umlauf- sowie Pufferbestand decken den durchschnittlichen Bedarf des nachfolgenden Prozesses sowie die dortige Bedarfsschwankung während der Nachproduktion der angeforderten Waren. Der Sicherheitsbestand gleicht eventuelle Störungen am eigentlichen Prozess aus. Im vorliegenden Beispiel wurde an den Supermärkten symbolisch eine Reichweite von 3 Stunden eingetragen. Dies bedeutet, dass bei einer Störung die nachfolgenden Prozesse noch 3 Stunden weiter arbeiten können, ohne dass der Supermarkt leer wird.⁹

4.2. Anwendung auf die Kundenauftragsfertigung

Wie bereits in der Einleitung angedeutet, sind Unternehmen immer mehr gezwungen auf spezifische Kundenwünsche einzugehen, um am heutigen Markt überleben zu können. Dieser Umstand führt zu einer hohen Variantenvielfalt der Produkte.¹⁰ „Unter einer Variante versteht man ein Zwischen- oder Enderzeugnis, das durch die Änderung eines oder mehrerer Konstruktionsparameter entstanden ist.“¹¹ Sind die kundenspezifischen Parameter für die Fertigung relevant, spricht man von einer Kundenauftragsfertigung.

Der Punkt, an welchem der Kundenauftrag eingesteuert wird, ist der Schrittmacherprozess und wird im vorliegenden Zusammenhang auch Kundenentkopplungspunkt genannt. Während vor dem Kundenentkopplungspunkt kundenanonym produziert wird, wird die Produktion danach kundenauftragsbezogen abgewickelt. Daher können Erzeugnisse mit kundenspezifische Eigenschaften nur am Schrittmacherprozess selber oder flussabwärts produziert werden. Für die Anordnung des Kundenentkopplungspunktes gilt damit in weiterer Folge, dass dieser flussabwärts am ersten Prozess anzuordnen ist, an welchem kundenauftragspezifisch gearbeitet werden muss. Dabei wird zwischen dem **Make-to-Order-Prinzip** und dem **Assembly-to-Order-Prinzip** unterschieden. Beim **Assembly-to-Order-Prinzip** erfolgt die Teilefertigung kundenanonym und die Montage, welche in der Regel am Ende der Produktionskette liegt, auftragsbezogen. Daher spricht man bei diesem Prinzip auch von einer auftragsbezogenen Montage. Muss die Fertigung von Teilen ebenfalls kundenspezifisch erfolgen, ist das **Make-to-Order-Prinzip** anzuwenden. Dabei erfolgt sowohl die Teilefertigung als auch die Montage kundenauftragsbezogen. Dieses Prinzip wird deshalb auch auftragsbezogene Produktion genannt. Muss sogar die Beschaffung und Konstruktion auftragsbezogen erfolgen, spricht man vom **Engineer-to-Order-Prinzip** oder der reinen Kundenfertigung. Beim oben beschriebenen **Make-to-Stock-Prinzip** werden die Kundenaufträge am Versand eingesteuert. Zu diesem Zeitpunkt sind die Produkte bereits fertiggestellt und lassen in der Regel keine Kundenmodifikation mehr zu. Deshalb eignet sich dieses Prinzip auch nur für eine kundenanonyme Produktion von Serienprodukten und nicht für die Kundenauftragsfertigung. Abbildung 4.3 veranschaulicht die hier besprochenen Produktionstypen.¹²

⁹ vgl. Erlach 2010, S. 199.

¹⁰ vgl. Wiendahl 2014, S. 148.

¹¹ Ebd., S. 149.

¹² vgl. Erlach 2010, S. 221 ff.; vgl. Wiendahl, Reichardt und Nyhuis 2009, S. 259; vgl. Wiendahl 2014,

4. Designansätze für die Kundenauftragsfertigung

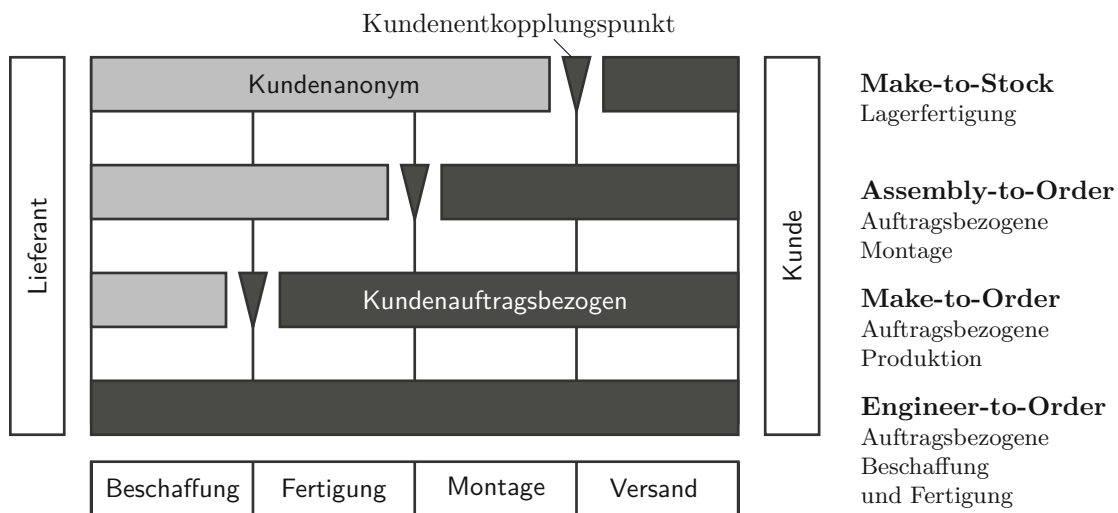


Abbildung 4.3.: Produktionstypen¹³

Im folgenden soll der in Abbildung 4.2 dargestellte Wertstrom modifiziert werden, um den Anforderungen einer Kundenauftragsfertigung gerecht zu werden. „Prozess 1“ soll dabei einer Teilefertigung und „Prozess 2“ der Montage entsprechen. Ist eine auftragsbezogene Montage ausreichend, so kann das Assembly-to-Order-Prinzip herangezogen werden und die Einsteuerung des Auftrages bei der Montage erfolgen.¹⁴ Gemäß Leitlinie Nr. 4 ist nach dem Schrittmacherprozess kein Supermarkt mehr erlaubt, weshalb die nachfolgenden Prozesse „im Fluss“ arbeiten müssen oder alternativ durch eine FIFO-Strecke gekoppelt werden können. Da ein Versandprozess in der Regel eher instabil ist und unter Umständen sich an den Abholrhythmus der Spedition richten muss, wird eine kontinuierliche Fließfertigung kaum umsetzbar sein. Daher soll zwischen Montage und Versand eine FIFO-Strecke eingesetzt werden, welche den schwankenden Abruf des Versandprozesses abfängt. Abbildung 4.4 zeigt das entsprechende Wertstromdesign.¹⁵

Mit einer Zykluszeit von 4 Minuten ist der Versandprozess als Engpass der Produktionskette zu sehen. Die Zykluszeit an der Montage ist mit 2 Minuten nur halb so groß, weshalb bei ausreichendem Auftragsvorrat die FIFO-Strecke sehr schnell voll sein wird. Gemäß Leitlinie Nr. 7 ist die Auftragsfreigabe am Schrittmacherprozess dem Engpassprozess anzupassen. Im vorliegenden Beispiel muss also die Auftragsfreigabe an der Montage dem Versandprozess angepasst werden. Bei einer stündlichen Auftragsfreigabe könnten daher an der Montage maximal 15 Aufträge freigegeben werden. Dies entspricht genau einer Stunde Arbeit am Versand. Alternativ könnte auch ein zweiter Versandprozess eingerichtet und die Hälfte der Aufträge auf diesen umgeleitet werden. Erlaubt es der Prozess, könnte zum Beispiel auch ein Teil des Verpackens in die Montage verlegt werden.

S. 147 f.

¹³ vgl. Wiendahl 2014, S. 148; vgl. Wiendahl, Reichardt und Nyhuis 2009, S. 259.

¹⁴ vgl. Wiendahl 2014, S. 147.

¹⁵ vgl. Erlach 2010, S. 224 f.

4. Designansätze für die Kundenauftragsfertigung

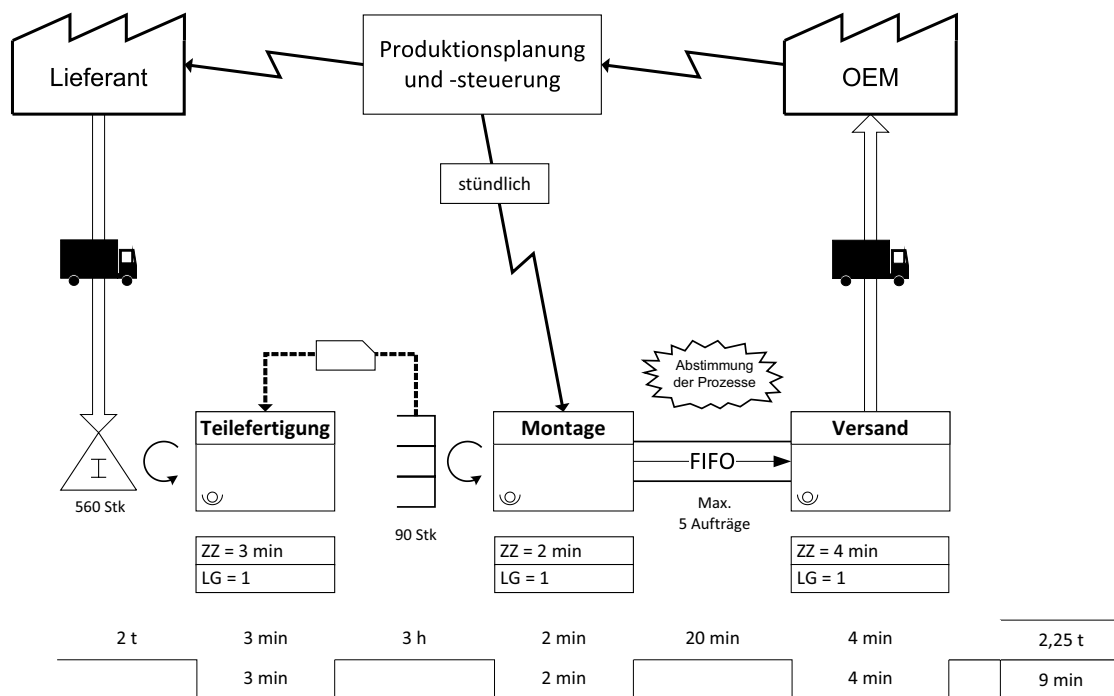


Abbildung 4.4.: Wertstromdesign nach dem Assembly-to-Order-Prinzip

Angenommen es ließe sich eine Minute Arbeit vom Versand in die Montage verschieben, wären mit je 3 Minuten die beiden Prozesse perfekt aufeinander abgestimmt. Im Folgenden soll mit dieser Lösung weiter gearbeitet werden. Gemäß Abschnitt 3.2 kann im Wertstromdesign ein solcher Verbesserungsansatz mithilfe des Kaizen-Blitzes festgehalten werden.

Soll nun auch die Teilefertigung auftragsbezogen erfolgen, ist das Make-to-Order-Prinzip heranzuziehen und die Einsteuerung der Aufträge an der Teilefertigung anzusetzen. Um kleine Unregelmäßigkeiten zwischen der Teilefertigung und der Montage auszugleichen, soll auch hier eine FIFO-Strecke eingesetzt werden. Abbildung 4.5 zeigt das entsprechende Wertstromdesign für eine Make-to-Order-Fertigung.

Bei beiden Prinzipien werden die Erzeugnisse beim Schrittmacherprozess beginnend sukzessive von einem Prozess zum nächsten geschoben und schlussendlich am Versand bereitgestellt. Dort werden die Aufträge ebenso schnell versandbereit gemacht und anschließend versandt. Da die fertigen Erzeugnisse nirgends zwischengelagert werden, spricht man hierbei auch von einem direkten Versand.¹⁶

¹⁶vgl. Erlach 2010, S. 225.

4. Designansätze für die Kundenauftragsfertigung

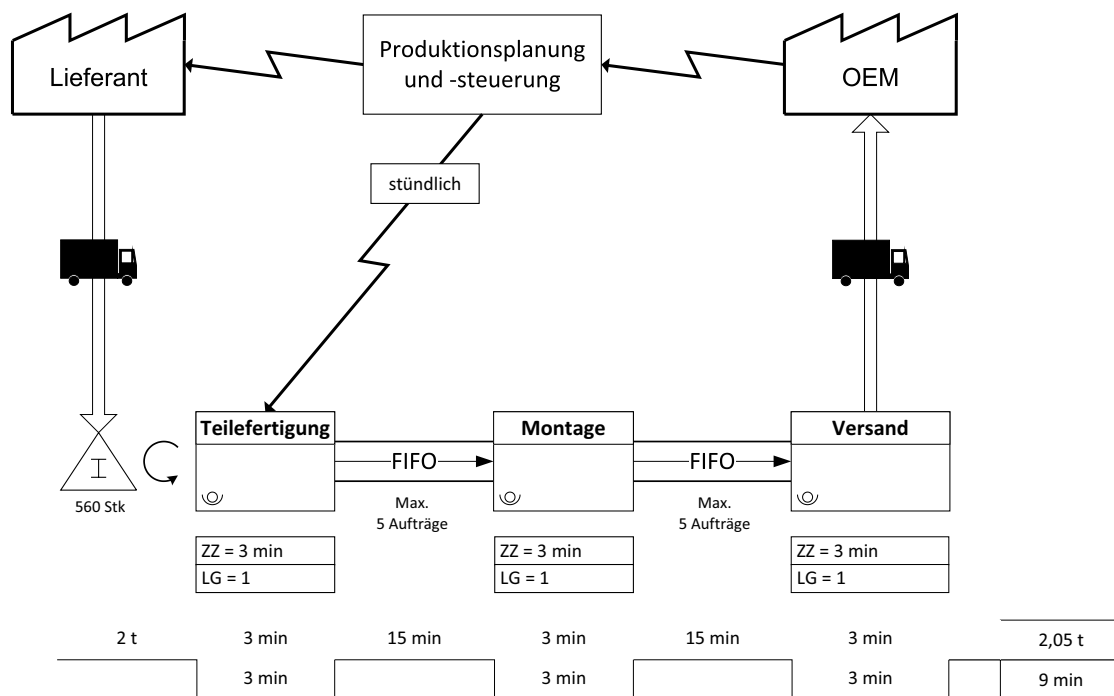


Abbildung 4.5.: Wertstromdesign nach dem Make-to-Order-Prinzip

4.3. Weitere Aspekte des Kundenentkopplungspunktes

Neben dem Produktionstyp in erster Linie, sind bei der Anordnung des Kundenentkopplungspunktes auch andere Aspekte zu beachten. Diese sind:

- Vom Markt geforderte Lieferzeit und Lieferbereitschaft
- Resultierende Produktionsdurchlaufzeit
- Bestände und damit verbundene Kapitalbindungs- und Lagerhaltungskosten
- Möglichkeiten zur Losgrößenbildung
- Flexibilität bezüglich Kundenwünschen und möglichen Varianten

Die Lieferzeit setzt sich gemäß Abbildung 4.6 aus der Auftragsdurchlaufzeit und der Transportzeit zusammen. Die Auftragsdurchlaufzeit besteht wiederum aus der administrativen und planerischen Auftragsabwicklung sowie dem auftragsbezogenen Teil der Produktionsdurchlaufzeit. Durch das Festlegen, an welchem Prozess die Kundenaufträge eingesteuert werden, wird bestimmt, welche Prozesse Teil der kundenauftragsbezogenen Produktionsdurchlaufzeit sind. Umso weiter flussaufwärts, also Richtung Lieferant, der Kundenentkopplungspunkt gelegt wird, desto größer ist die kundenauftragsbezogene Produktionsdurchlaufzeit und damit desto höher die Lieferzeit.¹⁷

¹⁷ vgl. Erlach 2010, S. 227, 229.

¹⁸ vgl. Erlach 2010, S. 226.

4. Designansätze für die Kundenauftragsfertigung

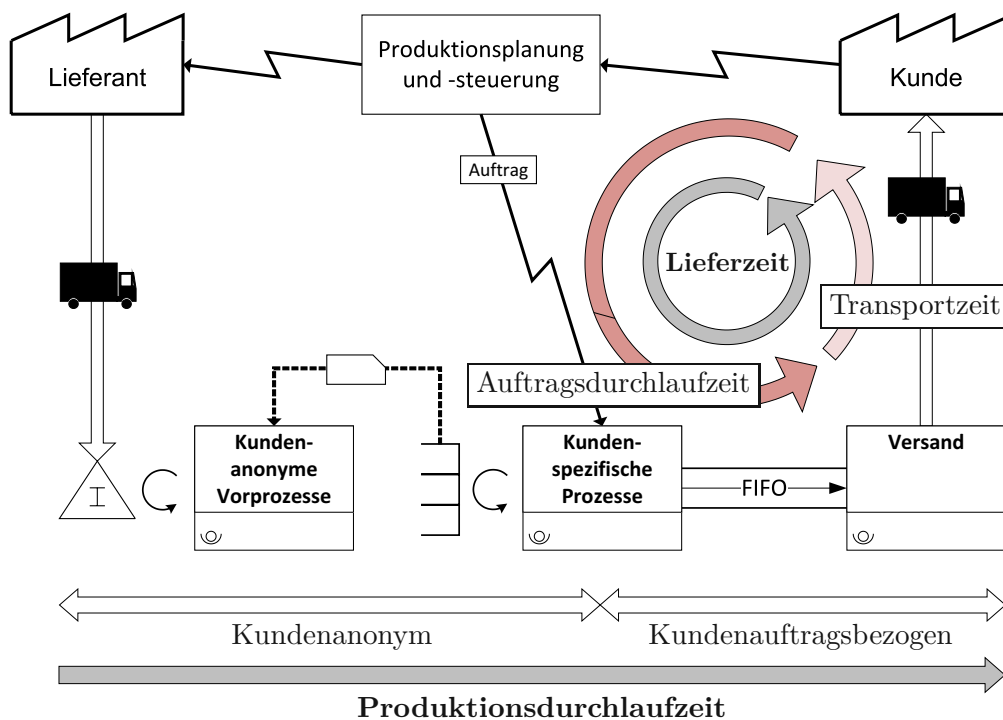


Abbildung 4.6.: Zusammenhang zwischen Lieferzeit, Auftragsdurchlaufzeit und Produktionsdurchlaufzeit¹⁸

Lässt es der Rahmen der geforderten Lieferzeit zu, so ist grundsätzlich der Kundenentkopplungspunkt so weit flussaufwärts wie möglich zu legen. Nachdem ab dem Kundenentkopplungspunkt nur noch im Fluss gearbeitet wird oder maximal FIFO-Strecken vorzufinden sind, werden die Bestände zwischen den Prozessen auf ein Minimum reduziert und so auch die Kapitalbindung sowie die Produktionsdurchlaufzeit. Ebenfalls können Kundenwünsche sowie die Einführung von neuen Varianten verschwendungsarm berücksichtigt und realisiert werden.¹⁹

Ist die Lieferzeit zu verkürzen, so muss der Kundenentkopplungspunkt flussabwärts Richtung Kunde verschoben werden. Eine Verschiebung des Kundenentkopplungspunktes flussabwärts bedeutet, dass Teile kundenanonym vorzufertigen oder gar vorzumontieren sind. Mit steigender Variantenzahl wird dabei jedoch die Kapitalbindung sowie der benötigte Platz zum Lagern der Zwischenerzeugnisse immer größer. Die Einrichtung eines Fertigteillagers und das Versenden aus diesem gestattet die kürzeste Lieferzeit. Neben den höchsten Kapitalbindungskosten, ist dabei jedoch auch das Herstellen von kundenspezifischen Produkten nicht mehr möglich.²⁰

Alternativ kann die Lieferzeit auch reduziert werden, indem die administrative und pla-

¹⁹ vgl. Erlach 2010, S. 226.

²⁰ vgl. ebd., S. 227; vgl. Wiendahl, Reichardt und Nyhuis 2009, S. 46 f.; vgl. Dickmann 2009, S. 17.

4. Designansätze für die Kundenauftragsfertigung

nerische Auftragsabwicklung optimiert wird. Die Auftragsabwicklung besteht aus den unternehmensinternen Geschäftsprozessen sowie der Wartezeit, bis die Kundenaufträge am Schrittmacherprozess freigegeben werden können. Während die internen Geschäftsprozesse, wie die Auftragserfassung oder -einplanung, zum Beispiel durch IT-Systeme unterstützt und so optimiert werden können, sind die Wartezeiten, welche in der Regel den größeren Zeitanteil der Auftragsabwicklung darstellen, in dieser Weise kaum zu optimieren.²¹ Um Wartezeiten zu reduzieren, muss daher wieder beim Produktionsprozess selbst angesetzt werden. Wie im obigen Beispiel gezeigt, kann beispielsweise durch Verbesserung des Engpasses dessen Kapazität erhöht werden, wodurch sich wiederum am Schrittmacherprozess pro Zeiteinheit mehr Aufträge einsteuern lassen.

Beim Verschieben des Kundenentkopplungspunktes sind auch eventuell erforderliche Losgrößenbildungen zu beachten. Unter Umständen erfordern gewisse Prozesse am Anfang der Produktionskette die Fertigung in großen Losen. Eine Fertigung in Losen ist bei einer auftragsbezogenen Fertigung jedoch kaum möglich, weshalb Prozesse, welche eine Losgrößenbildung erfordern, ihre Zwischenerzeugnisse in einem Supermarkt ablegen und der Kundenentkopplungspunkt erst danach anzusetzen ist.²²

Abbildung 4.7 veranschaulicht die Auswirkung der Verschiebung des Kundenentkopplungspunktes.

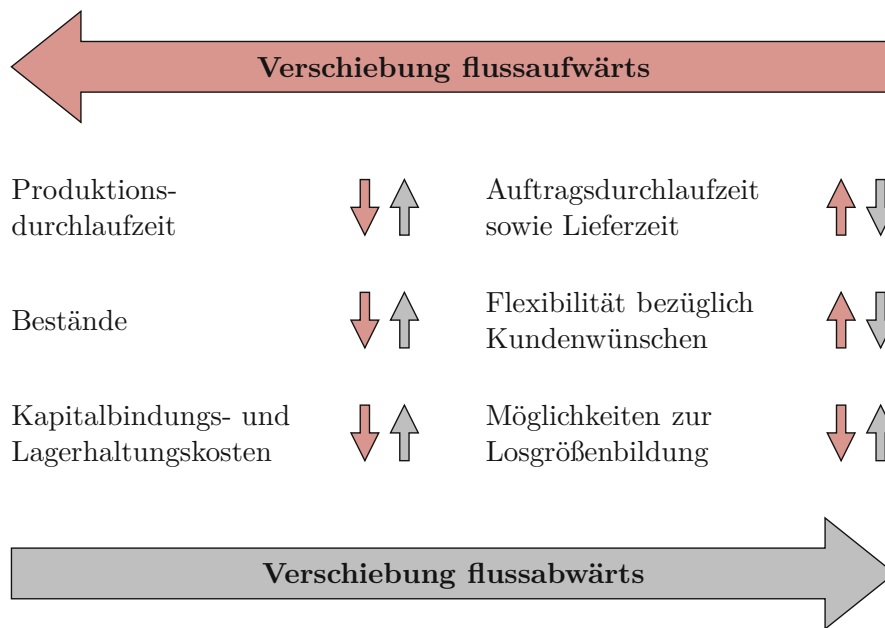


Abbildung 4.7.: Auswirkung der Verschiebung des Kundenentkopplungspunktes

²¹ vgl. Erlach 2010, S. 227 f.

²² vgl. ebd., S. 226; vgl. Schuh 2006, S. 167.

4. Designansätze für die Kundenauftragsfertigung

Zusammenfassend stellt sich folgender Zielkonflikt: Einerseits sollen Lagerhaltungs- sowie Kapitalbindungskosten gering gehalten werden, andererseits sind am Markt meist kurze Lieferzeiten gefordert. Ersteres wird durch eine möglichst auftragsbezogene Produktion erreicht. Dies reduziert die Bestände zwischen den Prozessen sowie die Produktionsdurchlaufzeit im Allgemeinen. Kurze Lieferzeiten und eine hohe Lieferbereitschaft werden hingegen genau gegenteilig erreicht: Diese können durch die Vorfertigung von Zwischenerzeugnissen und dem Aufbau von Sicherheitsbeständen realisiert werden. Folglich muss ein Kompromiss zwischen kurzer Lieferzeit und kurzer Produktionszeit gefunden werden.²³

²³vgl. Arnold u. a. 2008, S. 326 f.

5. Optimierung von Arbeitssystemen und -prozessen

Im einfachsten Fall besteht ein Arbeitssystem aus einem Einzelarbeitsplatz und einem einzelnen Mitarbeiter. Komplexere Arbeitssysteme können sich dann auch aus mehreren Arbeitsplätzen und in der Regel mehreren Mitarbeitern zusammensetzen. Bei der Gestaltung von Arbeitssystemen ist zu beachten, dass der Arbeitsplatz dem Mitarbeiter angepasst wird und nicht umgekehrt.¹ Deshalb soll im Folgenden erst auf die optimale Arbeitshöhe und den Greifraum einer Person eingegangen werden.

5.1. Optimale Arbeitshöhe

Abbildung 5.1 zeigt die von Bosch Rexroth empfohlene Arbeitshöhe. In Anlehnung an die DIN 33 402 (Ergonomie - Körpermaße des Menschen) kann die Körpergröße der Bevölkerung in folgende vier Gruppen eingeteilt werden:

- **Gruppe 1:** kleinste Frau (5. Perzentil)
- **Gruppe 2:** durchschnittliche Frau (50. Perzentil) u. kleinster Mann (5. Perzentil)
- **Gruppe 3:** durchschnittlicher Mann (50. Perzentil) u. größte Frau (95. Perzentil)
- **Gruppe 4:** größter Mann (95. Perzentil)

Ausgehend von der Körpergröße wurde eine für alle Bevölkerungsgruppen optimale Arbeitshöhe von 1.125 mm ermittelt. Diese Höhe gilt für Tätigkeiten mit mittlerer Anforderung an die visuelle Kontrolle und Feinmotorik. Für Tätigkeiten mit hoher Anforderung an die visuelle Kontrolle und Feinmotorik ist ein um 100 mm größerer Wert anzunehmen. Dem hingegen ist für Tätigkeiten mit geringer Anforderung an die visuelle Kontrolle, jedoch hoher Anforderung an die Bewegungsfreiheit der Arme, die Arbeitshöhe um 100 mm niedriger zu wählen.²

¹vgl. Bokranz und Landau 2012, S. 163.

²vgl. Bosch Rexroth AG 2015a, S. 4.

³vgl. Bosch Rexroth AG 2015a, S. 4.

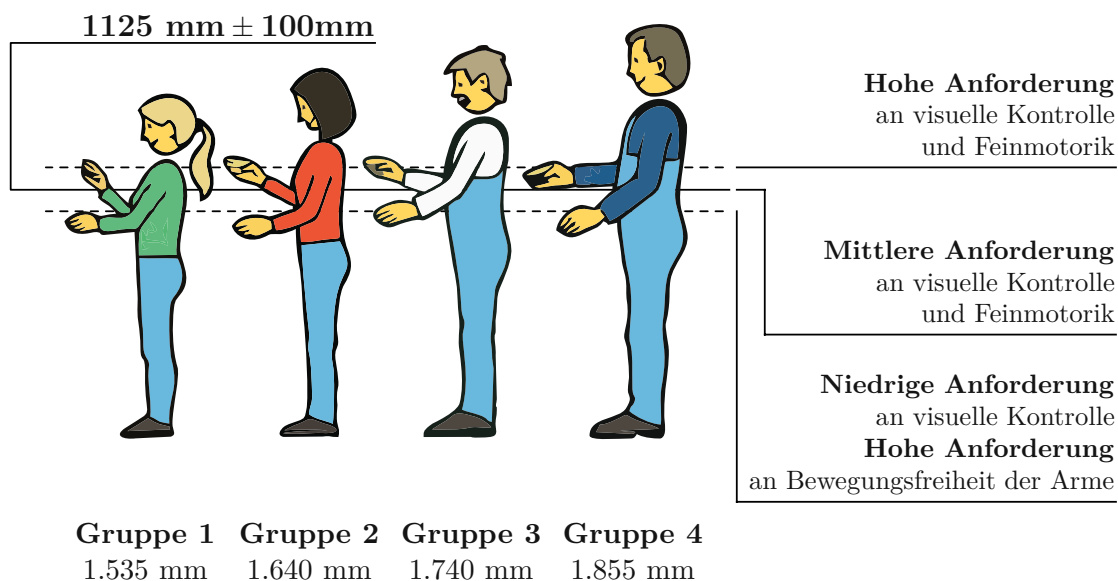


Abbildung 5.1.: Durchschnittliche optimale Arbeitshöhe für alle vier Bevölkerungsgruppen³

5.2. Seh- und Greifräume

Bei den Sehräumen wird zwischen dem Gesichtsfeld, dem Blickgesichtsfeld und dem Umblickgesichtsfeld unterschieden. Während das **Gesichtsfeld** nur jenen Bereich erfasst, bei welchem weder der Kopf noch die Augen bewegt werden, sind beim **Blickgesichtsfeld** auch Augenbewegungen zulässig, der Kopf ist jedoch ruhend. Das **Umblickgesichtsfeld** erlaubt auch Bewegungen des Kopfes. Abbildung 5.2 zeigt das Blickgesichtsfeld eines sitzenden Arbeiters. In entspannter Ruhestellung ist aufgrund der natürlichen Neigung des Kopfes und der Augen die Sehachse um 30 Grad gegenüber der Horizontalen geneigt. Das Blickgesichtsfeld beträgt insgesamt 50 Grad.⁴

In einer solchen sitzenden Position und mit aufrechter Körperhaltung ergibt sich entsprechend der Bewegungsbahnen der Arme der physiologisch maximale Greifraum (bei unbewegtem Oberkörper, mit entspannten Armen und ohne Mitbewegung der Schultergelenke). Unter Berücksichtigung des Blickfeldes lässt sich dieser in vier verschiedene Zonen einteilen. Abbildung 5.3 zeigt den physiologisch maximalen Greifraum sowie die entsprechenden Zonen.

Zone I stellt das Arbeitszentrum dar. Hier können beide Hände nahe beieinander und innerhalb des Blickfeldes arbeiten. Dieser Ort ist für Montagevorrichtung zu wählen.

⁴vgl. Bokranz und Landau 2012, S. 176 f.

⁵vgl. Bokranz und Landau 2012, S. 177; vgl. Bosch Rexroth AG 2015a, S. 10.

5. Optimierung von Arbeitssystemen und -prozessen

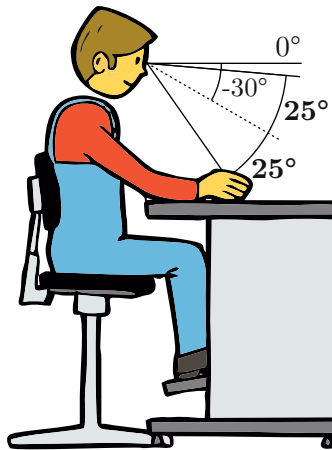


Abbildung 5.2.: Blickgesichtsfeld eines sitzenden Arbeiters⁵

Zone II ist das erweiterte Arbeitszentrum. Auch hier arbeiten noch beide Hände im Blickfeld und gelangen an alle Orte.

Zone III wird Einhandzone genannt. In dieser kann nur noch einhändig nach Teilen oder Werkzeugen gegriffen werden. Trotzdem ist auch hier noch oftmaliges Greifen zulässig.

Zone IV beschreibt die erweiterte Einhandzone und Grenze des physiologisch maximalen Greifraums und ist als die äußerste nutzbare Zone zu sehen. Häufiges Greifen außerhalb des maximalen Greifraums sollte vermieden werden.⁶

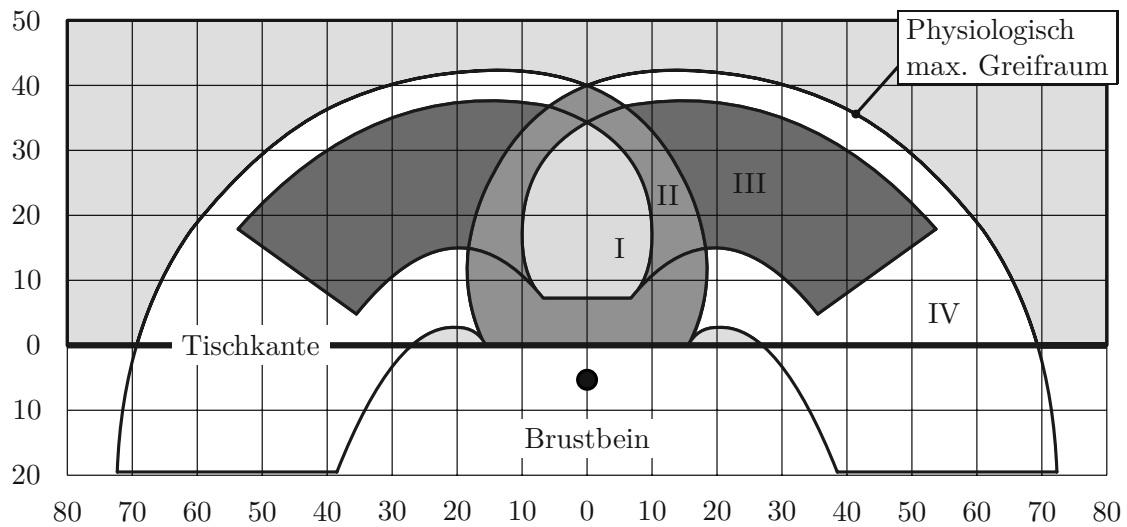


Abbildung 5.3.: Arbeitszonen aufgrund von Blick- und Greifräumen⁷

⁶vgl. Bokranz und Landau 2012, S. 181, 225.

⁷vgl. Bokranz und Landau 2012, S. 181.

5.3. Optimierung von Material- und Werkzeugbereitstellung sowie Prozessen

Wie oben beschrieben, sind die Zonen I, II und III des Greifraumes für die Bereitstellung der oft verwendeten Materialien und Werkzeuge zu bevorzugen. Zusätzlich sollte beachtet werden, dass der Endpunkte einer Handlung in der Nähe des Anfangspunktes der nächsten Handlung liegt, und dass Kreuz- oder Querwege vermieden werden. Abbildung 5.4 zeigt, wie sich aufgrund einer ungünstigen Behälteranordnung die für das Aufnehmen und Platzieren eines Teiles benötigte Zeit um 21 Prozent erhöht. Die angegebenen Zeiten entstammen einer MTM-Analyse. Der Unterschied resultiert aus dem Übergabegriff. Des Weiteren sollten einmal aufgenommene Bauteile ohne Zwischenlagerung verbaut werden. Das heißt, ein mehrmaliges Aufnehmen, Bewegen oder Ablegen ist möglichst zu vermeiden.⁸

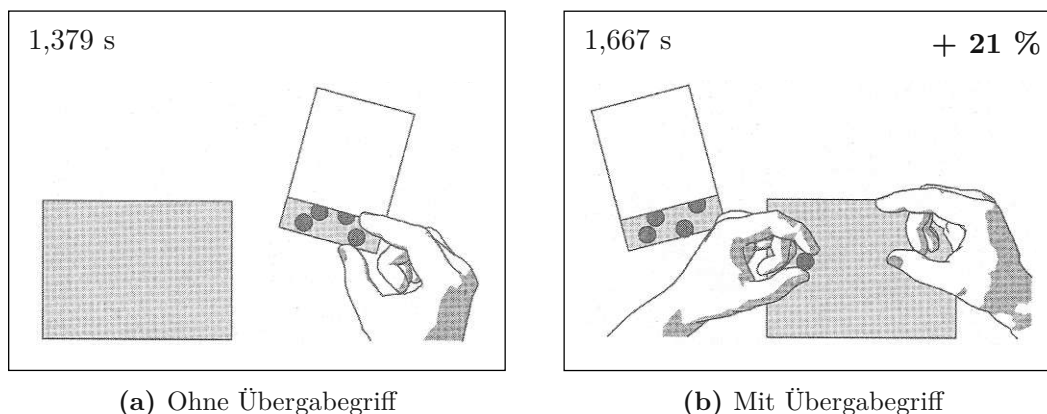


Abbildung 5.4.: Zeitanstieg durch ungünstiges Anordnen von Behältern⁹

Neben den eben besprochenen Empfehlungen für die allgemeine Anordnung von Werkzeugen und Materialien, kann mit der richtigen Bereitstellung ebenfalls Zeit gespart werden. Im Folgenden soll anhand von Beispielen gezeigt werden, wie mit einfachen Hilfsmittel das Greifen nach Werkzeugen und Materialien optimiert werden kann. Abbildung 5.5 veranschaulicht, wie mithilfe einer Schaumstoffunterlage das Aufnehmen einer Platine erleichtert und die notwendige Zeit um 43 Prozent gesenkt wird.

⁸ vgl. Bokranz und Landau 2012, S. 220 f.

⁹ vgl. MTM-Institut 2016, S. 135.

¹⁰ vgl. MTM-Institut 2016, S. 134.

5. Optimierung von Arbeitssystemen und -prozessen

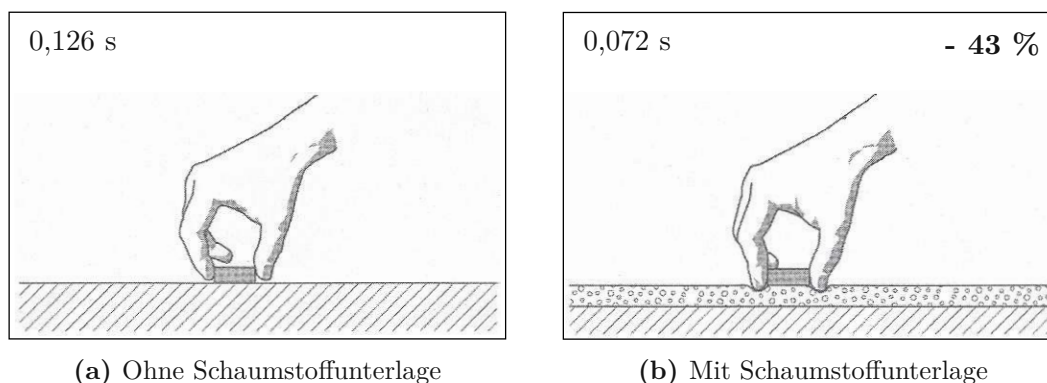


Abbildung 5.5.: Optimieren des Aufnehmens einer Platine¹⁰

Das Suchen nach Werkzeug wurde in Kapitel 2.1 als Verschwendung definiert. Mithilfe von Werkzeughaltern und Köchern erhalten Werkzeuge einerseits einen definierten Ort, wodurch das Suchen entfällt, andererseits fällt das Aufnehmen der Werkzeuge leichter. Abbildung 5.6 zeigt den Zeitgewinn, welcher durch die Verwendung eines Köchers erreicht werden kann.

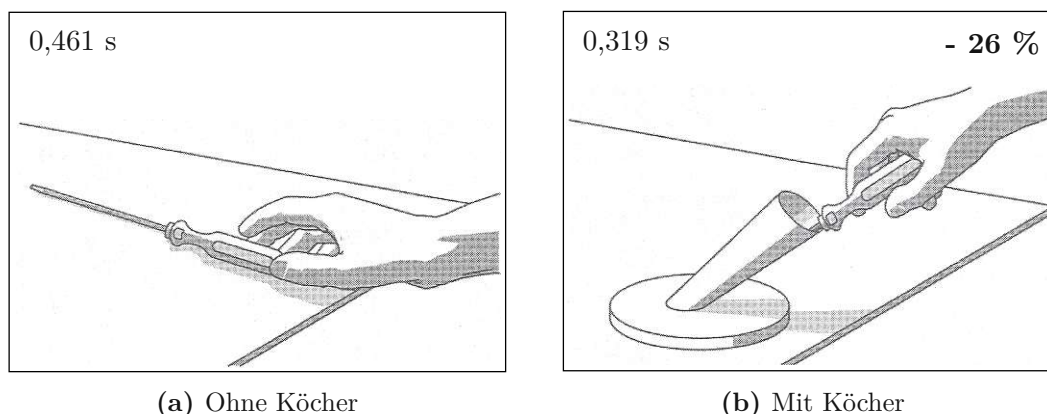


Abbildung 5.6.: Optimieren des Hinlangens zu einem Schraubenzieher¹¹

In ähnlicher Weise können auch Arbeitsprozesse optimiert werden. Mit Anschlägen unter Standbohrmaschinen und Pressen entfallen beispielsweise zeitaufwändige Positioniertätigkeiten, welche im Sinne der Lean Production ebenfalls als Verschwendung zu sehen wären. Abbildung 5.7 zeigt, wie mittels eines Anchlages die Zeit für das Bohren von zwei Löchern erheblich reduziert werden kann. (Die Analyse beinhaltet lediglich die notwendige Zeit zum Positionieren des Bauteils unter der Bohrmaschine. Die Zeit für das Bohren selbst ist nicht enthalten.)

¹¹vgl. MTM-Institut 2016, S. 130.

¹²vgl. MTM-Institut 2016, S. 140.

5. Optimierung von Arbeitssystemen und -prozessen

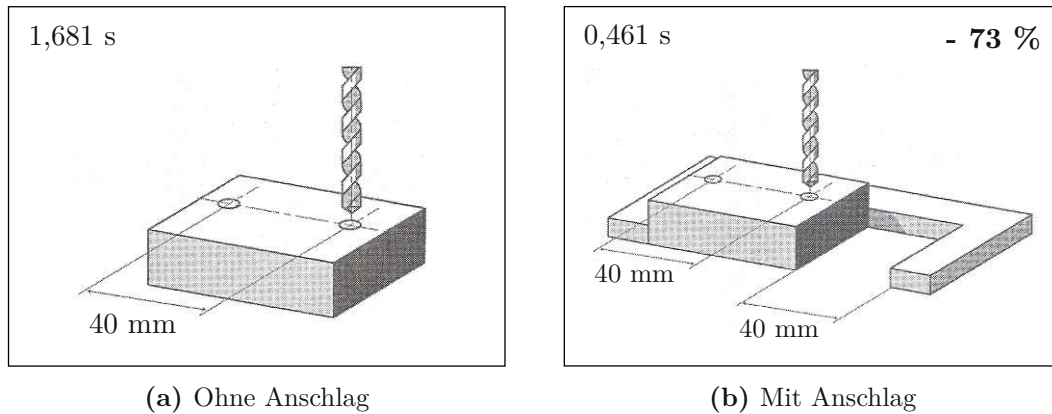


Abbildung 5.7.: Optimieren des Platzierens eines Bauteiles¹²

Ist die Bereitstellung von Material nicht innerhalb des Greifraumes möglich, zum Beispiel aufgrund der Größe der Bauteile, sollte zumindest die Bereitstellung so nah wie möglich am eigentlichen Arbeitsplatz erfolgen sowie ein Beugen des Oberkörpers möglichst vermieden werden. Das Beugen des Oberkörpers ist nicht nur ergonomisch ungünstig, sondern kostet auch Zeit. Abbildung 5.8 zeigt den Zeitanstieg, welcher durch zwei zusätzliche Schritte entstehen kann, sowie Abbildung 5.9 den durch Beugen entstandenen Anstieg. Gleiches gilt für die Anordnung von Arbeitsplätzen im Allgemeinen. Arbeitsplätze, zwischen welchen oft gewechselt wird, sollten möglichst nah beieinander liegen. (Die Beispiele enthalten wiederum nur die Zeit für die Bewegung zwischen dem Arbeitsplatz und dem Behälter, jedoch nicht für das Greifen der Teile selbst.)

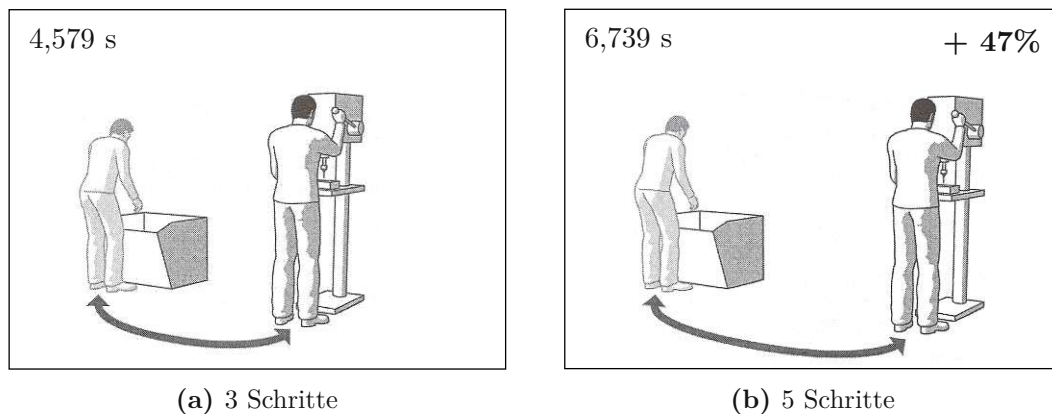


Abbildung 5.8.: Zeitanstieg aufgrund von zwei zusätzlichen Schritten¹³

¹³ vgl. MTM-Institut 2016, S. 241.

¹⁴ vgl. MTM-Institut 2016, S. 143.

5. Optimierung von Arbeitssystemen und -prozessen

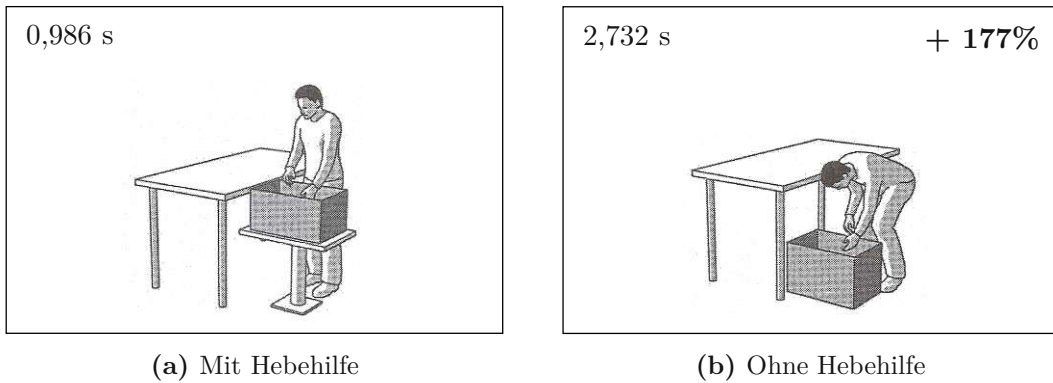


Abbildung 5.9.: Zeitanstieg aufgrund der Beugung des Oberkörpers¹⁴

Teil II.

Neugestaltung einer Montagelinie bei der Firma Bosch Rexroth AG

Praxisteil

6. Einleitung

Im Rahmen der vorliegenden Diplomarbeit wurde die Montagelinie für die Antriebstationen und Umlenkungen der Produktlinien TS 1 und TS 2 neugestaltet. Es handelt sich dabei um eine Linie der Firma Bosch Rexroth AG am Standort Stuttgart in Deutschland. Die Arbeit beinhaltet die Planung und Umsetzung eines Fertigungskonzepts für die Produktion der diversen Varianten der genannten Produkte. Als Teil des Konzepts wurden auch verschiedene Montagevorrichtungen entworfen und konstruktiv ausgearbeitet.

Die Vorgehensweise wurde in sechs Phasen gegliedert. Diese sind in Abbildung 6.1 dargestellt.



Abbildung 6.1.: Phasen¹

Auf die „Ist-Analyse“ wird in Kapitel 7 eingegangen. Sie beinhaltet unter anderem die Analyse des Wertstroms sowie die Auswertung der Auftragseingänge. Im Zuge der Phasen „Zieldefinition“ sowie „Ideal-“, Real-“ und „Detailplanung“ wird der Soll-Zustand konzipiert. Das Vorgehen dazu wird in Kapitel 8 erläutert. Die abschließende „Realisierung“ wird in Kapitel 9 dokumentiert. Hier wird ebenfalls auf die Evaluierung der neuen Linie eingegangen.

Dem Praxisteil zugrunde liegen verschiedene Methoden und Konzepte der Lean Production. Diese wurden im vorangestellten Theorieteil erläutert.

6.1. Unternehmensbeschreibung - Bosch Rexroth und die Bosch-Gruppe

Die Bosch-Gruppe setzt sich aus der Robert Bosch GmbH und ihren 440 verschiedenen Tochter- und Regionalgesellschaften zusammen. Als Teil der Bosch-Gruppe ist die Bosch Rexroth AG eine hundertprozentige Tochtergesellschaft der Robert Bosch GmbH. Die Aktivitäten der Bosch-Gruppe gliedern sich in die vier Unternehmensbereiche

¹vgl. Bischoff 2014.

6. Einleitung

- Mobility Solutions,
- Industrial Technology,
- Consumer Goods und
- Energy and Building Technology.²

Der Bereich Industrial Technology erwirtschaftete im Jahr 2014 rund 14 Prozent des Gesamtumsatzes der Bosch-Gruppe. Er umfasst die beiden Geschäftsbereiche

- Drive and Control Technology und
- Packaging Technology.

Der Geschäftsbereich Drive and Control Technology steht dabei für die Bosch Rexroth AG.³ Mit mehr als 33.700 Mitarbeitern in 22 Ländern erwirtschaftete Bosch Rexroth im Geschäftsjahr 2014 einen Umsatz von 5,6 Milliarden Euro.⁴

Als „Drive & Control Company“ liefert Bosch Rexroth Antriebs- und Steuerungstechnologien für die Branchen

- Mobile Anwendungen,
- Anlagenbau und Engineering,
- Fabrikautomation und
- Erneuerbare Energien.

Im Bereich der Fabrikautomation entwickelt und fertigt Bosch Rexroth unter anderem Automatisierungslösungen für die Montage und Handhabung. Teil des Produktportfolios sind hier die Transfersysteme.⁵ Diese werden im folgenden Abschnitt 6.2 näher beschrieben.

6.2. Produktbeschreibung - Transfersysteme

In einer Fabrik oder Montagelinie dient ein Transfersystem um Werkstücke von einer Bearbeitungsstation zur nächsten zu transportieren. Für den Transport sind die Werkstücke auf sogenannten Werkstückträgern montiert, welche wiederum auf zwei umlaufenden Gurten oder Ketten von Station zu Station laufen. In der Regel verbleiben die Werkstücke auch während der Bearbeitung auf den Werkstückträgern.⁶ Im einfachsten Fall besteht das Transfersystem aus einer Antriebsstation, den Strecken und einer Umlenkung. Diese Zusammensetzung wird auch als Streckeneinheit bezeichnet. Abbildung 6.2 zeigt den entsprechenden Aufbau.

²vgl. Robert Bosch GmbH 2015a, S. 5.

³vgl. ebd., S. 12 f.

⁴vgl. Bosch Rexroth AG 2016b.

⁵vgl. Bosch Rexroth AG 2016a.

⁶vgl. Bosch Rexroth AG 2014b, S. 1-2.

6. Einleitung

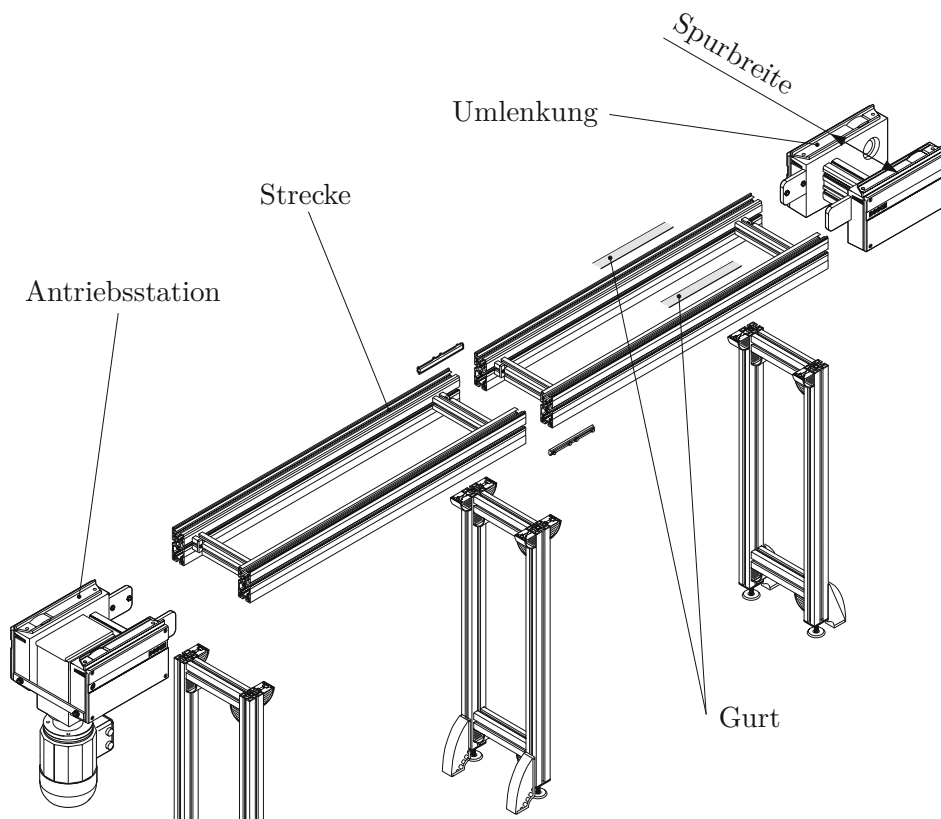


Abbildung 6.2.: Aufbau einer Streckeneinheit mit einer Antriebsstation, Strecken und einer Umlenkung⁷

In der neu zu gestaltenden Montagelinie werden die Antriebsstationen und Umlenkungen gebaut. Je nach Konfiguration des Transfersystems wird eine andere Antriebsstation und Umlenkung benötigt. Im Allgemeinen unterscheiden sich die Transfersysteme in Bezug auf die mögliche Spurbreite, die zulässige Streckenlast und das Fördermedium:

Die **Spurbreite** ergibt sich direkt aus den Abmessungen des Werkstückträgers und ist in Abbildung 6.2 dargestellt. Teil des Produktportfolios sind die Transfersysteme TS 1, TS 2*plus*, TS 4*plus* und TS 5. In der neu zu gestaltenden Linie werden nur die Antriebsstationen und Umlenkungen für die Systeme TS 1 und TS 2*plus* gebaut. Beim Transfersystem TS 1 sind Spurbreiten von 80 bis 160 mm möglich,⁸ beim System TS2*plus* Breiten von 160 bis 1040 mm⁹.

Der oben genannte Gurt wird als **Fördermedium** bezeichnet. Bei den Streckeneinheiten des Transfersystem TS 1 gibt es nur diesen¹⁰, bei den Streckeneinheiten des Transfersys-

⁷ vgl. Bosch Rexroth AG 2014b, S. 3-5.

⁸ vgl. Bosch Rexroth AG 2014a, S. 3-11.

⁹ vgl. Bosch Rexroth AG 2014b, S. 3-13.

¹⁰ vgl. Bosch Rexroth AG 2014a, S. 3-8.

6. Einleitung

tems TS 2 kann sich der Kunde jedoch auch für eine Flachplattenkette oder Staurollenkette entscheiden¹¹. Abbildung 6.3 zeigt die drei verschiedenen Fördermedien sowie den Werkstückträger.

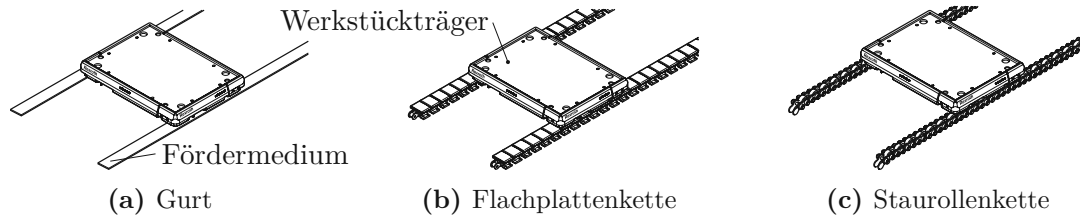


Abbildung 6.3.: Fördermedien für Streckeneinheiten von Transfersystemen¹²

Die Streckenlast ist definiert als die Summe aller Lasten auf einer Streckeneinheit.¹³ Die dabei **zulässige Last** wird einerseits durch das Fördermedium, andererseits durch den Motor und das Getriebe der Antriebsstation bestimmt. Tabelle 6.1 fasst die verschiedenen Varianten und möglichen Konfigurationen der Antriebsstationen zusammen. In der Produktbezeichnung kennzeichnet beim Transfersystem TS *2plus* der Buchstabe das Fördermedium. Die zulässige Streckenlast wird an das Ende der Bezeichnung gestellt.

	Transfer- system TS 1	Transfersystem TS <i>2plus</i>		
Spurbreite	80 bis 160 mm	160 bis 1040 mm		
Förder- medium	Gurt	Gurt	Flachplatten- kette	Staurollen- kette
Zulässige Streckenlast	80 kg	150 kg oder 250 kg	400 kg oder 700 kg	1200 kg oder 2200
Produkt- bezeichnung	AS 1	AS 2/B-150 bzw. AS 2/B-250	AS 2/C-400 bzw. AS 2/C-700	AS 2/R-1200 bzw. AS 2/R-2200

Tabelle 6.1.: Varianten und mögliche Konfigurationen der Antriebsstationen (AS)¹⁴

Umlenkungen werden in der neu zu gestaltenden Linie nur für das Transfersystem TS 1 und für die Variante B des Transfersystems TS *2plus* gebaut. Diese werden mit UM 1 bzw. UM 2/B bezeichnet.

¹¹ vgl. Bosch Rexroth AG 2014b, S. 3-2.

¹² vgl. Bosch Rexroth AG 2014b, S. 3-3.

¹³ vgl. ebd., S. 1-13 f.

¹⁴ vgl. Bosch Rexroth AG 2014a, S. 3-10; vgl. Bosch Rexroth AG 2014b, S. 3-12, 3-36, 3-66.

6.3. Werksbeschreibung - Das Werk Stuttgart

Das Werk Stuttgart ist das Leitwerk für die Produkte der Montagetechnik. Neben der Produktion sind hier auch die Entwicklung, der Vertrieb sowie zentrale Funktionen angesiedelt. Der gesamte Standort weist damit eine Fläche von 21.000 m² auf, wovon 12.000 m² auf das Werk selbst entfallen. 2015 waren insgesamt 450 Mitarbeiter beschäftigt, davon 250 in der Produktion. Zusammen mit den oben beschriebenen Transfersystemen werden hier auch manuelle Produktionssysteme und Mechanik-Grundelemente produziert. Abbildung 6.4 veranschaulicht die wichtigsten Erzeugnisgruppen des Werkes.¹⁵

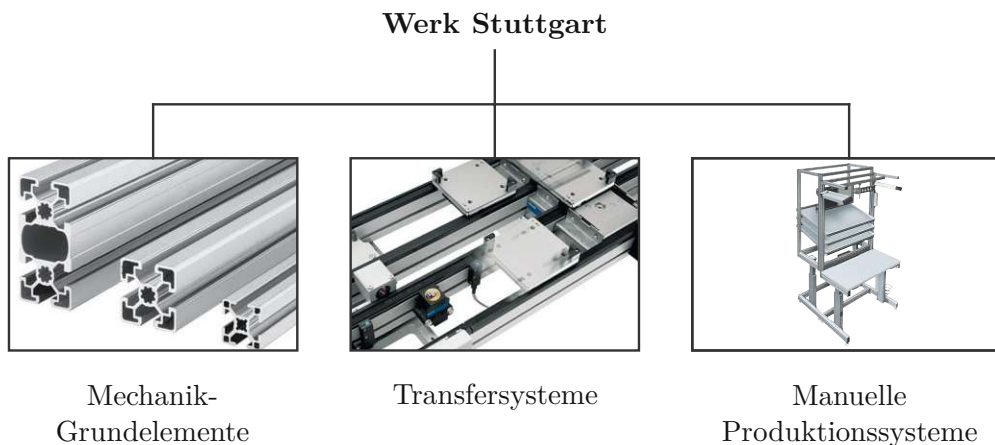


Abbildung 6.4.: Erzeugnisgruppen des Werk Stuttgarts

Während sich die Logistik und das Lager im Erdgeschoss der Produktionshalle befindet, ist der Großteil der Montagelinien im Obergeschoss angesiedelt. Das Layout des Obergeschosses ist in Anhang A ersichtlich. Für den Zweck dieser Arbeit wurde das Layout teilweise vereinfacht. Unter anderem ist die alte Linie und der Bereich für die neue Linie eingezeichnet.

¹⁵vgl. Robert Bosch GmbH 2015b.

7. Ist-Analyse

Die Ist-Analyse dient der Feststellung des Ist-Zustandes und dem Sammeln von Informationen für die anschließende Konzeption des Soll-Zustandes. Im Rahmen der darauf folgenden Planung wird auf die hier ermittelte Zahlen zurückgegriffen.

7.1. Wertstromanalyse

Im Folgenden soll auf den Wertstrom auf Werksebene und anschließend im konkreten auf den Wertstrom innerhalb der Linie eingegangen werden. Der Wertstrom auf Werksebene wurde für diese Arbeit teilweise vereinfacht dargestellt. Auf Linienebene wird der Wertstrom exemplarisch anhand einer Variante besprochen. Für die Darstellung des Wertstroms werden die in Kapitel 3 beschriebenen Symbole verwendet.

Aufgrund der Vielfalt an Varianten und möglichen Konfigurationen einer Antriebsstation oder Umlenkung werden diese auftragsbezogen gefertigt. Der Großteil der zur Montage benötigten Teile liegt in der Linie bereit. Teile, deren Eigenschaften je nach Konfiguration der Antriebsstation variieren, werden jedoch auftragsbezogen gefertigt oder kommissioniert und an die Linie gebracht. Als Beispiel wurden in Abbildung 7.1 die auftragsbezogenen Teile einer Antriebstation AS 2/B beschriftet.

Folgende Parameter einer Antriebsstation wirken sich auf die Eigenschaften dieser Teile aus:

- **Spurbreite:** Wie bereits in Abschnitt 6.2 beschrieben, kann die Spurbreite variieren, beim Transfersystem TS *2plus* beispielsweise zwischen 160 und 1040 mm. Je nach Spurbreite, ändert sich die Länge der Verbindungsprofile, der Antriebswelle und den Abdeckrohren.
- **Motorkonfiguration:** Welcher Motor und welches Getriebe verwendet werden, ergibt sich gemäß Abschnitt 6.2 bereits aufgrund der zulässigen Streckenlast. Zusätzlich kann der Kunde jedoch noch die Nenngeschwindigkeit, die Spannung und Frequenz sowie den Anschlusstyp bestimmen.¹ Dementsprechend muss der richtige Motor kommissioniert werden. Je nach Anschlusstyp durchläuft der Motor unter Umständen auch noch Vormontageprozesse.

¹vgl. Bosch Rexroth AG 2014b, S. 3-13.

7. Ist-Analyse

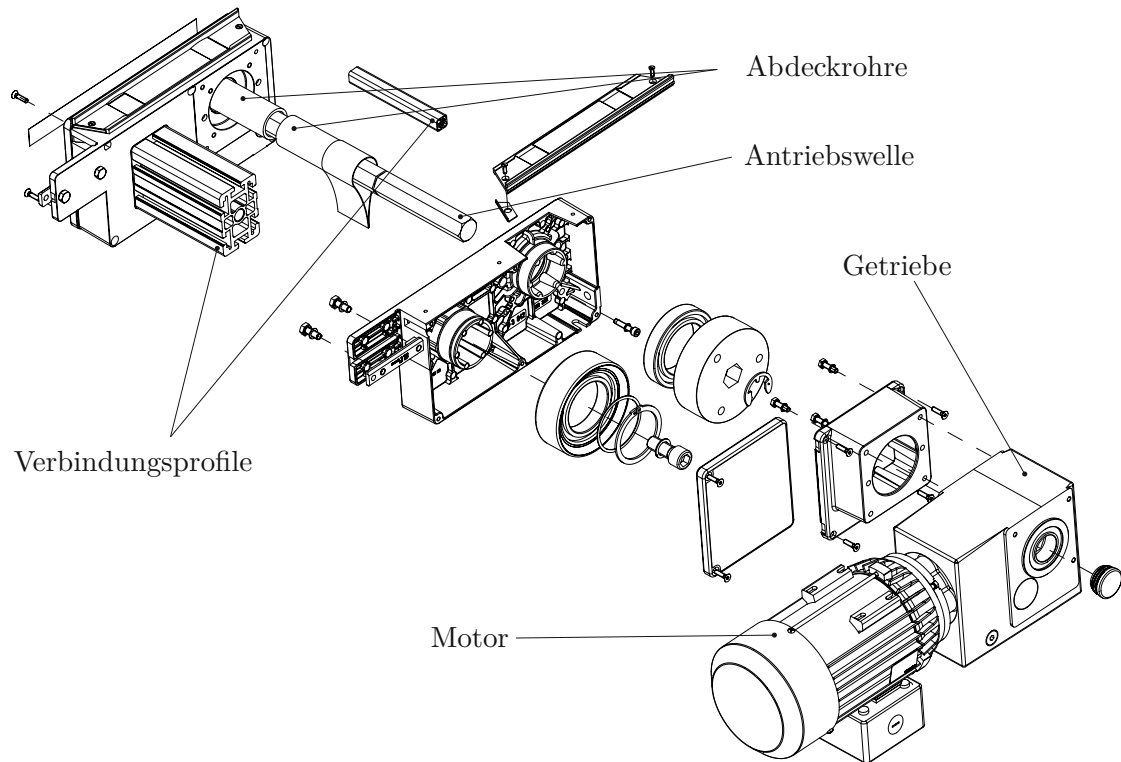


Abbildung 7.1.: Auftragsbezogene Teile der Antriebsstation AS 2/B-250, MA=RL

- **Motoranordnung (MA):** Diese kann „mittig“ (M), „rechts“ (R) oder „links“ (L) sein. In Abhängigkeit der Motoranordnung muss die Länge der Welle und der Abdeckrohre angepasst werden. Abbildung 7.2 zeigt die unterschiedlichen Motoranordnungen.

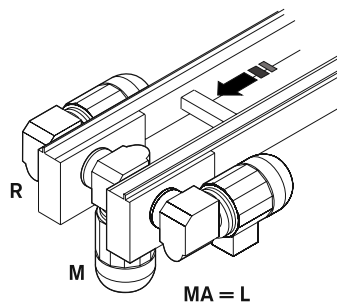


Abbildung 7.2.: Mögliche Motoranordnungen²

²vgl. Bosch Rexroth AG 2014b, S. 3-13.

7.1.1. Wertstrom auf Werksebene

Anhang B zeigt die Wertstromanalyse auf Ebene des Werkes. (#) verweist im folgenden Text auf die entsprechende Stelle in der Analyse und den entsprechenden Ort im Hallenlayout in Anhang A. Mit der Freigabe des Auftrages durch den Teamleiter (1) werden am Kommissionierplatz alle auftragsbezogenen Teile kommissioniert und gemeinsam mit den Auftragspapieren auf einem Auftragswagen zusammengestellt (2a). Abbildung 7.3 zeigt einen solchen. Für Standardbreiten liegen die Antriebswelle, die Verbindungsprofile und die Abdeckrohre im Supermarkt bereit (3a). Bei Sonderbreiten oder seltenen Breiten werden diese Teile eigens für den Auftrag gefertigt und am Kommissionierplatz bereitgestellt (3b). Die Fertigung der Wellen findet beispielsweise im gleichen Stock in der spanenden Fertigung statt (4). Ebenso wie bei den Sonderbreiten oder seltenen Breiten, werden selten verwendete Motoren und Getriebe erst bei der Auftragskommissionierung aus dem Lager geholt. Der Transportauftrag für den Motor und das Getriebe sowie der Fertigungsauftrag für die Welle, die Profile und die Abdeckrohre werden durch den Kommissionierer angestoßen (2b). Sowohl Standard- als auch Sondermotoren werden einer Prüfung unterzogen (5). Wurde vom Kunden ein bestimmter Anschluss bestellt, wird dieser im Zuge dessen montiert. Liegen alle für den Auftrag notwendigen Teile auf dem Auftragswagen bereit, wird dieser an der Bereitstellungsfläche am Rand des Kommissionierplatzes zur Abholung bereitgestellt (6). In der Regel bringt der Etagenlogistiker im Zuge seines Milkruns die Auftragswagen an die Linien (7). Auf den Wertstrom innerhalb der Linie (8) wird im anschließenden Abschnitt 7.1.2 eingegangen. Die Ablieferung der an der Linie fertiggestellten Aufträge erfolgt mittels Ablieferwägen. Volle Ablieferwägen bringt der Mitarbeiter der Montagelinie zum Verpackplatz (9). Dort werden alle zu einem Auftrag gehörenden Antriebsstationen oder Umlenkungen gemeinsam verpackt und anschließend zum Versand weitergeleitet.

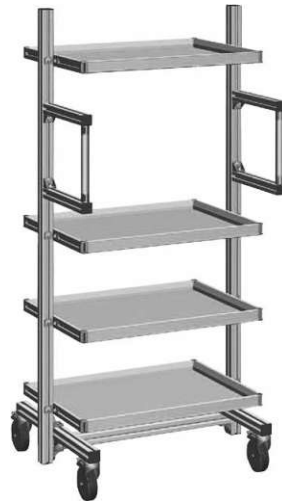


Abbildung 7.3.: Auftragswagen für die Bereitstellung der auftragsbezogenen Teile

7. Ist-Analyse

7.1.2. Wertstrom auf Linienebene

Der Wertstrom auf Ebene der Linie wurde für folgende Varianten dokumentiert:

- AS 1
- UM 1
- AS 2/B-250, MA=M
- AS 2/B-250, MA=RL
- UM 2/B
- AS 2/R-1200, MA=M
- AS 2/R-2200, MA=RL

Wie bereits oben erwähnt soll der Wertstrom exemplarisch anhand einer Variante besprochen werden. Daher wird im Folgenden nur auf die Variante AS 2/B-250, MA=RL eingegangen. Abbildung 7.5 zeigt die entsprechende Wertstromanalyse auf Linienebene.

An der Linie gibt es eine eigene Fläche, an welcher bis zu zwei Auftragswägen bereitgestellt werden können. Abbildung 7.4 zeigt die Linie in ihrem alten Zustand.



Abbildung 7.4.: Blick in die alte Linie mit **1.** Fläche für Auftragswägen, **2.** Auftragswägen, **3.** auftragsbezogene Teile, **4.** Ablieferwägen und **5.** fertige Antriebsstationen (AS 2/B-150, MA=R)

In der Linie wird der Auftrag somit durch den Auftragswagen eingesteuert und durchläuft dann im Fluss die einzelnen Montageschritte. Anhand der Auftragspapiere erkennt

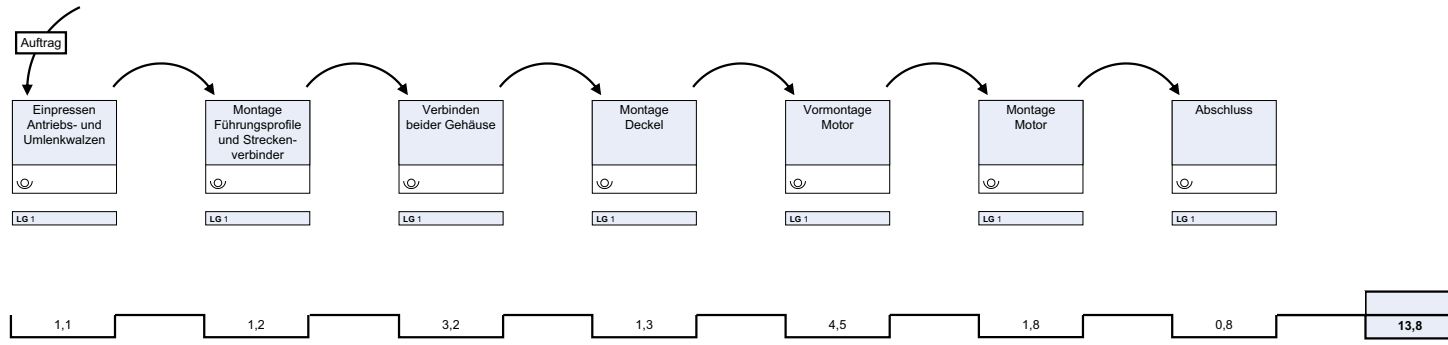


Abbildung 7.5.: Wertstromanalyse auf Linienebene für die Variante AS 2/B-250, MA=RL

7. Ist-Analyse

der Monteur der Linie welche Variante mit welcher Konfiguration gebaut werden soll. Die Abhandlung der einzelnen Prozessschritte des Wertstroms in Abbildung 7.5 erfolgt auf verschiedenen Arbeitsplätzen, allerdings durch den gleichen Monteur. Einzelteile oder das halbfertige Produkt werden dabei immer von einem Arbeitsplatz zum nächsten getragen.

Die ersten beiden Prozessschritte umfassen die Bestückung der Gehäuse. Abbildung 7.6 zeigt die notwendigen Teile. Zunächst werden im Prozessschritt „Einpressen Antriebs- und Umlenkwalzen“ mithilfe einer Drehdornpresse die Antriebs- und Umlenkwalzen in die beiden Gehäuse eingepresst. Danach werden im Schritt „Montage Führungsprofile und Streckenverbinder“ in einer eigenen Vorrichtung die Führungsprofile auf die Gehäuse genietet und die Streckenverbinder angeschraubt. Der Prozess ist für das rechte und linke Gehäuse identisch, jedoch spiegelverkehrt. Abbildung 7.7 zeigt den entsprechenden Arbeitsplatz in seinem ursprünglichen Zustand.

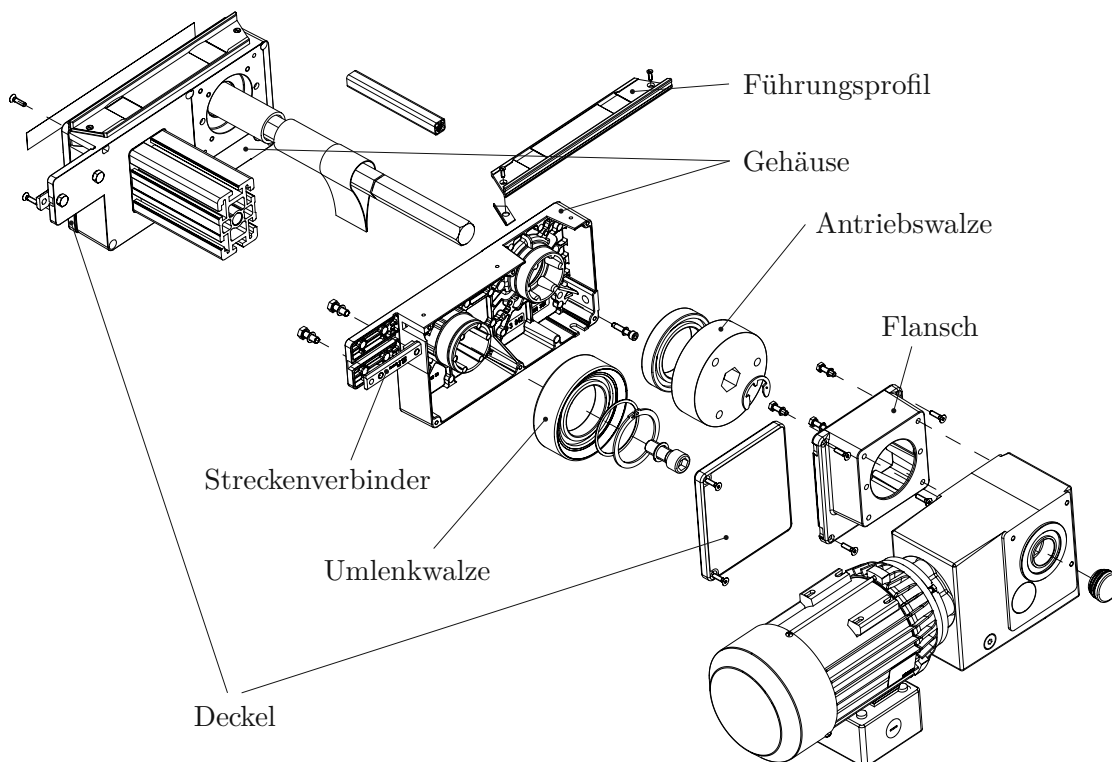


Abbildung 7.6.: Weitere Teile der Antriebsstation AS 2/B-250, MA=RL

Im Prozessschritt „Verbinden beider Gehäuse“ werden die beiden nun bestückten Gehäuse über die Verbindungsprofile miteinander verbunden. Außerdem werden die Welle und die Abdeckrohre eingebaut sowie anschließend die Welle mit Sicherungsringen fixiert. Bis auf die Kleinteile handelt es sich hier um die in Abbildung 7.1 dargestellten auftragsbezogenen Teile der Antriebsstation. Im Prozessschritt „Montage Deckel“ werden die

7. Ist-Analyse

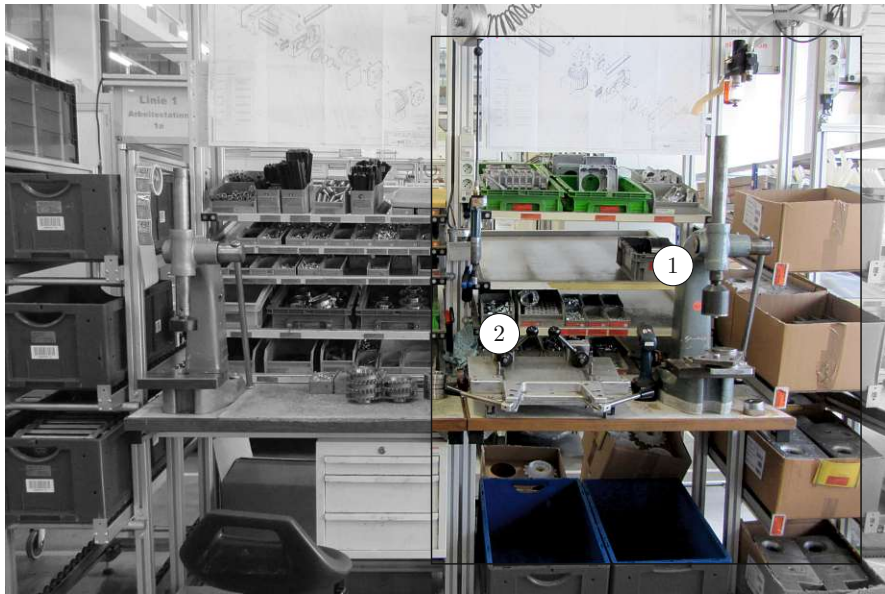


Abbildung 7.7.: Ursprünglicher Arbeitsplatz zum Einpressen der Walzen und der Montage von Führungsprofilen und Streckenverbindern mit 1. Presse und 2. Vorrichtung

Deckel an das rechte und linke Gehäuse montiert. Diese letzten beiden Prozessschritte erfolgen in einer Vorrichtung. Diese ist in Abbildung 7.8 ersichtlich.

Im Schritt „Vormontage Motor“ werden das Getriebe und der Motor miteinander verschraubt und der Flansch an das Getriebe montiert. Im anschließenden Schritt „Montage Motor“ wird der mit dem Getriebe und Flansch bestückte Motor auf die Antriebsstation aufgesetzt und festgeschraubt. Im letzten Schritt „Abschluss“ wird das Typenschild angebracht und die Antriebsstation mit den Auftragspapieren auf dem Ablieferwagen zusammengestellt.

Mit folgenden Unterschieden ist der Montageprozess für die anderen Varianten ähnlich dem oben beschriebenen Prozess der Variante AS 2/B-250, MA=RL:

- Bei den Umlenkungen UM 1 und UM 2 wird kein Getriebe und kein Motor montiert.
- Bei der Antriebsstation AS 1 wird der Motor mit dem Getriebe und dem Flansch zwar vormontiert, jedoch nur beigelegt.
- Der Montageprozess der Variante AS 2/B-150 ist identisch dem Prozess der Variante AS 2/B-250. Im Allgemeinen wird nur ein anderer Motor und ein anderes Getriebe angebaut.

7. Ist-Analyse

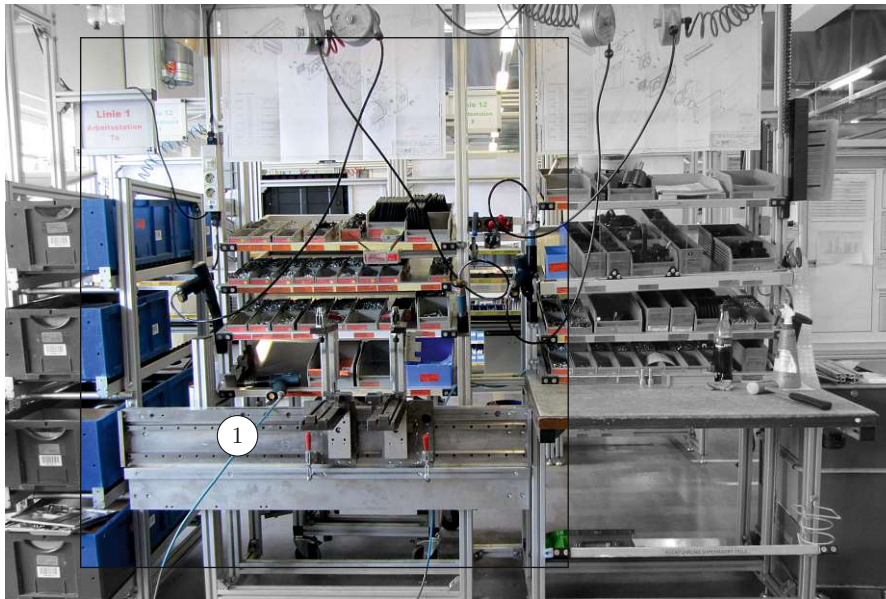


Abbildung 7.8.: Ursprünglicher Arbeitsplatz zum Verbinden der Gehäuse mit 1. Montagevorrichtung

- Zum Montageprozess der Variante B unterscheiden sich die Prozesse der Variante C und R nur insofern, dass die Bestückung der Gehäuse aufwändiger ist und mehr Zeit in Anspruch nimmt. Der entsprechende Ausschnitt aus der Wertstromanalyse ist in Abbildung 7.9 dargestellt. Bei den angegebenen Zeiten handelt es sich um gemittelte Zeiten aus den entsprechenden Zeitaufnahmen. Das folgende Verbinden der Gehäuse und die Montage des Motors ist zu vergleichen mit den entsprechenden Schritten der Variante B.
- Die Prozesse der Varianten mit der Motoranordnung „mittig“ unterscheiden sich zu dem in Abbildung 7.5 dargestellten Wertstrom nur dahin gehend, dass die Schritte „Vormontage Motor“ und „Montage Motor“ vor den Prozessschritt „Verbinden beider Gehäuse“ vorgezogen werden müssen.
- Zwischen den Varianten C und R gibt es in Bezug auf den Montageprozess keine Unterschiede: Gewisse variantenspezifische Teile sind hier unterschiedlich, jedoch ist der Montageprozess davon nicht betroffen. Deshalb wurde für die Variante C der Montageprozess nicht eigens dokumentiert.
- Der Montageprozess der Varianten R-1200 und R-2200 unterscheidet sich nur innerhalb des Montagschrittes „Vormontage Motor“. Die Abfolge der Schritte wäre bei der Variante „AS 2/R-2200, MA=M“ (oben nicht aufgelistet) identisch mit jener der Variante „AS 2/R-1200, MA=M“ (oben aufgelistet) und wurde deshalb ebenfalls nicht eigens aufgenommen. Gleiches gilt für die Varianten C-400 und C-700.

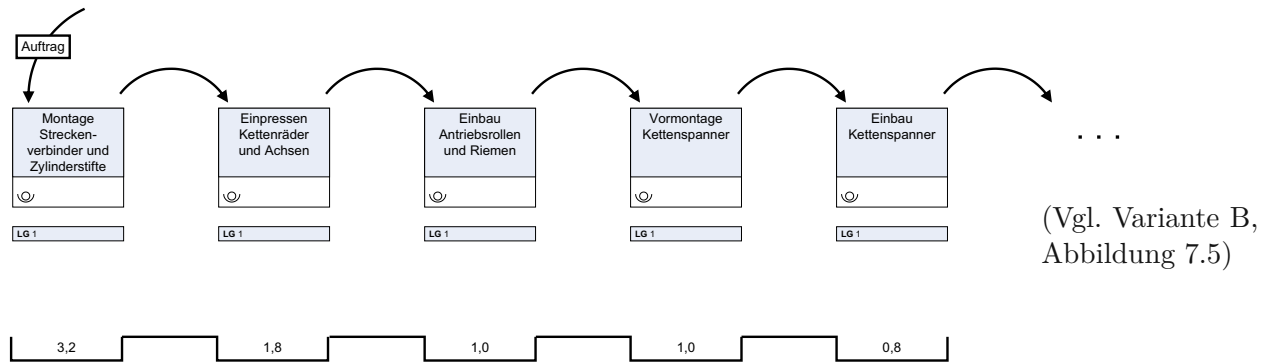


Abbildung 7.9.: Wertstromanalyse auf Linienebene für die Bestückung der Gehäuse der Antriebsstationen AS 2/C und R

7.2. Stapel-Diagramm und Zeitaufnahme

Wie in Kapitel 3 beschrieben und in vorigem Kapitel gezeigt, deckt die Wertstromanalyse lediglich die Material- und Informationsflüsse zwischen den Prozessen auf, die konkreten Abläufe innerhalb der Prozesse bleiben jedoch unberücksichtigt. Im Folgenden werden mithilfe von Stapel-Diagrammen die einzelnen Prozesse der Wertstromanalyse aus Abschnitt 7.1.2 im Detail analysiert. In einem ersten Schritt werden mittels der Stapel-Diagramme alle im Prozess vorkommenden Arbeitsinhalte aufgelistet. In weiterer Folge wird durch Zuteilung der Arbeitsinhalte zu den Kategorien aus Abschnitt 2.1 Verschwendung aufgedeckt. Diese kann dann im Zuge der Neugestaltung der Linie gezielt eliminiert werden. Gemäß Abschnitt 2.1 können Arbeitsinhalte in folgende drei Kategorien eingeteilt werden:

- Wertschöpfende Tätigkeiten
- Unterstützende Nebentätigkeiten
- Verschwendung

Als Grundlage für die Auslegung der Linie wurden außerdem die Zeiten der einzelnen Prozessschritte aufgenommen. Tabelle 7.2 zeigt einen Ausschnitt des Stapel-Diagramms zu der in Abbildung 7.5 dargestellten Wertstromanalyse. Die Zeitaufnahme wurde in zwei Zyklen aufgenommen, wobei t_i die Montagezeit der einzelnen Durchgänge angibt und \bar{t} den Mittelwert dieser. F gibt die Fortschrittszeit nach Abschluss des Prozessschrittes an. Die Fortschrittszeit des letzten Schrittes entspricht der gesamten Montagezeit.

Insgesamt wurde das Stapel-Diagramm für alle in Abschnitt 7.1.2 aufgelisteten Varianten erstellt. Tabelle 7.1 fasst die Montagezeiten der verschiedenen Varianten zusammen. Der Unterschied zwischen den Montagezeiten der Variante „AS 2/R-1200“ und „AS 2/R-2200“ ergibt sich aufgrund der Vormontage des Motors, welche bei der Variante „AS 2/R-2200“ aufwändiger ist.

Variante	Montagezeiten [min]
AS 1	10,5
UM 1	7,3
AS 2/B-250, MA=M	14,5
AS 2/B-250, MA=RL	13,8
UM 2/B	7,5
AS 2/R-1200, MA=M	21,9
AS 2/R-2200, MA=RL	28,3

Tabelle 7.1.: Montagezeiten gemäß den Stapel-Diagrammen der einzelnen Varianten

7. Ist-Analyse

Nr.	Prozessabschnitt	Arbeitsinhalt	Zy ^a	1	2	\bar{t}^b [sec]	\bar{t}^b [min]
1	Einpressen Antriebs- und Umlenkwalzen	Gehäuse in Presse einlegen					
		Umlenkwalze aufsetzen					
		Hülse einsetzen					
		Distanzring überlegen					
		Sicherungsring überlegen					
		Gehäuse um 180° drehen					
		Pressenhebel betätigen					
		Antriebswalze einlegen					
		Gehäuse um 180° drehen					
		Pressenhebel betätigen	t_i^c	64	72	68	1,1
		Gehäuse entnehmen und ablegen	F^d	64	72	68	1,1
2	Montage Führungsprofile und Streckenverbinder	2 x Senkernagel einstecken					
		Führungsschiene einlegen					
		Abstreifer einsetzen					
		Rechtes Gehäuse einlegen					
		Stellhebel umlegen					
		Nägel einpressen					
		Passfeder einlegen					
		2 x Sechskantschraube mit Sicherungsscheibe einschrauben	t_i^c	76	68	72	1,2
		Gehäuse entnehmen und ablegen	F^d	140	140	140	2,3
...		
7	Abschluss	Sichtprüfung					
		Auftrag auf Pendelwagen zusammenstellen	t_i^c	45	45	45	0,8
		Auftrag abmelden	F^d	828	826	827	13,8

^a Zyklus

^b Mittelwert

^c Zykluszeit

^d Fortschrittszeit

Tabelle 7.2.: Ausschnitt aus dem Stapel-Diagramm der Antriebsstation AS 2/B-250, MA=RL

Als weiteres Beispiel zeigt Tabelle 7.3 einen Ausschnitt des Stapel-Diagramms zu dem Montageprozess der Antriebsstation AS 2/R. Hier wurden beim Prozessschritt „Einpressen Kettenräder und Achsen“ besonders viele Tätigkeiten als Verschwendung eingestuft. Wie im Zuge der Neuplanung der Großteil dieser Tätigkeit eliminiert werden konnte, wird in Abschnitt 8.4.1 beschrieben.

7. Ist-Analyse

Nr.	Prozess- abschnitt	Arbeitsinhalt	Zy ^a	1	2	\bar{t}^b [sec]	\bar{t}^b [min]
...
2	Einpressen Kettenräder und Achsen	Kettenrad unter die Presse legen					
		Kugellager einsetzen					
		Kettenrad positionieren					
		Pressenhebel betätigen					
		Kettenrad umdrehen					
		Zahnriemenrad aufsetzen					
		Stahlplatte auflegen					
		Kettenrad positionieren					
		Pressenhebel betätigen					
		Stahlplatte beiseitelegen					
		Bestücktes Kettenrad beiseitelegen					
		Gehäuse unter die Presse legen					
		Bestücktes Kettenrad aufsetzen					
		Stahlplatte auflegen					
		Gehäuse positionieren					
		Pressenhebel betätigen					
		Stahlplatte beiseitelegen					
		Achse in den Druckbolzen einsetzen					
		Achse mit Druckbolzen in das Gehäuse setzen					
		Gehäuse positionieren					
Pressenhebel betätigen							
Druckbolzen entfernen und beiseitelegen	t_i^c	101	129	115	1,8		
Gehäuse entnehmen und ablegen	F^d	326	326	326	5,4		
...

^a Zyklus

^b Mittelwert

^c Zykluszeit

^d Fortschrittszeit

Tabelle 7.3.: Ausschnitt aus dem Stapel-Diagramm der Antriebsstation AS 2/R-2200,
MA=M

7.3. Analyse der Auftragseingänge

Insgesamt wurden die Auftragseingänge vom 1. Januar 2013 bis zum damals aktuellen Datum, dem 30. April 2015, analysiert. Berücksichtigt wurden jene Varianten, welche gemäß Abschnitt 6.2 in der neu zu gestaltenden Linie produziert werden sollen. In den Berechnungen der Konzepterstellung wird hauptsächlich auf die Werte des Jahres 2014 zurückgegriffen. Abbildung 7.11 zeigt die im Jahr 2014 pro Kalenderwoche bestellten Antriebsstationen und Umlenkungen. Im Allgemeinen ist erkennbar, dass die Bestellungen der Umlenkungen jenen der Antriebsstationen folgen. Abbildung 7.10a zeigt die prozentuale Verteilung der Bestellungen auf die einzelnen Varianten. Während mit einem Anteil von 36% die Variante B das Rennerprodukt darstellt, ist die Variante C mit einem Anteil von nur 5% eher als Exot zu sehen. Die Verhältnisse ergeben sich aus den in Tabelle 7.4 dargestellten Summen der jährlichen Absätze.

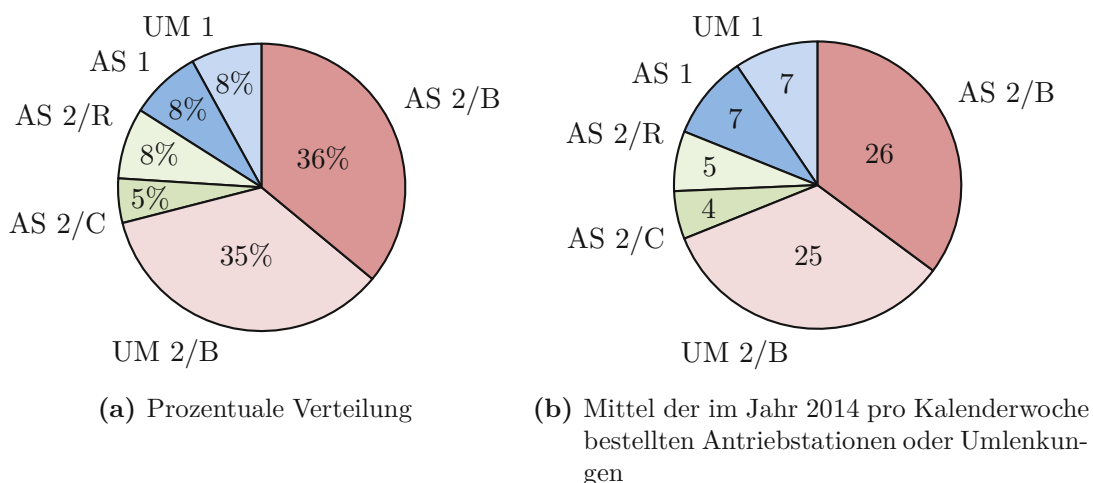


Abbildung 7.10.: Verteilung der Bestellungen

Werden für jede Kalenderwoche und für jede Variante die Bestellungen der Variante in dieser Woche addiert, ergibt dies die in Abbildung 7.11 dargestellte Summe der Bestellungen pro Kalenderwoche und pro Variante. Die Bildung des Durchschnitts aus den Summen aller Bestellungen ergibt, dass im Jahr 2014 im Mittel pro Kalenderwoche 72 Antriebsstationen und Umlenkungen bestellt wurden. Die Zusammensetzung in Bezug auf die einzelnen Varianten ist in Abbildung 7.10b dargestellt. (Die Summe der Mittel der einzelnen Varianten ergibt 74. Der Unterschied zu den oben genannten 72 Antriebsstationen und Umlenkungen resultiert aufgrund von Rundungsfehlern.)

Die Summe aller Bestellungen pro Kalenderwoche zeigt hohe Spitzen und generell eine starke Fluktuation um den Durchschnitt. Dies ist mitunter bedingt durch den Umstand, dass bei der Rennervariante B sowohl Antriebsstationen als auch Umlenkungen gefertigt werden und Bestellungen dieser Variante sich so doppelt auf die Gesamtsumme auswir-

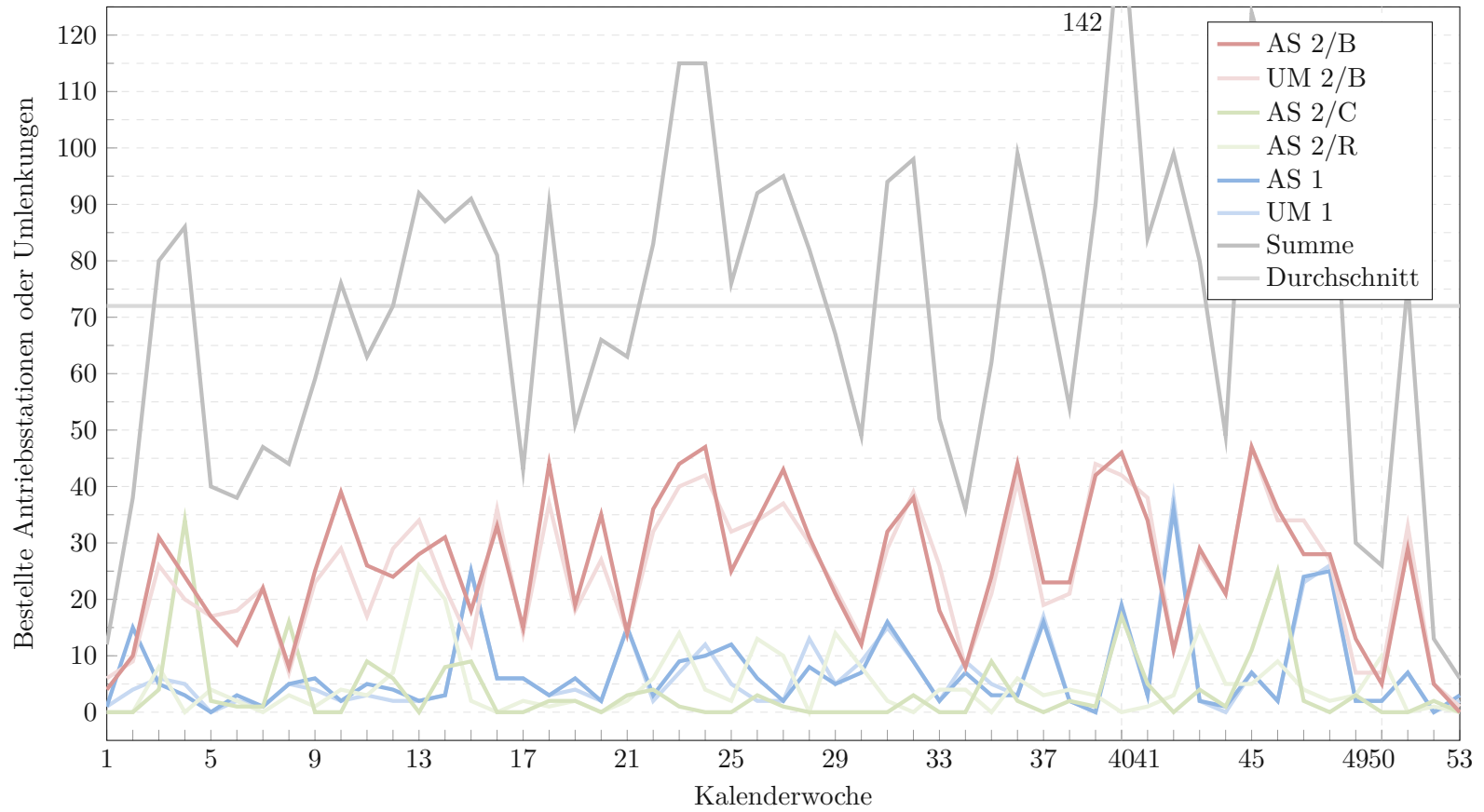


Abbildung 7.11.: Auftragseingänge pro Kalenderwoche im Jahr 2014

7. Ist-Analyse

ken. Im Jahr 2014 wurde in der Kalenderwoche 40 ein Maximum von 142 bestellten Antriebsstationen und Umlenkungen erreicht. Dies entspricht fast mehr als dem Doppelten des Durchschnitts. Abgesehen von den wenigen Auftragseingängen zum Jahreswechsel, wurde in der Kalenderwoche 50 hingegen ein Minimum von nur 26 Antriebsstationen und Umlenkungen festgestellt. Dies entspricht weniger als der Hälfte des Durchschnitts. Abbildung 7.12 zeigt die im Jahr 2014 festgestellten Maxima der einzelnen Varianten.

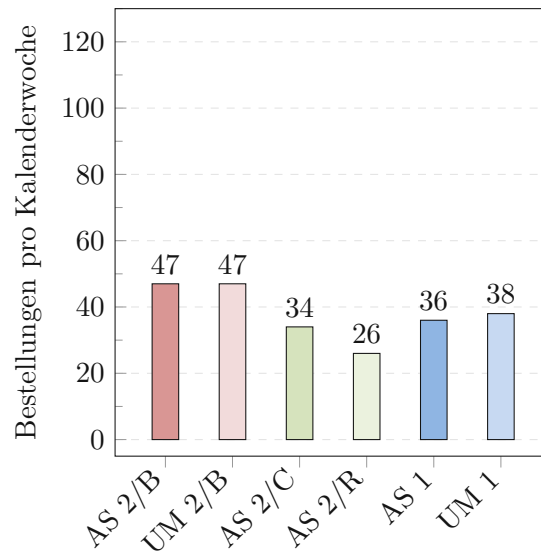


Abbildung 7.12.: Maxima der einzelnen Varianten im Jahr 2014

7. Ist-Analyse

Variante	2013	2014	2015 ^a	Σ	Prozentanteile		
	[Stk]	[Stk]	[Stk]		[Stk]	[%]	[%]
AS 1	244	371	107	722	8%	8%	16%
UM 1	263	352	102	717	8%	8%	
AS 2/B-150, MA=M	342	318	103	763	9%	36%	71%
AS 2/B-150, MA=RL	292	303	75	670	8%		
AS 2/B-250, MA=M	318	230	96	644	7%		
AS 2/B-250, MA=RL	445	505	119	1069	12%		
UM 2/B	1371	1302	358	3031	35%	35%	13%
AS 2/C-400	77	130	33	240	3%	5%	
AS 2/C-700	66	63	32	161	2%	8%	
AS 2/R-1200	171	136	61	368	4%		
AS 2/R-2200	144	106	109	359	4%		
Summe	3733	3816	1195	8744	100%	100%	100%

^a Eingänge bis zum 30. April berücksichtigt

Tabelle 7.4.: Jährliche Absätze der einzelnen Varianten

8. Konzeption Soll-Zustand

Die Konzeption des Soll-Zustandes umfasst gemäß der Einleitung in Kapitel 6 die vier Phasen „Zieldefinition“, „Ideal-“, Real-“ und „Detailplanung“. Bei letzteren drei Phasen geht es in erster Linie um die Planung des Layouts. Dabei wird von einem Groblayout ausgegangen, welches mehr und mehr verfeinert wird, um schlussendlich im Zuge der „Detailplanung“ Arbeitsplätze und Montagevorrichtungen auszugestalten.¹ Abbildung 8.1 verdeutlicht diesen Zusammenhang.

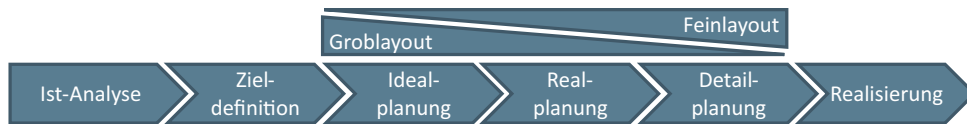


Abbildung 8.1.: Phasen

8.1. Zieldefinition

8.1.1. Allgemeine Ziele und Rahmenbedingungen

Folgende allgemeine Ziele wurden aus der Ist-Analyse abgeleitet und für die Neugestaltung der Linie festgelegt:

1. Stabilisierung und Steigerung der Arbeitseffizienz
2. Vermeiden von Verschwendung
3. Erhöhung der Reaktionsfähigkeit bei Schwankungen des Auftragsvolumens und der verfügbaren Personalkapazität
4. Verkürzung der Durchlaufzeit, jedoch im Speziellen der Auftragsdurchlaufzeit
5. Möglichkeit zur Auslastung der Monteure auch bei Fehlteilen
6. 0-Fehler

Die Auswertung der Auftragseingänge in Abschnitt 7.3 zeigt starke Schwankungen der pro Woche bestellten Antriebstationen und Umlenkungen. So reichten im Jahr 2014 die Bestellungen pro Kalenderwoche von insgesamt 26 bis hin zu 142 Antriebsstation und

¹vgl. Bischoff 2014.

8. Konzeption Soll-Zustand

Umlenkungen. Zusätzlich zeigte sich in der Vergangenheit, dass vor allem in Sommermonaten aufgrund von mangelnder Personalkapazität der Ausgleich dieser Spitzen erschwert wurde. Daher wurde der Punkt „Erhöhung der Reaktionsfähigkeit bei Schwankungen des Auftragsvolumens und der verfügbaren Personalkapazität“ als einer der wichtigsten Punkte eingestuft.

Als Grundlage für die Planung wurden folgende Rahmenbedingungen festgelegt:

- Schichtmodell: 2 Schichten pro Tag zu je 7 Stunden
- Arbeitstage: 5 Tage pro Woche, 240 Tage pro Jahr

Aus diesen Parametern ergibt sich eine Planbelegzeit von 840 Minuten pro Tag oder 4.200 Minuten pro Woche. Um auch in Zukunft den geforderten Bedarf decken zu können, wurden außerdem der Planungshorizont und das jährliche Wachstum wie folgt festgesetzt:

- Planungshorizont: 5 Jahre
- Jährliches Wachstum: 6 Prozent

8.1.2. Künftiger Bedarf und Zielkundentakt

Zur Bestimmung des zukünftigen Bedarfes wird, ausgehend vom Bedarf der Periode i , mit

$$\text{Bedarf}_{i+t} = \text{Bedarf}_i \cdot \left(1 + \frac{p}{100}\right)^t \quad [\text{Stk}] \quad (8.1)$$

der Bedarf an Antriebstationen und Umlenkungen in t Perioden berechnet. p ist dabei die Wachstumsrate oder das oben definierte jährliche Wachstum von 6 Prozent. Der Bedarf zum Zeitpunkt i wird in der vorliegenden Arbeit als der aktuelle Bedarf oder der Bedarf im Jahr 2015 aufgefasst. Mit

$$\text{Kundentakt} = \frac{\text{Planbelegzeit}}{\text{Bedarf}} \quad [\text{min/Stk}] \quad (8.2)$$

errechnet sich der Zielkundentakt für welchen die Linie ausgelegt werden soll. Aufgrund der starken Fluktuation der Auftragseingänge wird dieser im Folgenden auf zwei Arten ermittelt: Einerseits soll zur Berechnung der **mittlerer Bedarf einer Woche** verwendet werden, andererseits der **Bedarf einer Spitzenwoche**.

Als Grundlage für die Berechnung des Bedarfs in t Jahren werden in der vorliegenden Arbeit die Werte aus dem Jahr 2014 verwendet. Da es sich dabei nicht um aktuelle Werte handelt, sondern um Werte aus der Vergangenheit, nämlich dem Jahr 2014, wurde obige Formel 8.1 wie folgt angepasst:

8. Konzeption Soll-Zustand

$$\text{Bedarf}_{i+t} = \text{Bedarf}_{i-1} \cdot \left(1 + \frac{p}{100}\right)^{t+1} \quad [\text{Stk}] \quad (8.3)$$

Gemäß Abschnitt 7.3 lag im Jahr 2014 der durchschnittliche Bedarf einer Kalenderwoche bei insgesamt 72 Antriebsstationen und Umlenkungen. Das Maximum der in einer Woche bestellten Antriebsstationen und Umlenkungen betrug 142. Ausgehend von diesen beiden Werten zeigt Tabelle 8.1 die mit Formel 8.3 errechneten Wochenbedarfe für die nächsten 5 Jahre.

Jahr	Periode	Bedarf	
		Mittel [Stk]	Spitze [Stk]
2014	$i - 1$	72	142
2015	i	76	151
2016	$i + 1$	81	160
2017	$i + 2$	86	169
2018	$i + 3$	86	179
2019	$i + 4$	91	190
2020	$i + 5$	102	201

Tabelle 8.1.: Hochrechnung des Wochenbedarfs einer durchschnittlichen Woche sowie einer Spitzenwoche

Aus diesem Bedarf und der oben genannten Planbelegzeit von 4.200 Minuten errechnet sich mit Formel 8.2 der aktuell und in Zukunft geforderte Kundentakt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 8.2 dargestellt.

Jahr	Bedarf	
	Mittel [min/Stk]	Spitze [min/Stk]
2015	55	28
2016	52	26
2017	49	25
2018	46	23
2019	44	22
2020	42	21

Tabelle 8.2.: Aktuell und in Zukunft geforderter Kundentakt

8.2. Idealplanung

8.2.1. Notwendige Anzahl an Mitarbeitern

Die notwendige Anzahl an Mitarbeitern, um dem in Abschnitt 8.1.2 berechneten Kundentakt gerecht zu werden, errechnet sich mit

$$\text{Anzahl der Mitarbeiter} = \frac{\text{Auftragszeit}}{\text{Kundentakt}}. \quad (8.4)$$

Die Auftragszeit setzt sich gemäß Abbildung 8.2 aus der Rüstzeit und der Ausführungszeit zusammen. Da für die Montage der verschiedenen Antriebsstationen und Umlenkungen keine Rüstvorgänge erforderlich sind, wird die Rüstzeit im Folgenden mit Null angenommen. Die Ausführungszeit wiederum setzt sich aus der Grundzeit, der Erholzeit und der Verteilzeit zusammen. Die Grundzeit stellt jene Zeit dar, welche für die planmäßige Ausführung der Tätigkeiten notwendig ist. Als Grundzeiten werden daher in der vorliegenden Arbeit die in den Stapel-Diagrammen in Abschnitt 7.2 ermittelten Montagezeiten verwendet. Die Verteilzeit ist ebenfalls für die planmäßige Ausführung notwendig, kommt jedoch in unterschiedlicher Häufigkeit und Dauer vor. Sie unterteilt sich in eine sachliche und eine persönliche Verteilzeit. Die Erholzeit ist aufgrund der Tätigkeit zur Erholung des Menschen notwendig. Erhol- und Verteilzeiten werden oft als Prozentsatz der Grundzeit ermittelt.² Bei der Bosch Rexroth AG ist die persönliche Verteilzeit mit 5 Prozent im Tarifvertrag reguliert. Die sachliche Verteilzeit hingegen wird je nach Arbeitsplatz bewertet und ist im Werk Stuttgart in der Montage mit 4 Prozent festgelegt. Daher werden in Summe für die Verteilzeit 9 Prozent der Grundzeit berechnet. Erholzeiten werden nicht berücksichtigt.

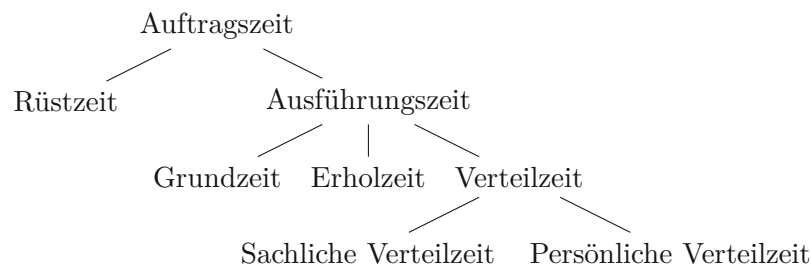


Abbildung 8.2.: Zusammensetzung der Auftragszeit

Da die Montagezeiten der einzelnen Varianten sehr unterschiedlich sind, wurde eine einzelne, nach Absatz gewichtete Montagezeit gebildet. Zur Berechnung dieser wurde mithilfe der prozentualen Anteile der einzelnen Varianten aus Tabelle 7.4 aus Abschnitt 7.3 und deren Montagezeiten aus den Stapel-Diagrammen aus Abschnitt 7.2 die anteilige

²vlg. Kuhlant, Matyas u. a. 2012, S. 279 f.

8. Konzeption Soll-Zustand

Montagezeit jeder einzelnen Variante gebildet. Die Summe dieser ergibt die gewichtete Montagezeit, welche in der weiteren Planung als Grundzeit dienen soll. Mit einem Zuschlag von 9 Prozent für die Verteilzeit wird wie oben beschrieben die Auftragszeit bestimmt. Mit dieser soll im Folgenden die Linie ausgelegt werden. Tabelle 8.3 zeigt die Berechnung der Auftragszeit.

Variante	Montagezeit [min]	Absatzanteil in Prozent [%]	Anteilige Montagezeit [min]
AS 1	10,5	8%	0,9
UM 1	7,3	8%	0,6
AS 2/B-150, MA=M	14,5 ^a	9%	1,3
AS 2/B-150, MA=RL	13,8 ^b	8%	1,1
AS 2/B-250, MA=M	14,5	7%	1,1
AS 2/B-250, MA=RL	13,8	12%	1,7
UM 2/B	7,5	35%	2,6
AS 2/C-400	21,9 ^c	3%	0,6
AS 2/C-700	28,3 ^d	2%	0,5
AS 2/R-1200	21,9	4%	0,9
AS 2/R-2200	28,3	4%	1,2
Gewichtete Montagezeit = Grundzeit [min]			12,3
+ Erholzeit [min]			0,0
+ Verteilzeit [min]			1,1
+ Rüstzeit [min]			0,0
= Auftragszeit [min]			13,5

^a entspricht gemäß Abschnitt 7.1.2 der Zeit der Variante AS 2/B-250, MA=M

^b entspricht gemäß Abschnitt 7.1.2 der Zeit der Variante AS 2/B-250, MA=RL

^c entspricht gemäß Abschnitt 7.1.2 der Zeit der Variante AS 2/R-1200

^d entspricht gemäß Abschnitt 7.1.2 der Zeit der Variante AS 2/R-2200

Tabelle 8.3.: Berechnung der gewichteten Montagezeit sowie der Auftragszeit

Mit Formel 8.4, der eben berechneten Auftragszeit sowie dem Kundentakt aus Abschnitt 8.1.2 errechnet sich die Anzahl der benötigten Mitarbeiter für die nächsten Jahre. Diese Anzahl wird benötigt, um das Auftragsvolumen einer durchschnittlichen Woche bzw. einer Spitzenwoche zu bewältigen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 8.4 dargestellt.

Das Ergebnis der Berechnung zeigt, dass sowohl aktuell als auch in den nächsten Jahren sogar in einer Spitzenwoche ein Mitarbeiter pro Schicht ausreicht, um das Auftrags-

8. Konzeption Soll-Zustand

Jahr	Mitarbeiter	
	Mittlere Woche	Spitzen-woche
2015	0,3	0,5
2016	0,3	0,6
2017	0,3	0,6
2018	0,3	0,6
2019	0,4	0,7
2020	0,4	0,7

Tabelle 8.4.: Notwendige Mitarbeiteranzahl im Mittel und bei einer Spitzenwoche (2 Schichten)

volumen zu bewältigen. Wie jedoch bereits in Abschnitt 8.1.1 angedeutet, zeigte sich in der Vergangenheit, dass zum Beispiel in Sommermonaten aufgrund mangelnder Personalkapazität die Linie nicht immer in beiden Schichten besetzt werden kann. Daher wurde obige Berechnung mit einer Planbelegzeit von nur einer Schicht wiederholt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 8.5 dargestellt.

Jahr	Mitarbeiter	
	Mittlere Woche	Spitzen-woche
2015	0,5	1,0
2016	0,6	1,1
2017	0,6	1,1
2018	0,6	1,2
2019	0,7	1,3
2020	0,7	1,4

Tabelle 8.5.: Notwendige Mitarbeiteranzahl im Mittel und bei einer Spitzenwoche (1 Schicht)

Die erneuerte Berechnung mit einer Planbelegzeit von nur einer Schicht zeigt, dass im Jahr 2015 ein Mitarbeiter noch genau ausreicht, um das Auftragsvolumen einer Spitzenwoche zu bewältigen. Ab 2016 ist jedoch mehr als ein Mitarbeiter notwendig. Ist dann in der einen Schicht nur ein einziger Monteur für Antriebsstationen und Umlenkungen verfügbar, wird die Bewältigung des Auftragsvolumens kritisch. Durch die Gestaltung des Wertstroms gemäß Abschnitt 8.2.2 wird dem entgegengewirkt.

8.2.2. Wertstromdesign

Die Erhöhung der Reaktionsfähigkeit bei Schwankungen des Auftragsvolumens und der verfügbaren Personalkapazität wurde gemäß Abschnitt 8.1.1 als wichtigstes Ziel definiert. In der vorliegenden Arbeit soll dies erreicht werden, indem der Kundenentkopplungspunkt im Wertstrom möglichst weit flussabwärts, also nahe am Kunden, angesiedelt wird. Dies reduziert gemäß Abschnitt 4.2 die Auftragsdurchlaufzeit, wodurch Aufträge schneller abgearbeitet werden können. Zur Verlagerung des Kundenentkopplungspunktes können zum Beispiel gewisse Baugruppen bereits ohne Kundenauftrag vormontiert und zwischengelagert werden. Diese Zwischenlagerung erhöht zwar gemäß Abschnitt 4.2 die Bestände und die Produktionsdurchlaufzeit im Allgemeinen, jedoch wurde dies zugunsten der Reaktionsfähigkeit in Kauf genommen.

Die Wertstromanalyse der verschiedenen Varianten zeigt, dass die Bestückung der Gehäuse bei den Varianten B, C und R jeweils immer gleich ist und auch die entsprechenden Prozessschritte immer am Anfang des Linienwertstroms stehen. In der Wertstromanalyse in Abbildung 7.5 wären dies die Prozessschritte „Einpressen Antriebs- und Umlenkwalzen“ und „Montage Führungsprofile und Streckenverbinder“. Auftragsbezogene Unterschiede ergeben sich erst beim Verbinden der Gehäuse sowie der Montage des Motors aufgrund der vom Kunden gewählten Spurbreite, Motoranordnung und Motorkonfiguration. Es bietet sich daher an, die Bestückung der Gehäuse vom Kundenauftrag zu entkoppeln und in eine Vormontage zu verschieben. Insgesamt wurden folgende Baugruppen für die Vormontage bestimmt:

- Rechtes Gehäuse der Antriebsstation AS 1
- Linkes Gehäuse der Antriebsstation AS 1
- Rechtes Gehäuse der Umlenkung UM 1
- Linkes Gehäuse der Umlenkung UM 1
- Rechtes Gehäuse der Antriebsstation AS2/B
- Linkes Gehäuse der Antriebsstation AS2/B
- Rechtes Gehäuse der Umlenkung UM 2/B
- Linkes Gehäuse der Umlenkung UM 2/B
- Rechtes Gehäuse der Antriebsstation AS2/C
- Linkes Gehäuse der Antriebsstation AS2/C
- Rechtes Gehäuse der Antriebsstation AS2/R
- Linkes Gehäuse der Antriebsstation AS2/R
- Rechte Abdeckplatte für die Antriebsstationen AS2/C und R
- Linke Abdeckplatte für die Antriebsstationen AS2/C und R

Die restlichen Prozessschritte, welche das Verbinden der Gehäuse und die Montage des Motors umfassen, erfolgen in der Endmontage. Abbildung 8.3 zeigt das entworfene Wertstromdesign, welches aus der Wertstromanalyse der Variante AS 2/B-250, MA=RL in Abbildung 7.5 abgeleitet wurde. Das Design ist ebenfalls gültig für die Variante AS

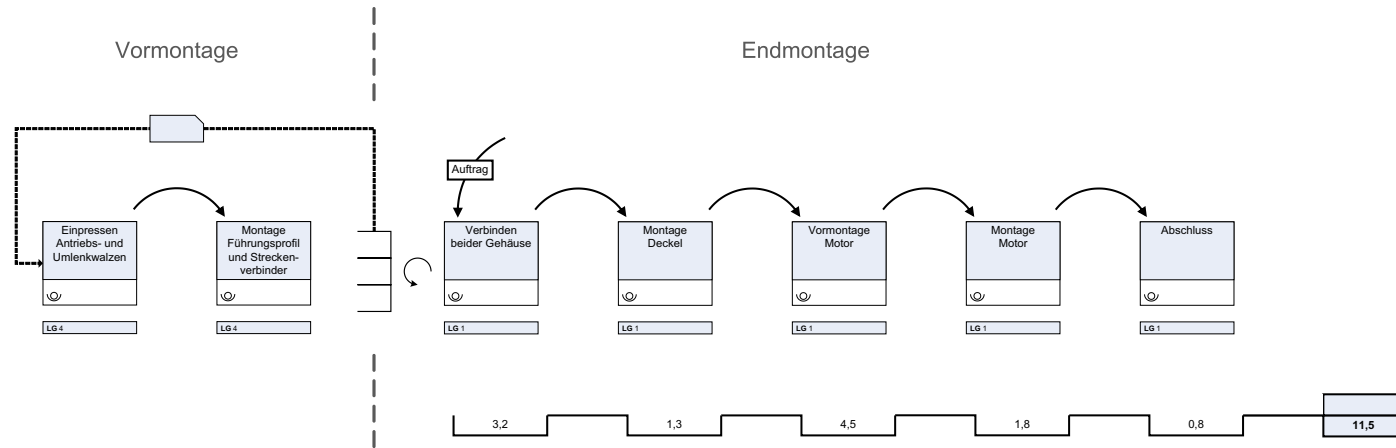


Abbildung 8.3.: Wertstromdesign auf Linienebene für Antriebsstationen der Variante AS 2/B, MA=RL (Die Zeiten wurden der Wertstromanalyse der Variante AS 2/B-250, MA=RL entnommen.)

8. Konzeption Soll-Zustand

2/B-150, MA=RL. Der Abschnitt, welcher die Vormontage betrifft, gilt für alle Antriebsstationen der Variante B. Die Zeiten wurden der Wertstromanalyse der Variante AS 2/B-250, MA=RL entnommen. Zwischen der Vor- und der Endmontage wird ein Supermarkt angelegt, in welchem die bestückten Gehäuse zwischengelagert werden. Die Verkettung zwischen der Vor- und Endmontage erfolgt durch das 2-Kisten- oder Kanban-Prinzip. Auf die genaue Realisierung dieser Verkettung soll im Zuge der Layoutplanung auf „grüner Wiese“ in Abschnitt 8.2.4 eingegangen werden.

Der Vergleich der Wertstromanalyse in Abbildung 7.5 mit dem Wertstromdesign in Abbildung 8.3 zeigt, dass der Kundenentkopplungspunkt nun im Wertstrom weiter hinten angesiedelt ist und die Auftragsdurchlaufzeit verringert wurde. Der Auftrag geht nun nicht mehr beim Prozessschritt „Einpressen Antriebs- und Umlenkwalzen“ ein, sondern erst beim Schritt „Verbinden beider Gehäuse“. Die Auftragsdurchlaufzeit hat sich in den dargestellten Wertströmen von 13,8 Minuten auf 11,5 Minuten verringert. Spitzen mit vielen Aufträgen können damit also in kürzerer Zeit abgearbeitet werden. Außerdem dient der Supermarkt zwischen der Vor- und Endmontage wie ein Puffer und gleicht ebenfalls Schwankungen aus. Bei hoher Personalkapazität und wenig Aufträgen wird der Supermarkt aufgefüllt, bei wenig Personal und vielen Aufträgen kann hingegen aus dem Supermarkt gezogen werden. Zusätzlich handelt es sich in der Vormontage um relativ einfache und schnell erlernbare Montageschritte. Daher kann bei Unterbesetzung der Stammebelegschaft eine Hilfskraft für die Vormontage schnell eingelernt und anschließend eingesetzt werden.

Aus den Stapel-Diagrammen der einzelnen Varianten lässt sich abschätzen wie viele Minuten der gesamten Montagezeit auf die Vormontage der oben aufgelisteten Baugruppen entfällt. Aus den einzelnen Vormontagezeiten wurden gleich wie in Abschnitt 8.2.1 mithilfe der prozentualen Anteile die anteiligen Vormontagezeiten gebildet und zur gewichteten Vormontagezeit summiert. Inklusiv dem Zuschlag für die Verteilzeit beträgt diese 3,7 Minuten. Damit entfallen von den 13,5 Minuten der gewichteten Auftragszeit 3,7 Minuten auf die Vormontage und 9,8 Minuten auf die Endmontage. Tabelle 8.6 zeigt wie sich dann bei zwei Schichten die Anzahl der Mitarbeiter auf die Vor- und Endmontage aufteilt. Gleiches wird in Tabelle 8.7 dargestellt, jedoch für eine Planbelegzeit von nur einer Schicht.

In Abschnitt 8.2.1 wurde besprochen, dass im Jahr 2015 noch ein Mitarbeiter ausreicht, um das Auftragsvolumen einer Spitzenwoche zu bewältigen, jedoch bereits ab 2016 1,1 Mitarbeiter notwendig wären. Dieser Berechnung wurde eine Planbelegzeit von nur einer Schicht zu Grunde gelegt, mit dem Hintergrund, dass aufgrund von mangelnder Personalkapazität nicht immer beide Schichten besetzt werden können. Im Folgenden wird also davon ausgegangen, dass nur ein Monteur für die Montage von Antriebsstationen und Umlenkungen verfügbar ist. Im Jahr 2015 wechselt dieser eine Monteur zwischen der Vor- und Endmontage und kann so problemlos alle Aufträge abarbeiten. Ab 2016 greift das neue Wertstromdesign: Da der Monteur nun bereits in der Endmontage gut ausgelastet ist, kann er nicht mehr so oft zwischen der Vor- und Endmontage wechseln.

8. Konzeption Soll-Zustand

Jahr	Anzahl der Mitarbeiter			
	Vormontage		Endmontage	
	Mittlere Woche	Spitzen-woche	Mittlere Woche	Spitzen-woche
2015	0,1	0,2	0,2	0,3
2016	0,1	0,2	0,2	0,4
2017	0,1	0,2	0,2	0,4
2018	0,1	0,2	0,2	0,4
2019	0,1	0,2	0,3	0,5
2020	0,1	0,2	0,3	0,5

Tabelle 8.6.: Aufteilung der Mitarbeiter auf die Vor- und Endmontage (2 Schichten)

Jahr	Anzahl der Mitarbeiter			
	Vormontage		Endmontage	
	Mittlere Woche	Spitzen-woche	Mittlere Woche	Spitzen-woche
2015	0,2	0,3	0,3	0,7
2016	0,2	0,3	0,4	0,8
2017	0,2	0,3	0,4	0,8
2018	0,2	0,4	0,4	0,8
2019	0,2	0,4	0,5	0,9
2020	0,2	0,4	0,5	1,0

Tabelle 8.7.: Aufteilung der Mitarbeiter auf die Vor- und Endmontage (1 Schicht)

Wie bereits oben angesprochen, sind die Montagetätigkeit der Vormontage als eher einfach zu bewerten, weshalb dort leicht ein neuer Monteur eingearbeitet werden kann und so den Monteur der Endmontage entlastet. Spätestens im Jahr 2020 gibt der Monteur der Endmontage das Montieren in der Vormontage vollständig ab. Ab diesem Zeitpunkt wird er zu 100 Prozent in der Endmontage benötigt. Für die Vormontage müssen bis dahin ausreichend andere Monteure eingearbeitet werden, um diese zumindest halbschichtig besetzen zu können. Ziel ist, die Vormontage durch Monteure zu besetzen, welche in ihrer eigenen Linie gerade nicht benötigt werden. Damit wird die Flexibilität in Bezug auf den Einsatz der Mitarbeiter erhöht und die Reaktionsfähigkeit bei schwankender Personalkapazität wiederum gesteigert.

Durch die Teilung des Montageprozess in eine Vor- und Endmontage und dem dazwischenliegenden Supermarkt fällt es auch leichter, Monteure bei Fehlteilen auszulasten. Dies wurde ebenfalls als Ziel in Abschnitt 8.1.1 definiert. Fehlen zum Beispiel Teile in der Endmontage, kann vorgearbeitet werden bis der Supermarkt komplett aufgestockt

8. Konzeption Soll-Zustand

ist. Mit einem vollen Supermarkt kann dann bei Wiederverfügbarkeit der Fehlteile der Rückstand schneller aufgeholt werden. Fehlen hingegen in der Vormontage Teile, kann, bis der Supermarkt leer ist, in der Endmontage trotzdem weiter montiert werden.

8.2.3. Grundsätzlicher Aufbau eines Arbeitsplatzes

Bevor auf die Layoutplanung eingegangen wird, soll der grundsätzliche Aufbau eines Arbeitsplatzes aufgezeigt werden. Im Allgemeinen werden im Werk Stuttgart die Montagearbeitsplätze gemäß Abbildung 8.4 gestaltet.

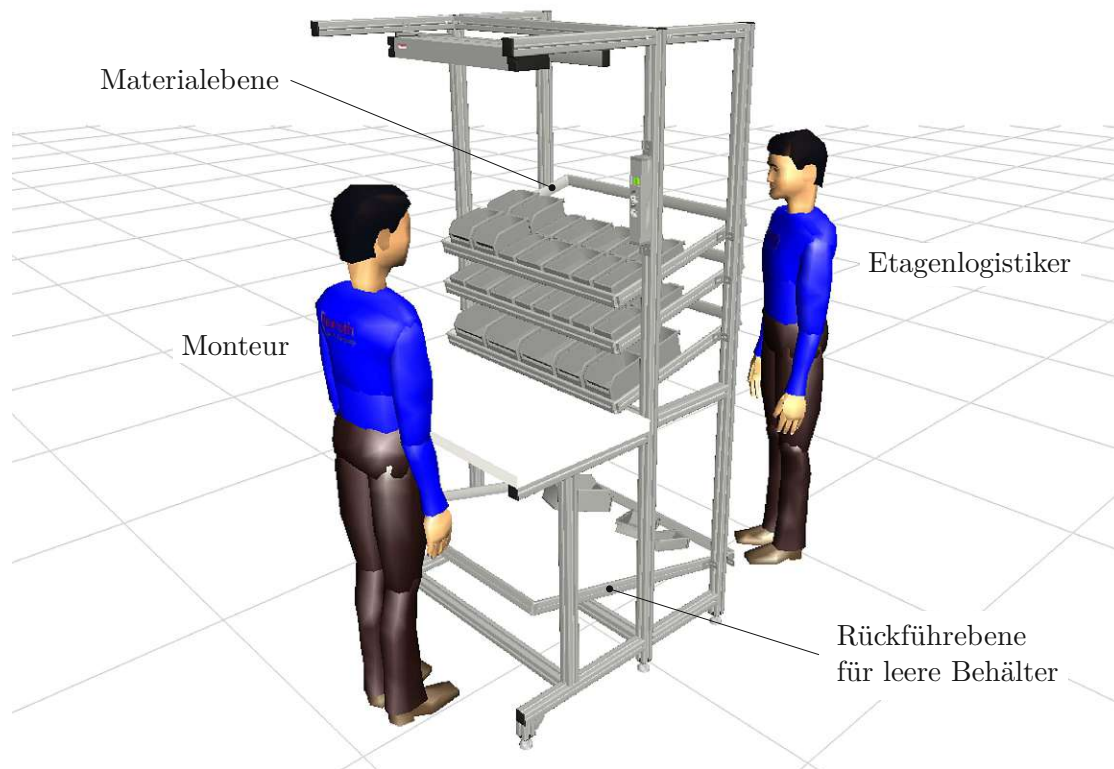


Abbildung 8.4.: Grundsätzlicher Aufbau eines Arbeitsplatzes

Wie bereits in Abschnitt 7.1 besprochen, liegen die meisten der zur Montage benötigten Teile in der Linie bereit, während andere, auftragspezifische Teile erst mit dem Auftrag an die Linie gebracht werden. Die Teile, welche in der Linie bereit liegen sollen, werden über die Materialebenen des Arbeitsplatzes zugeführt. Die Versorgung erfolgt hier über das 2-Kisten- oder Kanban-Prinzip: Wird ein Behälter leer, legt der Monteur der Linie diesen auf der Rückführebene ab. Im Zuge des Milkruns sammelt der Etagenlogistiker

8. Konzeption Soll-Zustand

alle leeren Behälter ein, um diese wieder zu befüllen. Das Behälteretikett gibt dabei die benötigte Materialnummer sowie die Anzahl der Teile vor und in welchem Lager oder Supermarkt diese zu finden sind. Zusätzlich zeigt das Etikett, zu welcher Linie, an welchen Arbeitsplatz und auf welche Materialebene der Behälter zurückgebracht werden muss. Auf der Rückseite jeder Materialebene sind ebenfalls Etiketten angebracht und kennzeichnen so die genaue Position des Behälters. Abbildung 8.5 zeigt als Beispiel das Etikett eines Behälters für Schrauben. Als Lagerort ist hier der Supermarkt für C-Teile angegeben.

2.910.141.195		Anz voll	
INNENSECHSKANTSCHR			
DIN 912-M6X14-8.8			
Quelle:		Senke (Arb.Pl.):	
C	3/7	Linie 1	5/2

Abbildung 8.5.: Beispiel für das Etikett eines Materialbehälters

8.2.4. Layoutplanung auf „grüner Wiese“

Für die in Abschnitt 6.2 beschriebenen Transfersysteme gibt es ebenfalls Kurven. Die Linie für die Montage der Kurven sollte ebenso neu gestaltet werden, und zwar zeitgleich mit dem vorliegenden Projekt. Die Ist-Analyse und die Entwürfe für das Wertstromdesign der beiden Linien zeigte, dass durch eine räumliche Zusammenlegungen gewisse Synergieeffekte genutzt werden könnten. Ähnlich wie oben beschrieben, sollten auch in der Linie für die Montage der Kurven gewisse Baugruppen in eine Vormontage ausgelagert werden. Obige Berechnung der Mitarbeiteranzahl zeigt, dass in der Vormontage in einer Spitzenwoche bei einer Planbelegzeit von einer Schicht ab dem Jahr 2018 0,4 Mitarbeiter benötigt werden. Wird nun ein Mitarbeiter komplett für die Vormontage eingeplant, wäre dieser nur eine halbe Schicht beschäftigt. Ähnliches wurde für die Vormontage der Kurven festgestellt. Um den für die Vormontage bestimmten Monteur optimal auszulasten, wurde bei der Layoutplanung ein Ansatz gewählt, bei welchem die beiden Vormontagen zu einer Vormontage zusammengelegt sind und diese eine Vormontage von einem einzigen Mitarbeiter bedient werden kann. Die Endmontage der Antriebsstationen und jene der Kurven sollten allerdings weiterhin auf getrennten Bereichen erfolgen.

In Abschnitt 8.2.2 wurde bereits angesprochen, dass die Verkettung zwischen der Vor- und Endmontage durch das 2-Kisten- oder Kanban-Prinzip erfolgen sollte. Dazu sind zwischen den beiden Montagen Behälter im Umlauf, welche eine definierte Anzahl an Baugruppen aufnehmen. In der Vormontage werden die Behälter mit der entsprechenden Baugruppe befüllt und anschließend im Supermarkt zwischen der Vor- und Endmontage bereitgestellt. Der Mitarbeiter der Endmontage entnimmt den Behältern die benötigten

8. Konzeption Soll-Zustand

Baugruppen und verbaut diese. Ist eine Kiste leer, wird sie in die Vormontage zurückgeschickt und gibt somit das Signal, dass die entsprechende Baugruppe nachproduziert werden muss. Damit ergeben sich zwischen der Vor- und Endmontage zwei Flüsse:

1. Vormontage → Endmontage (volle Behälter)
2. Endmontage → Vormontage (leere Behälter)

Für den ersteren Fluss wurde definiert, dass die leeren Behälter nach dem FIFO-Prinzip in der Vormontage ankommen sollen: Der Mitarbeiter der Vormontage sollte die Behälter in jener Reihenfolge abarbeiten, in welcher sie in den beiden Endmontagen leer wurden. Damit wird sicher gestellt, dass der Kreislauf funktioniert. Als Transportmedium für die leeren Behälter wurde eine Behälterrutsche gewählt, welche in der Endmontage beginnt und in der Vormontage endet. Wird eine Kiste leer, so braucht der Monteur der Endmontage diese lediglich auf der Rutsche abstellen. Durch die Schwerkraft rollt die Kiste automatisch in die Vormontage. Da unter Umständen die Vormontage nicht immer besetzt ist, muss diese Rutsche einen gewissen Vorrat an leeren Kisten aufnehmen können.

Für den Fluss von der Vormontage in die Endmontage wurden im Zuge der Layoutplanung verschiedene Möglichkeiten angedacht. Anders als bei den leeren Behältern reicht es nicht, dass die vollen Behälter einfach nur in der Endmontage ankommen. Stattdessen sollten die vollen Behälter aus der Vormontage direkt an den Arbeitsplätzen bereitgestellt werden, an welchen die Baugruppen später benötigt werden. Die Bereitstellung soll dabei ebenfalls über die Materialebenen der jeweiligen Arbeitsplätze erfolgen. Dadurch hat der Monteur der Endmontage die Baugruppen beim Montieren sofort zur Hand. Der im Wertstromdesign in Abbildung 8.3 dargestellte Supermarkt ist also in die Arbeitsplätze integriert. Das Einsortieren der vollen Behälter in die entsprechenden Materialebenen der Endmontage kann entweder durch

1. den Monteur der Vormontage,
2. den Etagenlogistiker oder
3. ein automatisches Transfersystem

erfolgen. Letztere Möglichkeit wurde aus Kostengründen und aufgrund der Komplexität nicht weiter verfolgt. Gemäß Leitlinie Nr. 8 aus Abschnitt 4.1 sollen logistische Tätigkeiten und Montagetätigkeiten möglichst auseinander gehalten werden. Daher wurde der Monteur der Vormontage ebenfalls ausgeschlossen. Somit wurde entschieden, dass der Etagenlogistiker die vollen Behälter von der Vormontage zur Endmontage bringen sollte, um diese dort in die entsprechende Materialebene einzusortieren. Da in bestimmten Fällen ein voller Behälter bis zu zwanzig Kilo wiegen kann, wurde in den Layoutentwürfen eine Rollenbahn vorgesehen, auf welcher die Behälter von der Vor- in die Endmontage geschoben werden können. Abbildung 8.6 zeigt die in den Layoutentwürfen verwendeten Symbole und deren Bedeutung. Die verschiedenen Layoutvarianten sind in den Abbildungen 8.7 bis 8.10 dargestellt.

8. Konzeption Soll-Zustand

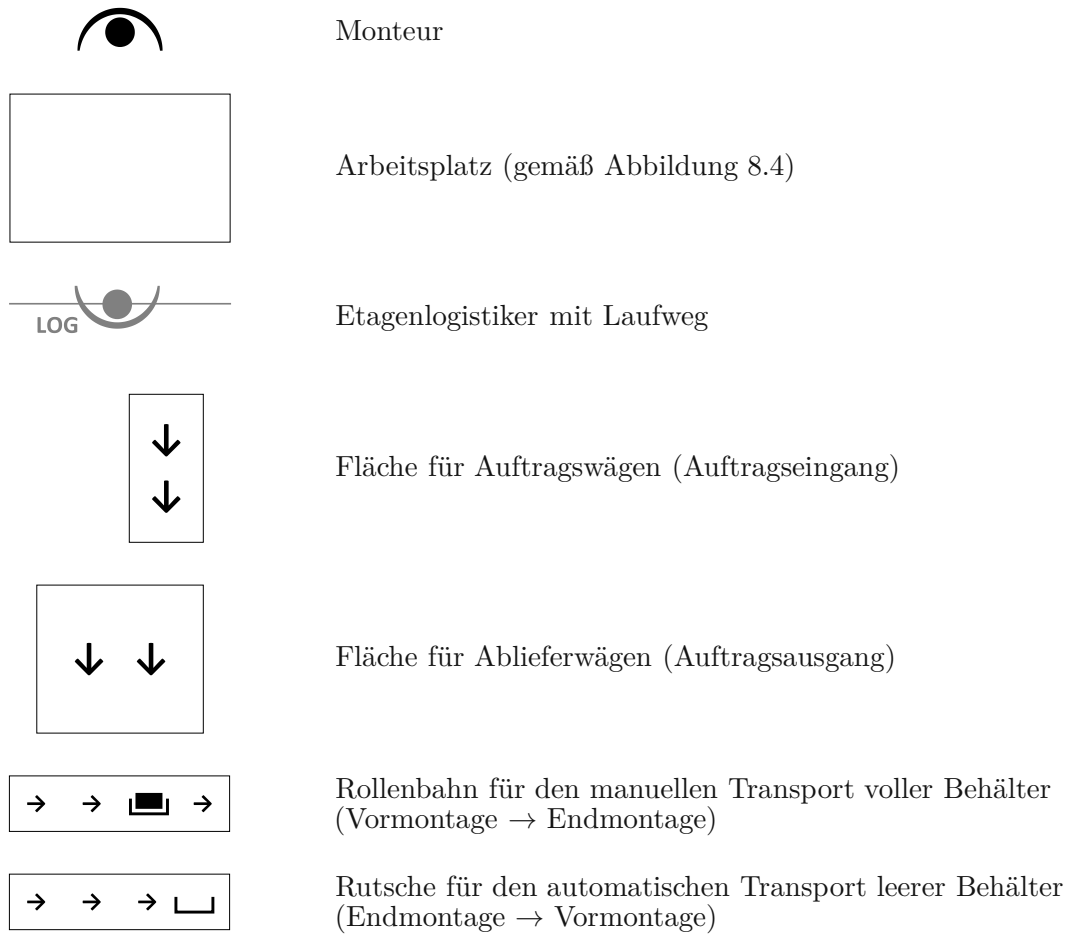


Abbildung 8.6.: Symbole

Im Folgenden sollen die einzelnen Varianten in Bezug auf die funktionalen Bestandteile beschrieben und verglichen werden.

Auftragsein- und -ausgang

Allen Varianten gemeinsam ist der Auftragsein- und -ausgang. Die beiden Endmontagen haben dazu jeweils ihre eigene Fläche, an welcher die Auftragswägen für die jeweiligen Produkte (Antriebstationen und Umlenkungen bzw. Kurven) durch den Etagenlogistiker abgestellt werden. Pro Fläche finden bis zu zwei Auftragswägen Platz. Die Ablieferung erfolgt wie bereits besprochen über die Ablieferwägen. Auch hier hat jede Endmontage ihre eigene Fläche, an welcher bis zu zwei Ablieferwägen bereitgestellt werden können. Um einem schlanken Materialfluss gerecht zu werden, sind die Ablieferflächen jeweils an den Enden der Endmontagen angesiedelt. Die Auftragseingänge sind entweder an

8. Konzeption Soll-Zustand

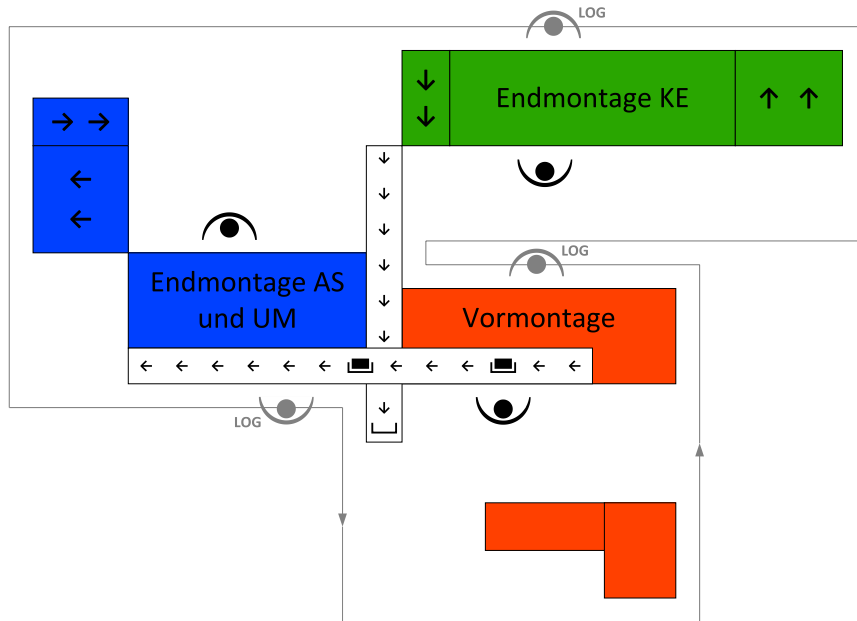


Abbildung 8.7.: Variante 1

den Anfängen der Endmontagen oder neben den Ablieferflächen angeordnet. Im letzteren Fall nimmt der Monteur nach dem Fertigstellen eines Auftrages den Auftragswagen für den nächsten Auftrag zum Anfang der Linie bzw. zum ersten Arbeitsplatz mit. In der Nutzwertanalyse in Abschnitt 8.3.1 wird der Materialfluss anhand dem Kriterium „Materialfluss in den Linien“ bewertet. Wie gut sich der Auftragsein- und -ausgang in das bestehende Hallenlayout einbetten ließe, wird mit dem Kriterium „Flächenbedarf u. Anbindung an Halle“ berücksichtigt.

Verkettung zwischen Vor- und Endmontage

Wie oben besprochen soll für den Fluss von der Endmontage in die Vormontage eine Behälterrutsche vorgesehen werden und für den umgekehrten Fluss eine Rollenbahn, an welcher der Etagenlogistiker die vollen Behälter entlang schieben kann. Die Baugruppen der Kurven sind im Vergleich zu jenen der Antriebsstationen und Umlenkungen wesentlich leichter, weshalb hier die Behälter leicht getragen werden können und so keine Rollenbahn notwendig ist. In den Varianten 1 und 2 ist die Rollenbahn bis zum Ende der Vormontage in den Montagebereich dieser integriert und verläuft dann hinter den Arbeitsplätzen der Endmontage weiter. Bis an das Ende der Vormontage werden die Behälter vom Monteur der Vormontage geschoben, um danach von dort vom Etagenlogistiker übernommen und an den entsprechenden Arbeitsplatz der Endmontage gebracht

8. Konzeption Soll-Zustand

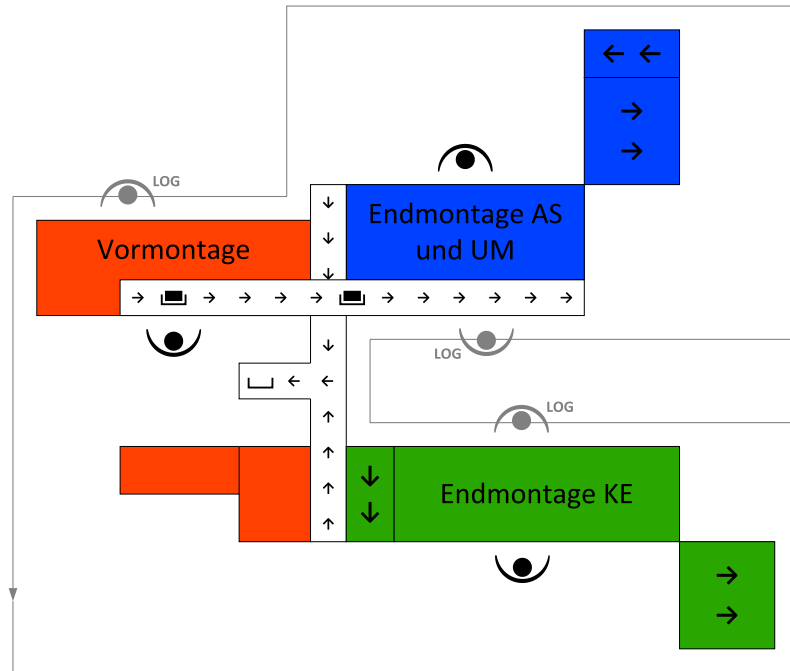


Abbildung 8.8.: Variante 2

zu werden. In den Varianten 3 und 4 schiebt der Monteur der Vormontage die Behälter hingegen nach hinten ab. Dort übernimmt sie wiederum der Etagenlogistiker und schiebt sie entlang der Rückseite der beiden Montagen an den richtigen Arbeitsplatz der Endmontage.

Die Rutsche für die leeren Behälter ist in den Varianten 1 und 3 relativ einfach mittels einer geraden, abschüssigen Rollenbahn realisierbar. In den Varianten 2 und 4 ist die Situation aufgrund der Anordnung der Montagen etwas komplizierter: Damit das FIFO-Prinzip eingehalten wird, braucht die Rutsche eine oder mehrere Umlenkungen. Die Bewertung der Verkettung erfolgt in der Nutzwertanalyse mittels den Kriterien „Anbindung von End- zur Vormontage“ bzw. „Anbindung von Vor- zu Endmontage“.

Arbeitsplätze

Während an der Vorderseite der Arbeitsplätze montiert wird, muss die Rückseite für den Etagenlogistiker zugänglich bleiben. Wie bereits besprochen, wird auf diesem Weg die Materialversorgung an den Arbeitsplätzen sichergestellt. Je nach Anordnung der Montagen in den verschiedenen Layoutvarianten sind entweder die Vorderseiten der Arbeitsplätze, die Rückseiten oder die Vorder- und Rückseiten zueinander gewandt. In Variante 1 liegt zum Beispiel die Vorderseite der Endmontage der Kurven der Rückseite

8. Konzeption Soll-Zustand

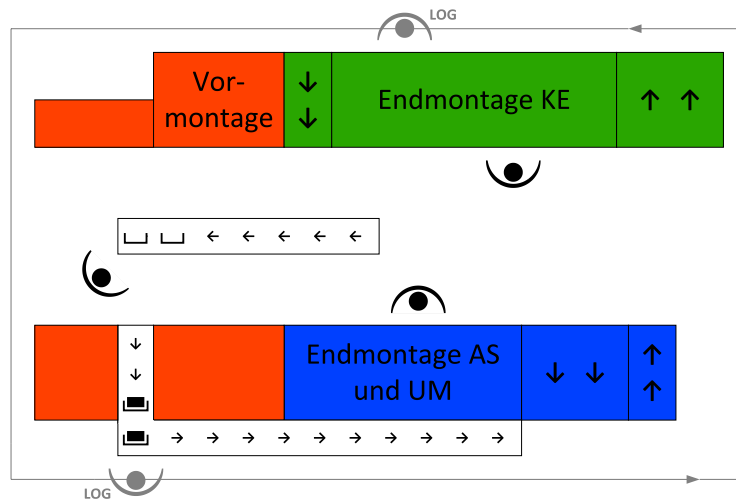


Abbildung 8.9.: Variante 3

der Vormontage gegenüber. Wenn der Etagenlogistiker nun der Vormontage Material zuführt, arbeitet dieser im Rücken des Monteurs der Endmontage der Kurven und lenkt diesen unter Umständen in seiner Montagetätigkeit ab. Eine ähnliche Situation ergibt sich in der Variante 4: Hier liegt die Vorderseite der Vormontage an der Rückseite der Endmontage der Kurven. In die Nutzwertanalyse fließt dieser Umstand mittels des Kriteriums „Trennung zw. Montage u. Logistik“ ein. Die Varianten 2 und 3 schneiden hier besser ab: In Variante 2 sind die Rückseiten der beiden Endmontagen und in Variante 3 die Vorderseiten dieser einander zugewandt und trennen so Monteure und Logistiker.

Sind wie in Variante 2 die Rückseiten einander gegenüber, wirkt sich dies ebenfalls positiv auf den Laufweg des Logistikers aus: Dieser kann dadurch gleichzeitig beiden Endmontagen Material zuführen. In der Nutzwertanalyse wird der Laufweg des Logistikers mit dem Kriterium „Laufwege des Etagenlogistiklers“ bewertet. Sind hingegen wie in der Variante 3 die Vorderseiten der Endmontagen einander zugewandt, ist zwar der Laufweg des Logistikers länger und mit mehreren Stopps verbunden, jedoch können sich die Monteure untereinander austauschen. Grundsätzlich soll die Qualifikation der Monteure erhöht sowie die Möglichkeit geschaffen werden, dass diese sich gegenseitig bei den verschiedenen Produkten einlernen können. Durch den Informationsaustausch zwischen den Monteuren kann dies unterstützt werden. In der Nutzwertanalyse wird die Möglichkeit zum Informationsaustausch anhand des Kriteriums „Informationsaustausch zw. Monteuren“ berücksichtigt.

8. Konzeption Soll-Zustand

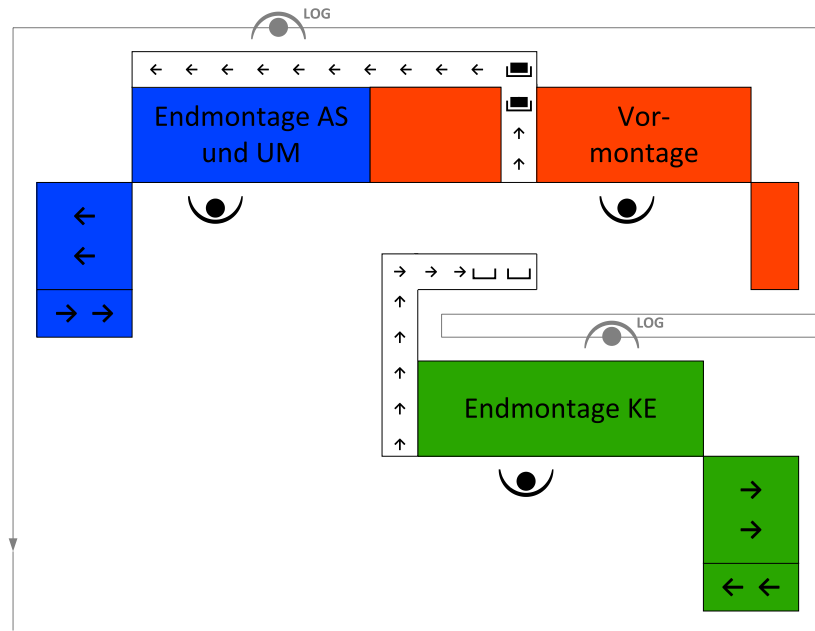


Abbildung 8.10.: Variante 4

Trotz der Trennung von Vor- und Endmontage kann es von Zeit zu Zeit notwendig sein, dass die Monteure die Montage wechseln müssen - zum Beispiel wie oben besprochen in der ersten Phase nach Anlauf der Linie oder wenn eine Baugruppen in der Vormontage fehlerhaft montiert oder ein Teil vergessen wurde. Vor allem aufgrund der Behältererrutsche ist in den Varianten 1, 2 und 4 der Weg von der Endmontage in die Vormontage recht umständlich, in Variante 3 hingegen sehr einfach. In die Nutzwertanalyse fließt dieser Umstand mit dem Kriterium „Laufwege der Monteure“ ein.

8.3. Realplanung

Im Zuge der Realplanung soll die beste der vier Layoutvarianten aus Abschnitt 8.2.4 anhand einer Nutzwertanalyse ermittelt werden. Die ausgewählte Variante wird dann anschließend auf das tatsächliche Hallenlayout umgelegt werden. Für die Auslegung der Behältererrutsche und des Supermarkts zwischen der Vor- und Endmontage muss die benötigte Anzahl der sich im Umlauf befindlichen Behälter ermittelt werden. Dies wird mit der Bosch Kanban-Formel bewerkstelligt.

8.3.1. Nutzwertanalyse

Die für die Nutzwertanalyse bestimmten Bewertungskriterien wurden teilweise bereits bei der Beschreibung der verschiedenen Layoutvarianten in Abschnitt 8.2.4 angesprochen. Folgend eine Zusammenfassung aller Kriterien und Fragestellungen welche im Zuge der anschließenden Nutzwertanalyse beantwortet werden sollen:

- **Flexibilität bzgl. Mitarbeiterinsatz:** Wie flexibel können Mitarbeiter in den verschiedenen Bereichen eingesetzt werden?
- **Materialfluss in den Linien:** Wie gut ist der Fluss von Auftragsein- zu -ausgang in den einzelnen Montagen?
- **Anbindung von End- zur Vormontage:** Wie vorteilhaft ist die Gestaltung der Behälterrutsche?
- **Anbindung von Vor- zur Endmontage:** Wie gut lässt sich die Rollenbahn für die vollen Behälter in das Layout integrieren?
- **Trennung zw. Montage u. Logistik:** Wie gut sind die Tätigkeitsbereiche der Monteure und des Etagenlogistiklers voneinander getrennt?
- **Flächenbedarf u. Anbindung an Halle:** Wie sieht die Flächennutzung im Allgemeinen aus und wie gut lassen sich die Auftragsein- und -ausgänge der beiden Endmontagen in das bestehende Hallenlayout einbetten?
- **Laufwege des Etagenlogistiklers:** Wie ist der Laufweg des Logistiklers und seine Stopps entlang der Route zu beurteilen?
- **Laufwege der Monteure:** Wie sind die Laufwege der Monteure zwischen der Vor- und den beiden Endmontagen zu bewerten?
- **Informationsaustausch zw. Monteuren:** Wie gut können sich die Monteure untereinander austauschen?

Vor der Durchführung der Nutzwertanalyse müssen die einzelnen Kriterien gewichtet werden. In der vorliegenden Arbeit wurde dazu der Ansatz des paarweisen Vergleiches gewählt. Dieser ist in Tabelle 8.8 dargestellt. Jedes Kriterium wird dabei mit jedem verglichen, wobei entschieden wird, ob es weniger wichtig (1 Punkt), gleich wichtig (2 Punkte) oder wichtiger ist (3 Punkte). Die Punkte, welche das Kriterium erhält, werden summiert. Anhand der Summen der einzelnen Kriterien können diese nach ihrer Wichtigkeit gereiht werden.³ Als wichtigstes Kriterium stellte sich der Flächenbedarf und die Anbindung an das Hallenlayout heraus. Fast genauso wichtig ist an zweiter Stelle wie

Kriterien										Punkte	Gewicht	Rang
											[%]	
Flexibilität bzgl. Mitarbeiterinsatz		2	3	3	3	1	3	2	3	23	15,6%	2
Materialfluss in den Linien	2		3	3	3	1	3	2	3	20	13,6%	3
Anbindung von End- zur Vormontage	1	1		2	3	1	3	1	3	15	10,2%	5
Anbindung von Vor- zur Endmontage	1	1	2		3	1	3	1	3	15	10,2%	5
Trennung zw. Montage u. Logistik	1	1	1	1		1	3	1	3	12	8,2%	7
Flächenbedarf u. Anbindung an Halle	3	3	3	3	3		3	3	3	24	16,3%	1
Laufwege des Etagenlogistiklers	1	1	1	1	1	1		1	1	8	5,4%	9
Laufwege der Monteure	2	2	3	3	3	1	3		3	20	13,6%	3
Informationsaustausch zw. Monteuren	1	1	1	1	1	1	3	1		10	6,8%	8
										147	100,0%	-

1 = weniger wichtig als
2 = gleichwertig zu
3 = wichtiger als

Tabelle 8.8.: Paarweiser Vergleich

8. Konzeption Soll-Zustand

flexibel Mitarbeiter eingesetzt werden können. An letzter Stelle steht der Laufweg des Logistikers.

Tabelle 8.9 zeigt die Nutzwertanalyse für die in Abschnitt 8.2.4 beschriebenen Layoutvarianten. Jede Variante wurde im Rahmen dieser in Bezug auf die einzelnen Kriterien bewertet (B_i). Vergeben wurden dabei 0 bis 5 Punkte, wobei 0 die oben gestellten Fragen mit „sehr schlecht“ und 5 mit „sehr gut“ beantwortet. Dazwischen steht 1 für „schlecht“, 2 für „mittelmäßig“ und 3 für „gut“. In der zweiten Spalte sind die Gewichte der einzelnen Kriterien aus dem paarweisen Vergleich eingetragen (G_i). Mit

$$n_i = B_i \cdot G_i \quad (8.5)$$

ergibt sich der Teilnutzwert n_i für das entsprechende Kriterium i . Die Summe aller Teilnutzwerte ergibt den Gesamtnutzwert N der Layoutvariante:

$$N = \sum_i n_i \quad (8.6)$$

Wie zu sehen ist, schneidet die Variante 3 mit einem Gesamtnutzwert von insgesamt 4,4 Punkten am besten ab. Auch in den beiden wichtigsten Kriterien „Flexibilität bzgl. Mitarbeitereinsatz“ und „Flächenbedarf u. Anbindung an Halle“ liegt diese Variante vorne. Im Folgenden soll die Bewertung der einzelnen Kriterien näher erläutert werden:

- **Flexibilität bzgl. Mitarbeitereinsatz:** Durch die Trennung in eine Vor- und Endmontage wurde gemäß 8.2.2 die Flexibilität bereits stark erhöht: So können zum Beispiel weniger erfahrene Mitarbeiter für die eher einfachen Montage Tätigkeiten in der Vormontage eingesetzt werden, während die erfahrenen Monteure in der Endmontage die eingehenden Aufträge bearbeiten. Ist aufgrund von schwankender Personalkapazität die Vor- oder Endmontage kurzzeitig nicht besetzbar, wird dies durch den zwischen Vor- und Endmontage liegenden Supermarkt abgefangen. Ebenso kann durch den Supermarkt bei Fehlteilen in der jeweils anderen Montage trotzdem weitergearbeitet werden. Da bei allen Varianten der Montageprozess in eine Vor- und Endmontage unterteilt ist, unterscheidet sich die Bewertung dieses Kriteriums kaum. Lediglich die Variante 3 schneidet hier etwas besser ab, da der Weg zwischen der Vor- und Endmontage kurz ist und so zum Beispiel ein einziger Mitarbeiter beide Montagen gleichzeitig bedienen könnte.
- **Materialfluss in den Linien:** Bei allen Varianten ist eine materialflussgerechte Gestaltung der Arbeitsplätze möglich. Daher wurden alle vier Variante gleich gut bewertet.

³vgl. REFA 2015, S. 103 f.

Kriterien	G ^a	Variante 1		Variante 2		Variante 3		Variante 4	
		B ^b	n ^c	B	n	B	n	B	n
Flexibilität bzgl. Mitarbeitereinsatz	15,6%	4	0,6	4	0,6	5	0,8	4	0,6
Materialfluss in den Linien	13,6%	4	0,5	4	0,5	4	0,5	4	0,5
Anbindung von End- zur Vormontage	10,2%	5	0,5	3	0,3	5	0,5	3	0,3
Anbindung von Vor- zur Endmontage	10,2%	2	0,2	2	0,2	3	0,3	3	0,3
Trennung zw. Montage u. Logistik	8,2%	2	0,2	5	0,4	5	0,4	2	0,2
Flächenbedarf u. Anbindung an Halle	16,3%	4	0,7	3	0,5	4	0,7	2	0,3
Laufwege des Etagenlogistiker	5,4%	2	0,1	4	0,2	3	0,2	2	0,1
Laufwege der Monteure	13,6%	2	0,3	2	0,3	5	0,7	2	0,3
Informationsaustausch zw. Monteuren	6,8%	3	0,2	1	0,1	5	0,3	3	0,2
Gesamtnutzwert N	100,0%		3,3		3,1		4,4		2,9

^a Gewichtung aus paarweisem Vergleich

^b Bewertung des Kriteriums (0 bis 5 Punkte)

^c Teilnutzwert

Tabelle 8.9.: Nutzwertanalyse

8. Konzeption Soll-Zustand

- **Anbindung von End- zur Vormontage:** Da bei Variante 2 und 4 die Behälterrutsche für die leeren Behälter nur mit Umlenkungen realisierbar wäre, wurden diese beiden Varianten schlechter bewertet als Variante 1 und 3.
- **Anbindung von Vor- zur Endmontage:** Das Abschieben der vollen Behälter nach hinten wurde in den Varianten 3 und 4 besser empfunden als die Integration der Rollenbahn in den Montagebereich der Vormontage wie es bei Variante 1 und 2 der Fall ist. Deshalb wurden die Varianten 3 und 4 besser bewertet als die Varianten 1 und 2.
- **Trennung zw. Montage u. Logistik:** Wie bereits in Abschnitt 8.2.4 besprochen, ist aufgrund der Anordnung von den Vorder- und Rückseiten der Arbeitsplätze bei den Varianten 2 und 3 die Trennung der Monteure und des Logistikers sehr gut gestaltet, während in den Varianten 1 und 4 dies nur bedingt gegeben ist. Dementsprechend wurden die einzelnen Varianten bewertet.
- **Flächenbedarf u. Anbindung an Halle:** Bei der Bewertung dieses Kriteriums wurde bereits der zukünftige Ort der neuen Linie mit in Betracht gezogen. Da der Flächenbedarf bei allen Varianten ähnlich ist, wurde die Bewertungen vor allem in Bezug auf die Anordnung der Auftragsein- und -ausgänge getroffen. Vorzugsweise lassen sich diese im tatsächlichen Layout an die Hauptverkehrswege der Halle anbinden.
- **Laufwege des Etagenlogistikers:** Auch dieses Kriterium hängt mit der Anordnung der Vorder- und Rückseiten der Arbeitsplätze zusammen. Wie in Abschnitt 8.2.4 besprochen, sind bei Variante 2 die Rückseiten der beiden Endmontagen einander zugewandt, wodurch der Etagenlogistiker diese in einem Zug bedienen kann. Daher wurde diese Variante am besten bewertet. In den Varianten 1 und 4 weißt der Laufweg des Logistikers jeweils eine Schleife auf. Dies wirkt sich auf die Länge des Weges aus, weshalb diese beiden Varianten am schlechtesten bewertet wurden.
- **Laufwege der Monteure:** Wie bereits besprochen können nur in der Variante 3 die Monteure zwischen den Montagen einfach hin- und hergehen. Deshalb wurde nur diese Variante als sehr gut bewertet, während die anderen Varianten, vor allem aufgrund der Behälterrutsche, schlechter abschnitten.
- **Informationsaustausch zw. Monteuren:** Dieses Kriterium steht wiederum in Zusammenhang mit der Anordnung der Vorder- und Rückseiten der Arbeitsplätze. Nur die Variante 3 erlaubt einen sehr guten Informationsaustausch sowohl zwischen den Monteuren der Endmontage als auch zum Monteur der Vormontage. Bei den Varianten 1 und 4 ist ein Informationsaustausch nur bedingt möglich, während in der Variante 2 die Monteure komplett voneinander abgeschottet sind. Dementsprechend wurde die Bewertung der Varianten vorgenommen.

8.3.2. Berechnung des notwendigen Supermarktbestandes mittels der Bosch Kanban-Formel

Wie in obigen Abschnitten besprochen und im Wertstromdesign in Abbildung 8.3 dargestellt, entnimmt die Endmontage die zur Abfertigung der Aufträge benötigten Baugruppen aus dem zwischen Vor- und Endmontage gelagerten Supermarkt. Abbildung 8.11 zeigt diesen Zusammenhang in vereinfachter Darstellung.

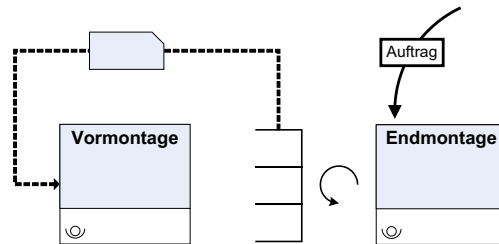


Abbildung 8.11.: Vereinfachte Darstellung des Wertstromdesigns auf Linienebene

Um die Laufwege der Monteure in den Endmontagen gering zu halten, handelt es sich nicht um einen Supermarkt im eigentlichen Sinn. Stattdessen erfolgt die Bereitstellung der Baugruppen direkt über die Materialebenen der Arbeitsplätze.

Die in Abbildung 8.11 dargestellte Kanban-Karte entspricht den in den Layoutvarianten in Abbildung 8.7 bis 8.10 dargestellten leeren Behältern. Über die Behälterrutsche gelangen diese von der Endmontage in die Vormontage.

Wie in Abschnitt 8.1.1 besprochen, schwankt sowohl die Anzahl der eingehenden Aufträge als auch die verfügbare Personalkapazität. Der Supermarkt zwischen der Vor- und Endmontage agiert wie ein Puffer und kann diese Schwankungen bis zu einem gewissen Grad ausgleichen. Damit jedoch der Kreislauf funktioniert, wird gemäß Abschnitt 4.1 eine gewisse Anzahl an Behältern benötigt, welche zwischen den beiden Montagen in Umlauf ist. Diese Anzahl wurde mithilfe der Bosch Kanban-Formel ermittelt. Die Vorgehensweise dazu orientiert sich an dem entsprechenden internen Planungsleitfaden⁴. Diesem nach lautet die Kanban-Formel:

$$K = RE + LO + WI + SA \quad [\text{Kanban}] \quad (8.7)$$

Dabei steht K für „Number of Kanban“ oder die Anzahl der Kanban für die jeweilige Materialnummer im Kanban-Kreislauf. Diese entspricht im vorliegenden Fall der Anzahl der benötigten Behälter. K setzt sich aus RE , LO , WI und SA zusammen, wobei jeder dieser Summanden eine gewisse Anzahl an Behältern darstellt. RE steht

⁴vgl. Robert Bosch GmbH 2010.

8. Konzeption Soll-Zustand

dabei für „**RE**plenishment Time coverage“ und deckt den Bedarf gemäß dem Kundentakt innerhalb der Wiederbeschaffungszeit. In anderen Worten ist dies die Anzahl der Behälter, welche bei einem durchschnittlichem Auftragseingang in Umlauf sein müssen, damit der Kanban-Kreislauf funktioniert. Dabei wird berücksichtigt, dass leere Behälter in der Regel eine gewisse Zeit auf der Behälterrutsche warten müssen, bis sie bearbeitet werden. Auch wird einberechnet, dass das Befüllen der Behälter in der Vormontage Zeit in Anspruch nimmt und volle Behälter nach dem Befüllen wiederum warten müssen, bis sie vom Etagenlogistiker zur Endmontage gebracht werden. Die Summe aller dieser Zeiten entspricht der Wiederbeschaffungszeit für die entsprechende Materialnummer. Innerhalb dieser darf der im Supermarkt liegende Vorrat nicht leer werden. Die Anzahl der Behälter, welche dies sicher stellt, wird durch RE definiert.

LO steht für „**LO**t Size coverage“ oder Losgrößenbildung. Eine Losgrößenbildung verlängert die Wartezeit auf der Behälterrutsche, wodurch mehr Behälter im Umlauf sein müssen.

WI steht für „**WI**thdrawal Peak coverage“ oder bekannte Kundenabrufschwankungen. Spitzen, wie sie in Abbildung 7.11 zu sehen sind, erfordern ebenfalls zusätzliche Behälter. Wird ein großer Auftrag in der Endmontage eingesteuert, kommt der Monteur der Vormontage unter Umständen nicht mehr nach, die in der Endmontage benötigten Baugruppen rechtzeitig nachzuproduzieren. WI entspricht also der Anzahl der zusätzlichen Behältern, welche benötigt werden, um bekannte Spitzen abzudecken.

SA steht für „**SA**fety Time coverage“ oder Schwankungen und unbekannte Risiken. Dieser Summand stellt die Anzahl der Behälter dar, welche benötigt werden, um Ausfälle, Prozessstörungen oder unerwartete Spitzen auszugleichen.

Da in der Vormontage keine Losgrößenbildung erforderlich ist sowie die Risiken überschaubar sind, wurden die beiden Summanden LO und SA für die Berechnung von K nicht weiter berücksichtigt und nur die beiden Summanden RE und WI herangezogen. Im Folgenden soll auf die genaue Berechnung dieser eingegangen werden.

RE

RE berechnet sich aus

- der Wiederbeschaffungszeit der Sachnummer oder **R**eplenishment **T**ime (RT_{Loop}),
- der Anzahl der Teile je Kanban oder **N**umber of **P**ieces per **K**anban (NPK) sowie
- dem Kundentakt der Sachnummer oder **C**ustomer **T**akt **T**ime (TT_{SNR})

und setzt sich wie folgt zusammen:

$$RE = \frac{RT_{Loop}}{TT_{SNR} \cdot NPK} \quad [\text{Kanbans}] \quad (8.8)$$

8. Konzeption Soll-Zustand

Die **Anzahl der Teile je Kanban** ist die Anzahl der Baugruppen, welche in der Vormontage pro Kanban-Behälter gefertigt wird. Für jede Sachnummer muss dieser Wert eigens festgelegt werden. Dadurch, dass NPK in obiger Formel im Nenner steht, sinkt für die entsprechende Sachnummer mit zunehmendem NPK die Anzahl der benötigten Kanban-Behälter. Bei den übrigen Sachnummern steigt die Anzahl jedoch. Dies ist bedingt durch den Umstand, dass durch eine höhere Anzahl an Teilen pro Behälter, die anderen Behälter auf der Behältererrutsche länger warten müssen. Im vorliegenden Projekt ergab sich die Anzahl der Teile je Kanban aufgrund der Größe und des Gewichts der bestückten Gehäuse. Abbildung 8.12 zeigt zwei mögliche Behälter für die Gehäuse der Variante B. Links handelt es sich um einen flachen Behälter, in welchen vier Gehäuse passen, rechts um einen hohen Behälter, in welchen acht Gehäuse passen. Mit vier Gehäuse der Antriebsstation AS 2/B liegt das Behältergewicht bereits bei 18,2 Kilogramm. Ein Behälter mit acht Gehäuse wäre daher viel zu schwer, weshalb die Entscheidung auf den flachen Behälter fiel. NPK für das rechte und das linke Gehäuse der Antriebsstation AS 2/B wurde damit also mit 4 festgelegt. Ähnliche Überlegungen wurden auch für die anderen Baugruppen gestellt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 8.10 der entsprechenden Spalte zu entnehmen.



Abbildung 8.12.: Mögliche Behälter für die Gehäuse der Variante B

Wie bereits oben besprochen, setzt sich die **Wiederbeschaffungszeit der Sachnummer** aus mehreren Zeiten zusammen und stellt jene Zeit dar, welche der Behälter braucht, um nach dem leer werden wieder in der Endmontage anzukommen. Gemäß dem Bosch Implementierungsleitfaden ist die Wiederbeschaffungszeit RT_{Loop} die Summe aus sechs verschiedenen Zeiten, RT_1 bis RT_6 . In der vorliegenden Situation sind jedoch nur drei dieser Zeiten relevant. Diese sind RT_2 , RT_5 und RT_6 . Abbildung 8.13 zeigt den Layoutentwurf aus Abschnitt 8.2.4 und an welchen Orten die drei Zeiten auftreten.

RT_2 ist die bereits oben angesprochene Wartezeit auf der Behältererrutsche. Die genaue Kalkulation dieser Wartezeit ist schwierig, jedoch kann sie bei einer übersichtlichen Anzahl an Rennern in Anlehnung an den Implementierungsleitfaden wie folgt bestimmt werden:

SNR	NPK [Stk]	RT ₂ [min]	CT [min]	RT ₅ [min]	RT ₆ [min]	RT _{Loop} [min]	POT [min]	PR [Stk]	TT _{SNR} [min/Stk]	RE [Kanban]
R u L Ghs AS 1	4	358	3,3	13,2	84	458	840	2,2	383	0,3
R u L Ghs UM 1	4	358	3,3	13,2	84	458	840	2,1	404	0,3
R Ghs AS 2 B	4	358	1,3	5,2	84	448	840	8,0	105	1,1
L Ghs AS 2 B	4	358	1,3	5,2	84	448	840	8,0	105	1,1
R Ghs UM 2 B	4	358	1,4	5,6	84	449	840	7,7	109	1,0
L Ghs UM 2 B	4	358	1,4	5,6	84	449	840	7,7	109	1,0
R Ghs AS 2 C	4	358	4,4	17,6	84	464	840	1,1	736	0,2
L Ghs AS 2 C	4	358	4,4	17,6	84	464	840	1,1	736	0,2
R Ghs AS 2 R	4	358	4,4	17,6	84	464	840	1,4	587	0,2
L Ghs AS 2 R	4	358	4,4	17,6	84	464	840	1,4	587	0,2
R Adp AS 2 C, R	8	358	0,4	3,2	84	445	840	2,6	327	0,2
L Adp AS 2 C, R	8	358	0,4	3,2	84	445	840	2,6	327	0,2
...

Die Baugruppen der Kurven wurden zur besseren Lesbarkeit weggelassen

Tabelle 8.10.: Berechnung von RE

8. Konzeption Soll-Zustand

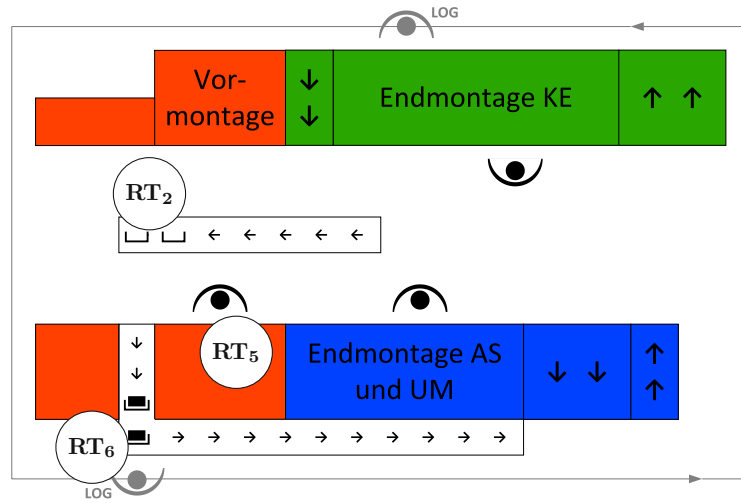


Abbildung 8.13.: Bestandteile der Wiederbeschaffungszeit

$$RT_2 = NPK_{Renner1} \cdot CT_{Renner1} + NPK_{Renner2} \cdot CT_{Renner2} + \dots \quad [\text{min}] \quad (8.9)$$

CT steht dabei für **Cycle Time** oder **Zykluszeit** und ist jene Zeit, welche für die Produktion eines Teils der entsprechenden Sachnummer oder hier des entsprechenden Renners benötigt wird. Multipliziert mit NPK ergibt dies die Produktionszeit für den gesamten Kanban-Behälter. Bei der Berechnung von RT_2 wird also davon ausgegangen, dass sich von jedem Renner immer ein Behälter auf der Rutsche befindet und ein neu hinzukommender Behälter immer entsprechend lange warten muss. In dem vorliegenden Projekt wurden die Zykluszeiten der Baugruppen mithilfe der Stapel-Diagramme aus Abschnitt 7.2 bestimmt. Die Zykluszeiten wurden dabei wie Auftragszeiten gesehen, weshalb die als Grundzeit aufgefasste Montagezeit der Stapel-Diagramme mit einem Verteilzeitzuschlag gemäß Abschnitt 8.2.1 beaufschlagt wurde. Für RT_2 wurde eine Wartezeit von insgesamt 358 Minuten ermittelt. In dieser inkludiert sind auch die Produktionszeiten für die Baugruppen der Kurven.

RT_5 ist dann die Produktionszeit an sich oder, wie bereits oben besprochen, jene Zeit, welche der Monteur der Vormontage benötigt, um den Kanban-Behälter wieder aufzufüllen. In der vorliegenden Arbeit wird RT_5 mit

8. Konzeption Soll-Zustand

$$RT_5 = NPK \cdot CT \quad [\text{min}] \quad (8.10)$$

bestimmt. Ähnlich wie bei RT_2 wird die Produktionszeit eines Teils mit der Anzahl der Teile pro Kanban multipliziert und so die Produktionszeit für den gesamten Kanban-Behälter berechnet. Wie bei RT_2 wurden die Zykluszeiten für die einzelnen Baugruppen mithilfe der Stapel-Diagramme ermittelt.

RT_6 ist schließlich die Transportzeit in den Supermarkt oder im vorliegenden Projekt jene Zeit, welche der volle Behälter wartet, bis er vom Etagenlogistiker in die Endmontage gebracht wird. Gemäß dem Fahrplan des Etagenlogistiklers kommt dieser pro Schicht mindestens fünfmal an die Linie. Mit 420 Minuten pro Schicht bedeutet dies, dass der Etagenlogistiker spätestens nach 84 Minuten wieder an der Linie ist. Die Wartezeit des vollen Behälters beträgt damit maximal 84 Minuten.

Der letzte, noch nicht besprochene Teil von RE ist der **Kundentakt der Sachnummer**. Im Gegensatz zu dem in Abschnitt 8.1.2 ermittelten Kundentakt, wird nun der Kundentakt jeder einzelnen Variante benötigt. Mithilfe der Planbelegungszeit oder **Planned Operating Time (POT)** und dem Bedarf der Sachnummer oder **Period Requirement (PT)** errechnet sich der Kundentakt der Sachnummer TT_{SNR} wie folgt:

$$TT_{SNR} = \frac{POT}{PR} \quad [\text{min}/\text{Stk}] \quad (8.11)$$

Die Berechnung wurde auf Tagesbasis durchgeführt. Die Planbelegungszeit eines Arbeitstages beträgt mit zwei Schichten gemäß Abschnitt 8.1.2 840 Minuten. Zur Ermittlung des Tagesbedarfs wurde der Jahresbedarf jeder Variante aus Tabelle 7.4 aus Abschnitt 7.3 gemäß der Formel 8.3 auf den zukünftigen Jahresbedarf hochgerechnet. Dieser wurde anschließend durch 240 Arbeitstage dividiert, um so den Bedarf pro Tag zu errechnen.

Tabelle 8.10 zeigt die Ergebnisse der Berechnung von RE . Beim Kundenabruf handelt es sich um einen Mittelwert, welcher mit 1,1 bis 7,7 Antriebsstationen sehr niedrig angesetzt ist. Durch den niedrigen Kundenabruf ist auch die Anzahl der Kanban sehr gering. Wie viele Kanban tatsächlich benötigt werden, um die in der Realität auftretenden Spitzen abzudecken, wird, wie bereits besprochen, mit WI abgedeckt.

Wie oben erläutert, wirkt sich eine Änderung von NPK auch auf das RE der anderen Sachnummern aus, weshalb in der Berechnung alle Baugruppen berücksichtigen werden müssen. Dementsprechend wurden in der ursprünglichen Berechnung auch die Baugruppen der Kurven in die Kalkulationstabelle miteinbezogen. Zur besseren Lesbarkeit wurden in der vorliegenden Arbeit die entsprechenden Zeilen weggelassen.

8. Konzeption Soll-Zustand

WI

Wie bereits besprochen werden mit WI die Auftragsspitzen abgedeckt. Hierbei handelt es sich um Entnahmen aus dem Supermarkt, welche nicht dem Kundentakt entsprechen und somit nicht durch RE abgedeckt sind. „Zur Berechnung von WI wird die maximale kumulierte [...] Entnahmemenge innerhalb der Wiederbeschaffungszeit (WA) ermittelt und dann um die Anzahl Kanban reduziert, die bereits mit RE und LO abgedeckt sind.“⁵ Die Formel dazu lautet:

$$WI = \frac{WA}{NPK} - RE - LO \quad [\text{Kanbans}] \quad (8.12)$$

WA ist dabei die oben genannte maximale kumulierte Entnahmemenge innerhalb der Wiederbeschaffungszeit oder **Withdrawal Amount**. In der vorliegenden Arbeit wurde WA wie folgt berechnet:

$$WA = PR_{max} \cdot \frac{RT_{Loop}}{POT} \quad (8.13)$$

Während PR in der vorliegenden Arbeit einem Durchschnittswert entspricht, welcher aus dem Jahresbedarf der entsprechenden Variante ermittelt wurde, wurde für die Ermittlung von PR_{max} der Bedarf einer Spitzenwoche gemäß Abbildung 7.12 verwendet. Dieser wurde gemäß der Formel 8.3 auf den zukünftigen Spitzenbedarf hochgerechnet und anschließend durch 5 Arbeitstage dividiert, um so den maximalen Bedarf pro Tag zu errechnen. Der Quotient $\frac{RT_{Loop}}{POT}$ bricht den so ermittelten maximalen Tagesbedarf auf die Wiederbeschaffungszeit herunter. Tabelle 8.11 zeigt die Ergebnisse der Berechnung von WA und WI .

Da die Spitzen und damit der Bedarf PR_{max} bei alle Varianten ähnlich hoch ist, ist auch WA und die entsprechende Anzahl an Kanban $\frac{WA}{NPK}$ für alle Varianten ähnlich groß. Ein Unterschied zeigt sich erst nach Abzug von RE bei WI . So sind bei der Variante B aufgrund des hohen durchschnittlichen Bedarfs die Spitzen bereits durch RE recht gut abgedeckt. Bei den Varianten C und R ist hingegen der durchschnittliche Bedarf gering. Die Spitzen werden dann verstärkt durch WI kompensiert. Da wie oben besprochen in der Vormontage keine Losgrößenbildung erforderlich ist, beträgt LO für alle Varianten Null.

⁵Robert Bosch GmbH 2010.

SNR	RT _{Loop} [min]	PR _{max} [Stk]	POT [min]	WA [Stk]	NPK [Stk]	RE [Kanban]	LO [Kanban]	WI [Kanban]
R u L Ghs AS 1	458	11,3	840	6	4	0,3	0,0	1,2
R u L GhsUM 1	458	11,9	840	6	4	0,3	0,0	1,3
R Ghs AS 2 B	448	14,7	840	8	4	1,1	0,0	0,9
L Ghs AS 2 B	448	14,7	840	8	4	1,1	0,0	0,9
R Ghs UM 2 B	449	14,7	840	8	4	1,0	0,0	0,9
L Ghs UM 2 B	449	14,7	840	8	4	1,0	0,0	0,9
R Ghs AS 2 C	464	10,7	840	6	4	0,2	0,0	1,3
L Ghs AS 2 C	464	10,7	840	6	4	0,2	0,0	1,3
R Ghs AS 2 R	464	8,1	840	4	4	0,2	0,0	0,9
L Ghs AS 2 R	464	8,1	840	4	4	0,2	0,0	0,9
R Abdp AS 2 C, R	445	18,8	840	10	8	0,2	0,0	1,1
L Abdp AS 2 C, R	445	18,8	840	10	8	0,2	0,0	1,1
...

Die Baugruppen der Kurven wurden zur besseren Lesbarkeit weggelassen

Tabelle 8.11.: Berechnung von WI

Zusammensetzung von RE und WI zu K

Tabelle 8.12 zeigt die Zusammensetzung von *RE* und *WI* gemäß Formel 8.7 zu *K*. Wie bereits oben besprochen können die Summanden *LO* und *SA* in der vorliegenden Arbeit unberücksichtigt bleiben und wurden deshalb hier nicht weiter angeführt. Das Ergebnis zeigt, dass sich die Anzahl der Kanban-Behälter für die verschiedenen Baugruppen zwischen 1,1 und 2,0 bewegt. Für die vorzusehende Anzahl an Behältern muss grundsätzlich aufgerundet werden. Damit jedoch das 2-Kisten-Prinzip funktioniert und im Supermarkt immer mindestens ein Behälter vorhanden ist, werden mindestens zwei Behälter benötigt. Für jede Baugruppe wären daher mindestens zwei Behälter vorzusehen.

SNR	RE [Kanban]	WI [Kanban]	K [Kanban]
R u L Ghs AS 1	0,3	1,2	1,5
R u L Ghs UM 1	0,3	1,3	1,6
R Ghs AS 2 B	1,1	0,9	2,0
L Ghs AS 2 B	1,1	0,9	2,0
R Ghs UM 2 B	1,0	0,9	1,9
L Ghs UM 2 B	1,0	0,9	1,9
R Ghs AS 2 C	0,2	1,3	1,5
L Ghs AS 2 C	0,2	1,3	1,5
R Ghs AS 2 R	0,2	0,9	1,1
L Ghs AS 2 R	0,2	0,9	1,1
R Abdp AS 2 C, R	0,2	1,1	1,3
L Abdp AS 2 C, R	0,2	1,1	1,3

Tabelle 8.12.: Berechnung von K (2 Schichten)

Wie in Abschnitt 8.1.1 beschrieben, hat sich gezeigt, dass nicht immer beide Schichten besetzt werden können. Daher wurde obige Berechnung von *K* mit einer Planbelegzeit von nur einer Schicht wiederholt. Tabelle 8.13 zeigt das Ergebnis der Kalkulation. Der Vergleich der beiden Tabellen zeigt, dass sich die Anzahl der benötigten Kanban-Behälter genau verdoppelt hat.

Für die weitere Planung wurde festgelegt, dass für die Gehäuse der Varianten AS 1 und UM 1 je drei Behälter vorzusehen sind, für jedes Gehäuse der Variante B vier Behälter und für die Gehäuse und Abdeckplatten der Varianten C und R je drei Behälter.

8. Konzeption Soll-Zustand

SNR	RE [Kanban]	WI [Kanban]	K [Kanban]
R u L Ghs AS 1	0,6	2,4	3,0
R u L Ghs UM 1	0,6	2,6	3,2
R Ghs AS 2 B	2,2	1,8	4,0
L Ghs AS 2 B	2,2	1,8	4,0
R Ghs UM 2 B	2,0	1,8	3,8
L Ghs UM 2 B	2,0	1,8	3,8
R Ghs AS 2 C	0,4	2,6	3,0
L Ghs AS 2 C	0,4	2,6	3,0
R Ghs AS 2 R	0,4	1,8	2,2
L Ghs AS 2 R	0,4	1,8	2,2
R Abdp AS 2 C, R	0,4	2,2	2,6
L Abdp AS 2 C, R	0,4	2,2	2,6

Tabelle 8.13.: Berechnung von K (1 Schicht)

8.3.3. Umlegung des Ideallayouts

Im Zuge der Nutzwertanalyse in Abschnitt 8.3.1 schnitt die Variante 3 am besten ab. Diese stellt somit das Ideallayout dar und wird auf die tatsächliche Fläche umgelegt. Die Lage im Hallenlayout ist in Anhang A ersichtlich. Gemäß diesem liegt die Fläche zwischen einem Hauptverkehrsweg und der Fensterfront der Halle. Links der Fläche schränkt ein Palettenförderer die Zugänglichkeit ein, rechts schließt eine andere Linie an.

Anhang C zeigt das bereits umgelegte Layout. An den drei Seiten, an welche kein Weg grenzt, wurde eine 1-Meter-Begrenzung eingezeichnet. Damit dem Etagenlogistiker alle Seiten der Linie gut zugänglich sind, muss dieser Bereich frei bleiben. Um mehr Platz für die Linien zu gewinnen, wurde jedoch beschlossen, dass der Zugang nach hinten nur über eine Seite erfolgen könne. Dementsprechend wurde die Vormontage ganz links angeordnet, an den Palettenförderer anschließend. Die Endmontage für Kurven wurde entlang des Hauptverkehrsweges angesiedelt und die Endmontage für Antriebsstationen und Umlenkungen entlang der Fenster. Hierher gelangt der Etagenlogistiker nun über die rechte Seite. Da die Ablieferwägen recht groß und sperrig sind, wurde die Fläche zum Abliefern der Antriebsstationen und Umlenkungen auf die Seite des Hauptverkehrsweges verlegt.

Nachdem die Bereiche für die einzelnen Montagen grob festgelegt waren, wurden die Prozessschritte des Wertstromdesigns auf die einzelnen Arbeitsplätze verteilt. Im Wertstromdesign in Abbildung 8.3 sind der Vormontage die beiden Prozessschritte „Einpressen Antriebs- und Umlenkwalzen“ und „Montage Führungsprofile und Streckenverbin-

8. Konzeption Soll-Zustand

der“ zugeordnet. Wie bereits besprochen, dienen diese beiden Schritte der Bestückung der Gehäuse der Variante B. Der Schritt „Einpressen Antriebs- und Umlenkwalzen“ wurde auf den am weitesten links liegenden Arbeitsplatz gelegt und der Schritt „Montage Führungsprofil und Streckenverbinder“ rechts davon. Wiederum rechts davon erfolgt das Abschieben der vollen Behälter mittels der Rollenbahn. Diese ist leicht abfallend. So rollen die Behälter von alleine nach hinten, wenn sie einmal angeschoben wurden. Der Arbeitsfluss für die Bestückung der Gehäuse der Variante B beginnt also in der Vormontage ganz links und endet in der Mitte bei der Rollenbahn. Bei den Varianten C und R ist die Situation ähnlich: Hier beginnt der Fluss für die Bestückung der Gehäuse in der Vormontage ganz rechts und endet wiederum mittig bei der Rollenbahn. Die Bestückung der Gehäuse der Antriebstation AS 1 und der Umlenkungen UM 1 ist direkt links und rechts neben der Rollenbahn angesiedelt.

In der Endmontage beginnt je nach Motoranordnung der Prozess mit der Vormontage des Motors oder dem Verbinden der Gehäuse. Die Vormontage des Motors und die Montage dessen ist bei allen Antriebsstationen notwendig, weshalb die Prozessschritte „Vormontage Motor“ und „Montage Motor“ mittig angeordnet sind. Gleich rechts davon befindet sich die Montagevorrichtung für das Verbinden der Gehäuse der Rennervariante B und anschließend daran ein normaler Arbeitstisch für das Verbinden der Gehäuse der eher seltenen Varianten C und R. Jeweils hinter der Vorrichtung bzw. der Tischplatte liegen die zur Montage benötigten Gehäuse der jeweiligen Varianten bereit. Die Montagevorrichtung für die Variante B wird aus der alten Linie übernommen und ist in Abbildung 7.8 ersichtlich. Die Montage der Deckel bzw. Abdeckplatten kann grundsätzlich an den gleichen Arbeitsplätzen wie das Verbinden der Gehäuse erfolgen. Das Verbinden der Gehäuse der Variante AS 1 und UM 1 ist links von der Vormontage des Motors angeordnet. Die Gehäuse liegen ebenfalls direkt hinter der Tischplatte bereit.

Die Tiefe der Arbeitsplätze in der Endmontage ergibt sich durch die Anzahl der Behälter, welche gemäß Abschnitt 8.3.2 für den Supermarkt festgelegt wurde. Für die Gehäuse der Variante B wurde definiert, dass jeweils vier Behälter vorgesehen werden sollen. Der in Abbildung 8.12 dargestellte Behälter hat eine Grundfläche von 300 x 400 mm, genauso wie alle anderen Behälter des zwischen Vor- und Endmontage liegenden Kanban-Kreislaufes. Bei vier Behältern muss daher die Materialebene des Arbeitsplatzes aufgrund der Behälterbreite von 300 mm mindestens 1.200 mm tief sein. Im Linienlayout in Anhang C wurde die Anordnung der Behälter grob eingezeichnet. Auf die genaue Gestaltung der Arbeitsplätze wird im Zuge der Detailplanung eingegangen. Mit weiteren 500 mm für die Arbeitsplatte wurde die Gesamttiefe der Arbeitsplätze mit 1.700 mm festgelegt.

Die Tiefe der Arbeitsplätze der Vormontage orientiert sich an jener der Endmontage. Damit jedoch auf der nach hinten gehenden Rollenbahn eine gerade Anzahl an Behälter Platz findet, wurde die Tiefe auf 1.800 mm aufgerundet. Inklusiv dem einen Platz auf der quer laufenden Rollenbahn können daher sieben Behälter auf der nach hinten laufenden Rollenbahn abgestellt werden ($1.800 \div 300 + 1$). Nachdem keine automatische

8. Konzeption Soll-Zustand

Umlenkung auf die quer laufende Rollenbahn vorgesehen ist, sollte spätestens dann der Etagenlogistiker an die Linie kommen, wenn die nach hinten laufende Rollenbahn voll ist. Die Anordnung der Behälter auf den Rollenbahnen ist durch die Anordnung der Behälter in den Materialebenen der Endmontage bedingt. Da ein Drehen der Behälter für den Etagenlogistiker umständlich wäre, erfolgt die Richtungsänderung nicht durch Drehen, sondern werden die Behälter einfach quer zur vorigen Bewegungsrichtung geschoben. Die Breite der quer laufenden Rollenbahn ist daher mit 300 mm festgelegt und jene der nach hinten laufenden Rollenbahn mit 400 mm. Die so festgelegten Abmessungen sind ebenfalls im Linienlayout in Anhang C ersichtlich.

Die Breite der Arbeitsplätze orientiert sich im ersten Schritt der Layoutplanung an den Breiten der Arbeitsplätze der alten Linie. Erst im Zuge der Detailplanung und durch die Anordnung aller Materialbehälter in den Materialebenen konnte die endgültige Breite der Arbeitsplätze festgelegt werden.

8.4. Detailplanung

Abbildung 8.14 zeigt noch einmal die bereits oben beschriebenen Phasen.

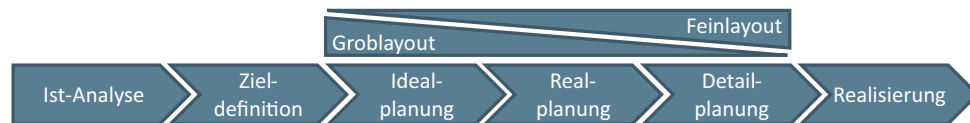


Abbildung 8.14.: Phasen

Das Groblayout der Linie wurde mit Abschluss der Ideal- und Realplanung gemäß den vorigen Abschnitten so gut wie festgelegt. Durch die Verteilung der Prozessschritte auf die verschiedenen Arbeitsplätze bei der Umlegung des Ideallayouts wurde auch bereits der erste Schritt für das Feinlayout gesetzt. Im Zuge der Detailplanung wird diese Verteilung nochmals geprüft, die für die Prozessschritte notwendigen Materialbehälter den Materialebenen der Arbeitsplätze zugeordnet und so die erforderliche Arbeitsplatzbreite festgestellt. Diese Schritte erfolgen im Wechselspiel mit dem Konzipieren von Montagevorrichtungen und dem Abstimmen der erforderlichen Breite mit der verfügbaren Breite im Layout.

Im Rahmen der Detailplanung wird auch auf die in der Ist-Analyse erstellten Stapel-Diagramme zurückgegriffen und eruiert, wo Prozesse verbessert werden müssen. Manche Verbesserungen können erreicht werden, indem der Prozess neu strukturiert wird, andere Verbesserungen erfordern auch die Konstruktion von Montagevorrichtungen. Im folgenden Abschnitt 8.4.1 soll dieser Vorgang am Beispiel der Vormontage der Gehäuse für die Antriebsstationen AS 2/C und AS 2/R beschrieben werden.

8.4.1. Ableitungen aus dem Stapel-Diagramm

Das Stapel-Diagramm aus Abschnitt 7.2 listet alle für den Montageprozess notwendigen Arbeitsinhalte auf. Außerdem wurde jedem Arbeitsinhalt eine der drei folgenden Kategorien zugeteilt:

- Wertschöpfende Tätigkeiten
- Unterstützende Nebentätigkeit
- Verschwendung

Letztere galt es im Zuge der Detailplanung so gut wie möglich zu eliminieren.

Tabelle 8.14 zeigt nochmals den bereits in Abschnitt 7.2 dargestellten Ausschnitt aus dem Stapel-Diagramm der Antriebsstation AS 2/R-2200, MA=M. Dargestellt ist der Prozessschritt „Einpressen Kettenräder und Achsen“. Die für diesen Prozessschritt benötigten Teile sind in der Explosionsansicht des Gehäuses in Abbildung 8.15 ersichtlich. Das in dieser Abbildung dargestellte linke Gehäuse ist für alle Varianten der Antriebsstation AS 2/R verwendbar.

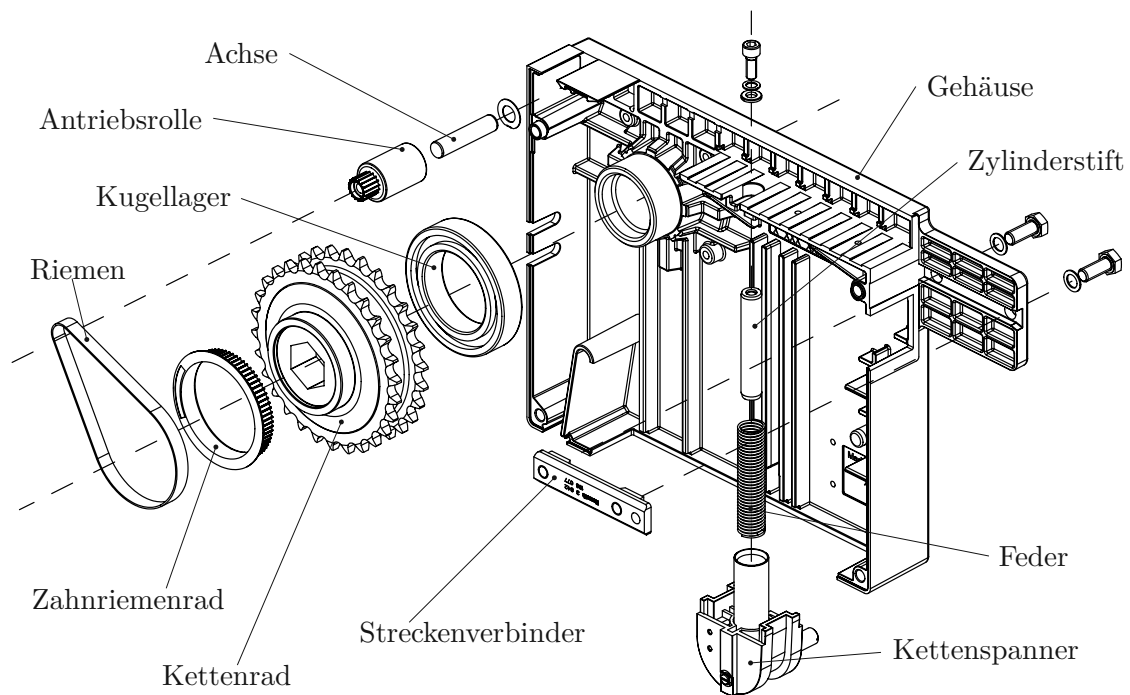


Abbildung 8.15.: Linkes Gehäuse einer Antriebsstation der Variante AS 2/R

Als Verschwendung wurde im Stapel-Diagramm das Positionieren des Kettenrades und des Gehäuses identifiziert. In Abschnitt 5.3 wurde gezeigt, dass durch Eliminierung von Positioniertätigkeiten, Montagezeiten erheblich gesenkt werden können. Außerdem wird

8. Konzeption Soll-Zustand

Nr.	Prozess- abschnitt	Arbeitsinhalt	Zy ^a	1	2	\bar{t}^b [sec]	\bar{t}^b [min]
...
2	Einpressen Kettenräder und Achsen	Kettenrad unter die Presse legen					
		Kugellager einsetzen					
		Kettenrad positionieren					
		Pressenhebel betätigen					
		Kettenrad umdrehen					
		Zahnriemenrad aufsetzen					
		Stahlplatte auflegen					
		Kettenrad positionieren					
		Pressenhebel betätigen					
		Stahlplatte beiseitelegen					
		Bestücktes Kettenrad beiseitelegen					
		Gehäuse unter die Presse legen					
		Bestücktes Kettenrad aufsetzen					
		Stahlplatte auflegen					
		Gehäuse positionieren					
		Pressenhebel betätigen					
		Stahlplatte beiseitelegen					
		Achse in den Druckbolzen einsetzen					
		Achse mit Druckbolzen in das Gehäuse setzen					
		Gehäuse positionieren					
Pressenhebel betätigen							
Druckbolzen entfernen und beiseitelegen	t_i^c	101	129	115	1,8		
Gehäuse entnehmen und ablegen	F^d	326	326	326	5,4		
...

^a Zyklus

^b Mittelwert

^c Zykluszeit

^d Fortschrittszeit

Tabelle 8.14.: Ausschnitt aus dem Stapel-Diagramm der Antriebsstation AS 2/R-2200,
MA=M

8. Konzeption Soll-Zustand

das Kettenrad umgedreht, beiseitegelegt und anschließend wieder aufgenommen und so öfter als vielleicht notwendig in die Hand genommen. Ebenfalls als Verschwendung wurde die bei bestimmten Pressvorgängen notwendige Stahlplatte eingestuft: Aufgrund des nicht immer passenden Pressenstempels muss sich der Monteur bei der Hälfte der Presstätigkeiten mit einer Stahlplatte behelfen. Abbildung 8.16 zeigt als Beispiel den zweiten Pressvorgang des Stapel-Diagramms, bei welchem das Zahnriemenrad auf das Kettenrad gepresst wird.

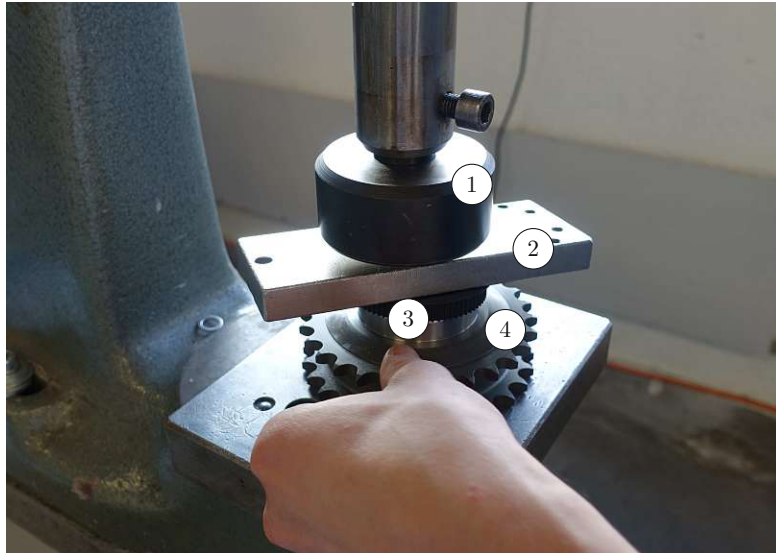


Abbildung 8.16.: Alter Prozess zum Aufpressen des Zahnriemenrades mit **1.** Pressenstempel, **2.** Stahlplatte, **3.** Zahnriemenrad und **4.** Kettenrad

Im Folgenden soll erläutert werden, wie die eben genannten Verschwendungen eliminiert werden konnten. Das mehrmalige in die Hand nehmen des Kettenrades ist durch den Montageprozess bedingt. Dabei wird das Kettenrad zuerst mit dem Kugellager und dem Zahnriemenrad bestückt und erst anschließend wird das so bestückte Kettenrad auf das Gehäuse gepresst. Durch die Umstrukturierung des Prozesses konnte erreicht werden, dass jedes dieser Teile nur noch einmal in die Hand genommen wird. Die Umstrukturierung ist in Abbildung 8.17 veranschaulicht. Im neuen, auf der rechten Seite dargestellten Prozess wird zuerst das Kugellager auf das Gehäuse gepresst, anschließend wird auf das Lager das Kettenrad gepresst und erst zum Schluss wird das Zahnriemenrad auf das Kettenrad aufgebracht. Das Kettenrad wird so nur noch einmal in die Hand genommen. Im Gegensatz zum alten Prozess, wird im neuen Prozess das Gehäuse bereits im ersten Schritt unter die Presse gelegt. Im alten, auf der linken Seite dargestellten Prozess wurden die eliminierten Tätigkeiten durchgestrichen.

Das beim neuen Prozess vorgesehene Aufpressen des Kugellagers auf das Gehäuse war mit dem alten Stempel der Presse nicht möglich. Daher musste ein neuer Pressenstempel gefunden werden. Um auch die Stahlplatte aus dem Prozess zu eliminieren, sollte dieser

8. Konzeption Soll-Zustand

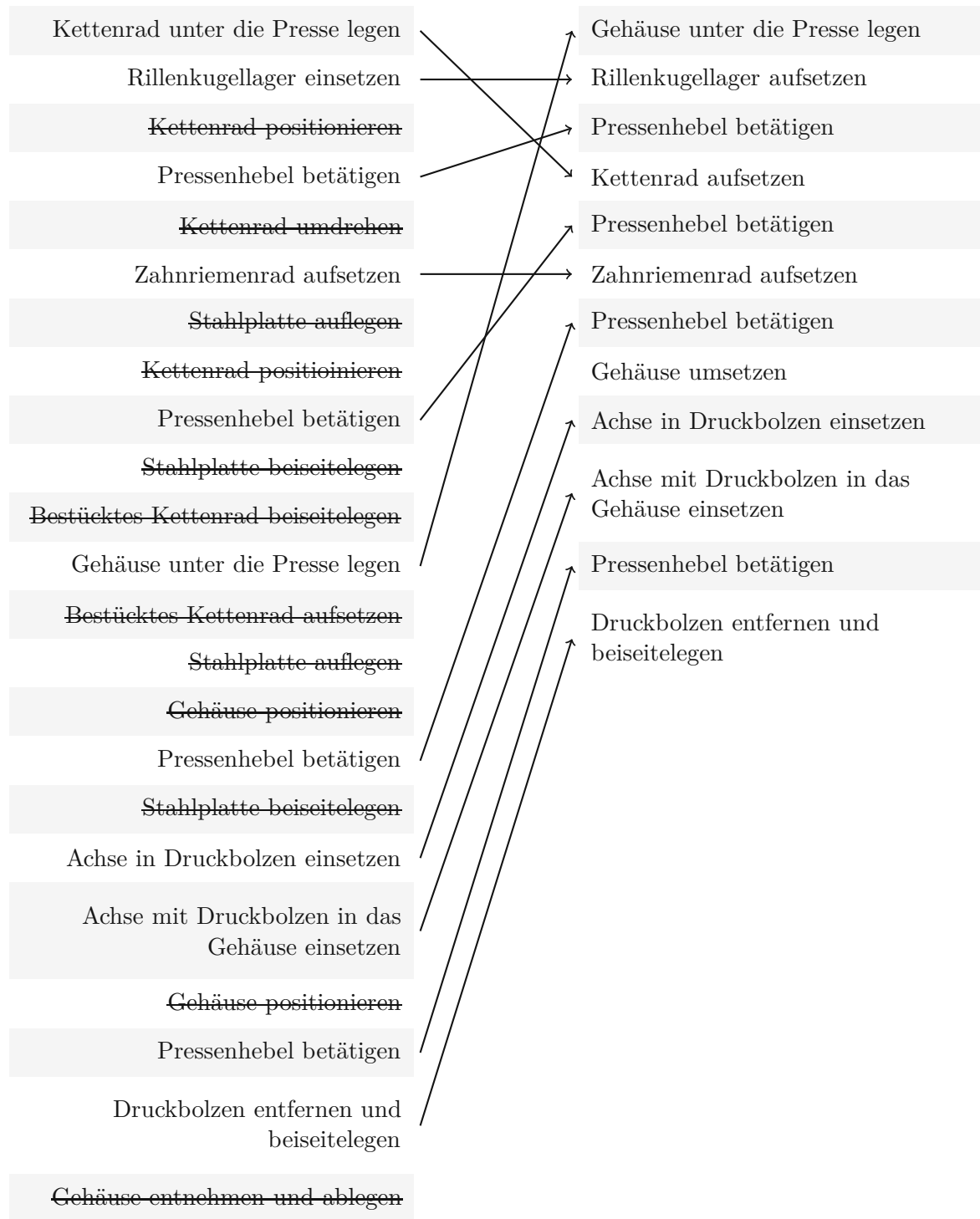


Abbildung 8.17.: Umstrukturierung des Prozessschrittes „Einpressen Kettenräder und Achsen“

8. Konzeption Soll-Zustand

auch das nachfolgende Aufpressen des Ketten- und Zahnriemenrades ermöglichen. Auf die genaue Dimensionierung des Stempels wird im nächsten Abschnitt 8.4.2 eingegangen.

Um außerdem das beim Pressen notwendige Positionieren zu vermeiden, sollte eine Vorrichtung konstruiert werden, welche das Gehäuse, dem Pressvorgang entsprechend, in der richtigen Position hält. Diese wird ebenfalls im nächsten Abschnitt 8.4.2 beschrieben. Die Vorrichtung wurde so konzipiert, dass auch der nachfolgende Prozessschritt in der Vorrichtung erfolgen kann. Damit entfällt das Entnehmen des Gehäuses aus der Presse. Insgesamt konnte so der Prozess gemäß Abbildung 8.17 von 23 auf 12 Arbeitsinhalte gekürzt werden.

8.4.2. Montagevorrichtungen

Im Zuge der Neuplanung der Linie wurden verschiedene Vorrichtungen entworfen und angefertigt.

Abbildung 8.18 zeigt das 3D-Modell der Vorrichtung, welche anhand den Ableitungen aus dem Stapel-Diagramm gemäß dem vorigem Abschnitt entworfen wurde. Die Vorrichtung dient in erster Linie dem Prozessschritt „Einpressen Kettenräder und Achsen“. Sie besteht aus einer Grundplatte, welche mit der Bodenplatte der Presse fest verbunden ist. Auf der Grundplatte sind Anschläge und Eckstücke montiert. Diese bringen das Gehäuse in die für den Pressvorgang richtige Position. Zwei der Eckstücke sind umsteckbar, um die Vorrichtung für das rechte oder linke Gehäuse zu rüsten. Abbildung 8.18a zeigt die Vorrichtung zur Aufnahme von rechten Gehäusen, Abbildung 8.18b zur Aufnahme von linken Gehäusen.

Die Vorrichtung kann die rechten und linken Gehäuse in jeweils zwei verschiedenen Positionen aufnehmen. Die hintere, in Abbildung 8.18c und d dargestellte Position, dient zum Aufpressen des Lagers, des Kettenrades sowie des Zahnriemenrades. Die Achse des Lagersitzes des Gehäuses fällt in dieser Position genau mit der Achse der Presse zusammen. Abbildung 8.19a zeigt die zu verpressenden Teile in ihrer Schnittansicht. Die vordere, in Abbildung 8.18e und f dargestellte Position dient zum Einpressen der Achse. In dieser Position befindet sich der Mittelpunkt der Achse genau zwischen dem Innen- und Außendurchmesser des Pressenstempels. Die Achse wird also mit dem Rand des Stempels eingepresst. Abbildung 9.11 veranschaulicht das Einpressen der Achse an der fertigen Vorrichtung. Das Wechseln zwischen den beiden Positionen erfolgt manuell durch Entnehmen und Wiedereinlegen des Gehäuses.

Für die Wahl des Innendurchmessers des Stempels galten folgende Bedingungen:

1. Innendurchmesser des Stempels $>$ Außendurchmesser des Lagersitzes
2. Innendurchmesser des Stempels $<$ Innenringdurchmesser des Kugellagers

8. Konzeption Soll-Zustand

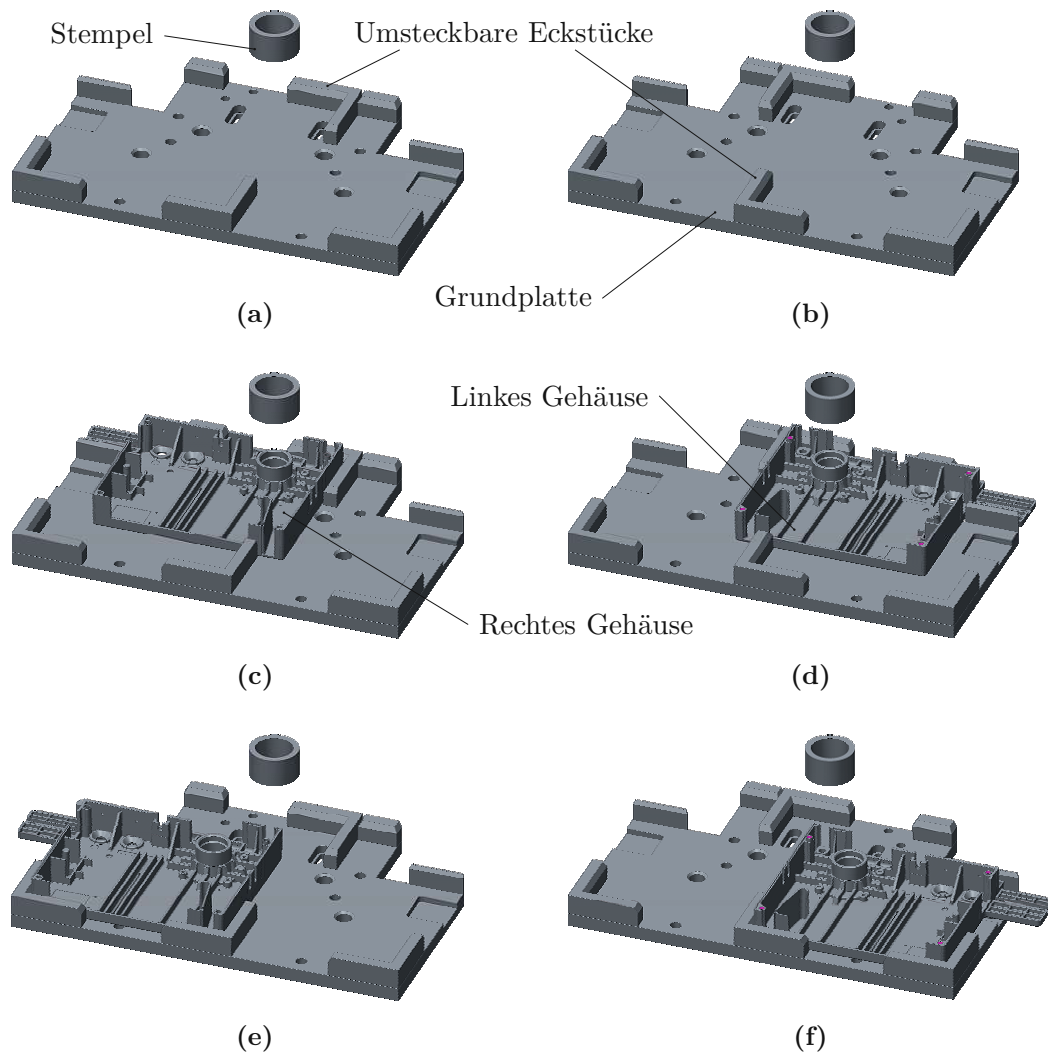


Abbildung 8.18.: Vorrichtung zum Prozessschritt „Einpressen Kettenrad und Achse“

Die entsprechenden Durchmesser sind in Abbildung 8.19b dargestellt. Erstere Bedingung ist notwendig, da sonst beim Aufpressen des Lagers der Stempel mit dem Gehäuse kollidieren würde. Die zweite Bedingung ist erforderlich, da sonst der Stempel nur am Außenring aufliegen würde und so während des Pressens das Lager axial belastet werden würde. Dies gilt es zu vermeiden.

Um obigen Bedingungen gerecht zu werden, wurde ein Innendurchmesser von 52 mm gewählt. Der Außendurchmesser des Lagersitzes beträgt 50 mm. Zwischen dem Stempel und dem Gehäuse ergibt sich so ein Spiel von 2 mm. Um das Gehäuse gut in die Vorrichtung einlegen und wieder aus ihr entnehmen zu können, wurde zwischen dem Gehäuse und der Vorrichtung ein Spiel von 1 mm festgelegt. Damit bleibt 1 mm für die Ferti-

8. Konzeption Soll-Zustand

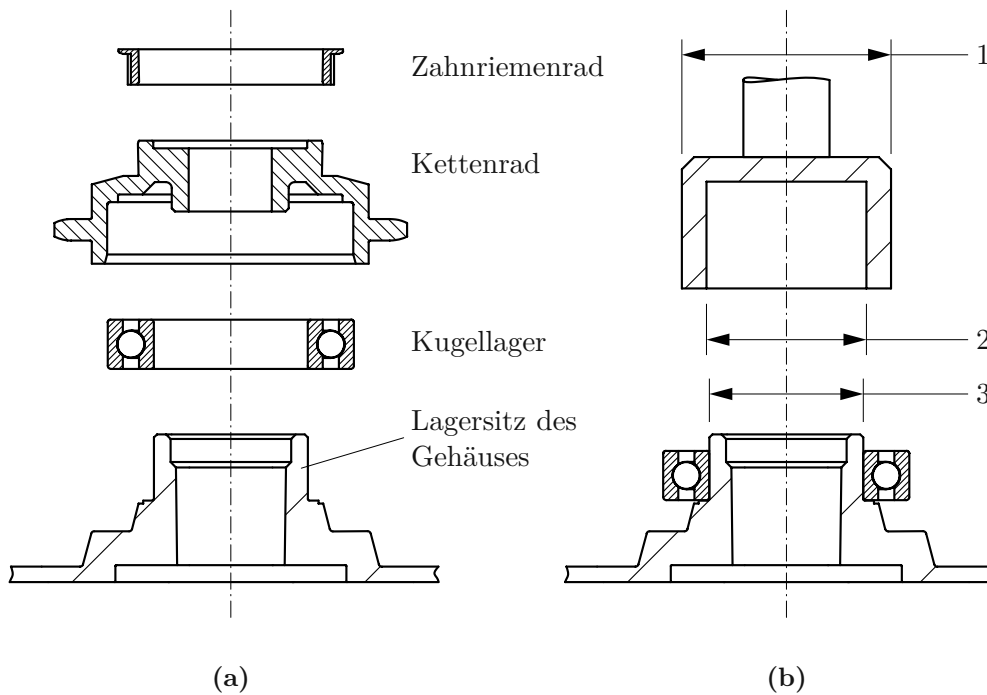


Abbildung 8.19.: Pressvorgänge. Kritische Durchmesser: **1.** Außendurchmesser des Stempels, **2.** Innendurchmesser des Stempels, **3.** Außendurchmesser des Lagersitzes

gungstoleranz der Vorrichtung sowie der Lagetoleranz zwischen Presse und Vorrichtung.

Für die Wahl des Außendurchmessers war lediglich zu beachten, dass dieser groß genug ist, um auch das Zahnriemenrad problemlos aufpressen zu können. Abbildung 8.20 veranschaulicht das Aufpressen des Ketten- und Zahnriemenrades.

Neben dem eben beschriebenen Prozessschritt „Einpressen Kettenräder und Achsen“ sind für die Bestückung der Gehäuse der Antriebsstationen AS 2/C und AS 2/R gemäß der Wertstromanalyse in 7.1.2 folgende weitere Prozessschritte notwendig:

- Einbau Antriebsrolle und Riemen
- Montage Streckenverbinder und Zylinderstifte
- Vormontage Kettenspanner
- Einbau Kettenspanner

Die dazu notwendigen Teile sind ebenfalls in der Explosionsansicht des Gehäuses in Abbildung 8.15 ersichtlich.

Der Prozessschritt „Einbau Antriebsrolle und Riemen“ folgt gemäß der Wertstromanalyse dem Prozessschritt „Einpressen Kettenräder und Achse“. Wie oben bereits angemerkt,

8. Konzeption Soll-Zustand

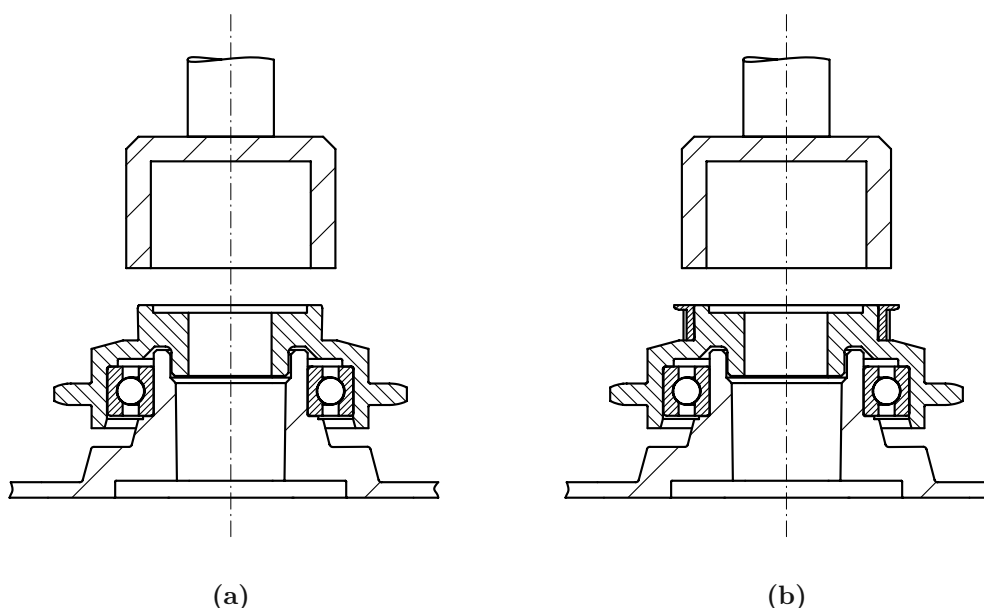


Abbildung 8.20.: Pressvorgänge (Forts.)

kann das Gehäuse für diesen Prozessschritt in der oben beschriebenen Vorrichtung verbleiben. Dadurch, dass das Gehäuse durch die Vorrichtung in fester Position gehalten wird, wird der Monteur bei der Montage des Riemens unterstützt.

Ähnlich wie für den Prozessschritt „Einpressen Kettenräder und Achse“, sollte auch für die Prozessschritte „Montage Streckenverbinder und Zylinderstifte“ sowie „Einbau Kettenspanner“ eine Vorrichtung konstruiert werden. Beim Entwerfen der Vorrichtungen zeigte sich, dass die Ideen für die Vorrichtungen der beiden Prozessschritte sehr gut in einer einzigen Montagevorrichtung integriert werden könnten. Da im Wertstrom die beiden Schritte jedoch nicht aufeinanderfolgend sind, musste dieser gemäß Abbildung 8.21 umgestaltet werden. Die beiden Prozessschritte „Vormontage Kettenspanner“ und „Einbau Kettenspanner“ wurden dabei vorgezogen, während die Schritte „Einpressen Kettenräder und Achsen“ und „Einbau Antriebsrollen und Riemen“ an die letzte Stelle gestellt wurden.

Mit dem neugestalteten Wertstrom können also die Prozessschritte „Montage Streckenverbinder und Zylinderstifte“ sowie „Einbau Kettenspanner“ auf ein und derselben Montagevorrichtung erfolgen. Der 3D-Entwurf dieser Vorrichtung ist in Abbildung 8.22 ersichtlich. Im Gegensatz zu der oben beschriebenen Vorrichtung kann diese ohne Umrüsten sowohl für linke als auch für rechte Gehäuse verwendet werden. Die Gehäuse werden während der Montage in drei verschiedenen Positionen in die Vorrichtung eingelegt, wobei jede Position dem Montieren eines anderen Teiles dient. In der ersten, in Abbildung 8.22c und d dargestellten Position, wird der Streckenverbinder montiert. Im alten Pro-

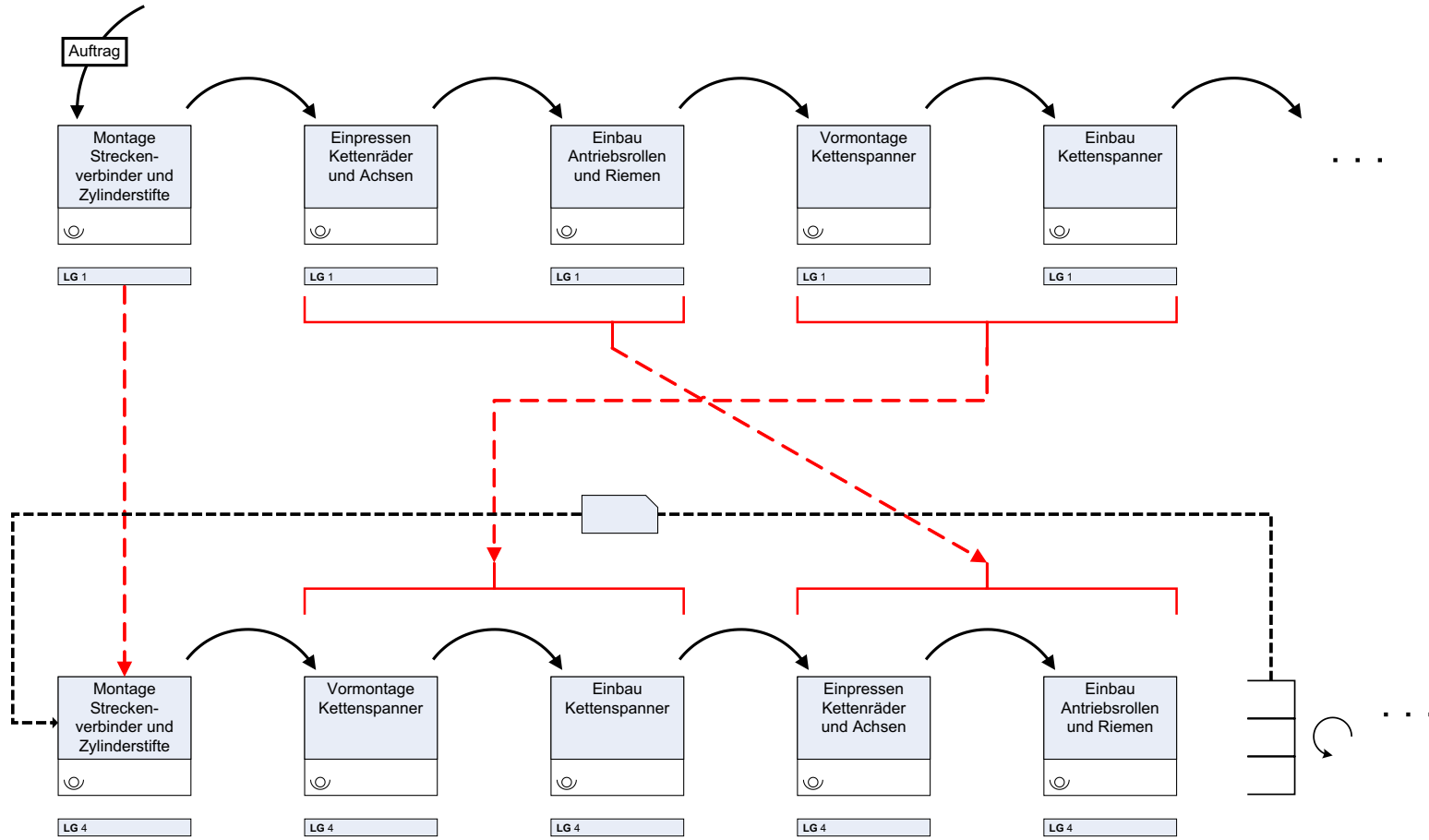


Abbildung 8.21.: Wertstromdesign für die Bestückung der Gehäuse der Antriebstationen AS 2/C und R

8. Konzeption Soll-Zustand

zess musste der Streckenverbinder mit einer Hand gehalten werden, während mit der anderen Hand die Schrauben angesetzt und festgeschraubt wurden. Im neuen Prozess nimmt die Vorrichtung den Streckenverbinder auf, wodurch der Monteur beide Hände für die Montage frei hat. Abbildung 9.5 zeigt die Montage des Streckenverbinders an der fertigen Vorrichtung.

Durch Drehen des Gehäuses um 180 Grad um die Längsachse gelangt dieses in die zweite, in Abbildung 8.22e und f dargestellten Position. In dieser wird der Zylinderstift montiert. Das Anzugsmoment der Schraube beträgt dabei 10 Nm. Im alten Prozess musste der Monteur mit der einen Hand das Gehäuse festhalten und mit der anderen der Akkuschauber bedienen. Aufgrund des relativ starken Anzugsmomentes war der Kraftaufwand nicht unbeachtlich. Die Vorrichtung hält das Gehäuse fest in seiner Position, wodurch die erste Hand frei ist, um das Bedienen des Akkuschaubers zu unterstützen.

Durch Drehen des Gehäuses um 90 Grad um die Querachse gelangt dieses in die dritte und letzte Position. Diese ist in Abbildung 8.22g und h dargestellt. Sie dient zum Einbau des Kettenspanners. Dabei muss der Kettenspanner entgegen der Federkraft bis zum Anschlag geschoben werden. In dieser wird dann durch Drehen des Bolzens der Kettenspanner fixiert. Da im alten Prozess gleichzeitig dazu das Gehäuse gehalten werden musste, erforderte der Einbau etwas Geschick. Die neue Vorrichtung hält das Gehäuse fest und erleichtert so dem Monteur den Einbau.

Der nächste Schritt ist das bereits oben beschriebene Einpressen der Kettenräder und Achsen. Gemäß dem in Anhang C dargestellten Linienlayout ist der Arbeitsplatz für die Montage der Streckenverbinder und Zylinderstifte sowie dem Einbau der Kettenspanner in der Vormontage ganz rechts angeordnet. Links davon ist der Arbeitsplatz zum eben genannten Einpressen der Kettenräder und der Achsen. Die Montagevorrichtungen sind mit dem Tisch des entsprechenden Arbeitsplatzes verschraubt. Wie in Abschnitt 8.3.1 beschrieben, werden pro Kanban-Behälter immer vier Gehäuse gefertigt. Um nun ein ständiges Wechseln zwischen den Montagevorrichtungen zu vermeiden, wurde eine Vorrichtung entworfen, welche zwischen den beiden oben beschriebenen Montagevorrichtungen liegt und genau vier Gehäuse aufnehmen kann. Das 3D-Modell dieser Vorrichtung ist in Abbildung 8.23 dargestellt. 8.23a zeigt die Vorrichtung alleine und 8.23b mit vier rechten Gehäusen.

Für die Bestückung der Gehäuse der Antriebsstationen AS 2/C und AS 2/R führt der Monteur also an vier Gehäusen die Prozessschritte „Montage Streckenverbinder und Zylinderstifte“, „Vormontage Kettenspanner“ und „Einbau Kettenspanner“ durch und stellt die Gehäuse in der in Abbildung 8.23 dargestellten Vorrichtung ab. Ist er damit fertig, geht er zur Presse weiter und presst dort die Kettenräder und Achsen ein sowie verbaut die Antriebsrollen und den Riemen gemäß den entsprechenden Prozessschritten. Das danach fertige Gehäuse legt er in den Kanban-Behälter, welchen er bereits zu Beginn des Montageprozesses auf der Rollenbahn gleich links neben der Presse abgestellt hat.

8. Konzeption Soll-Zustand

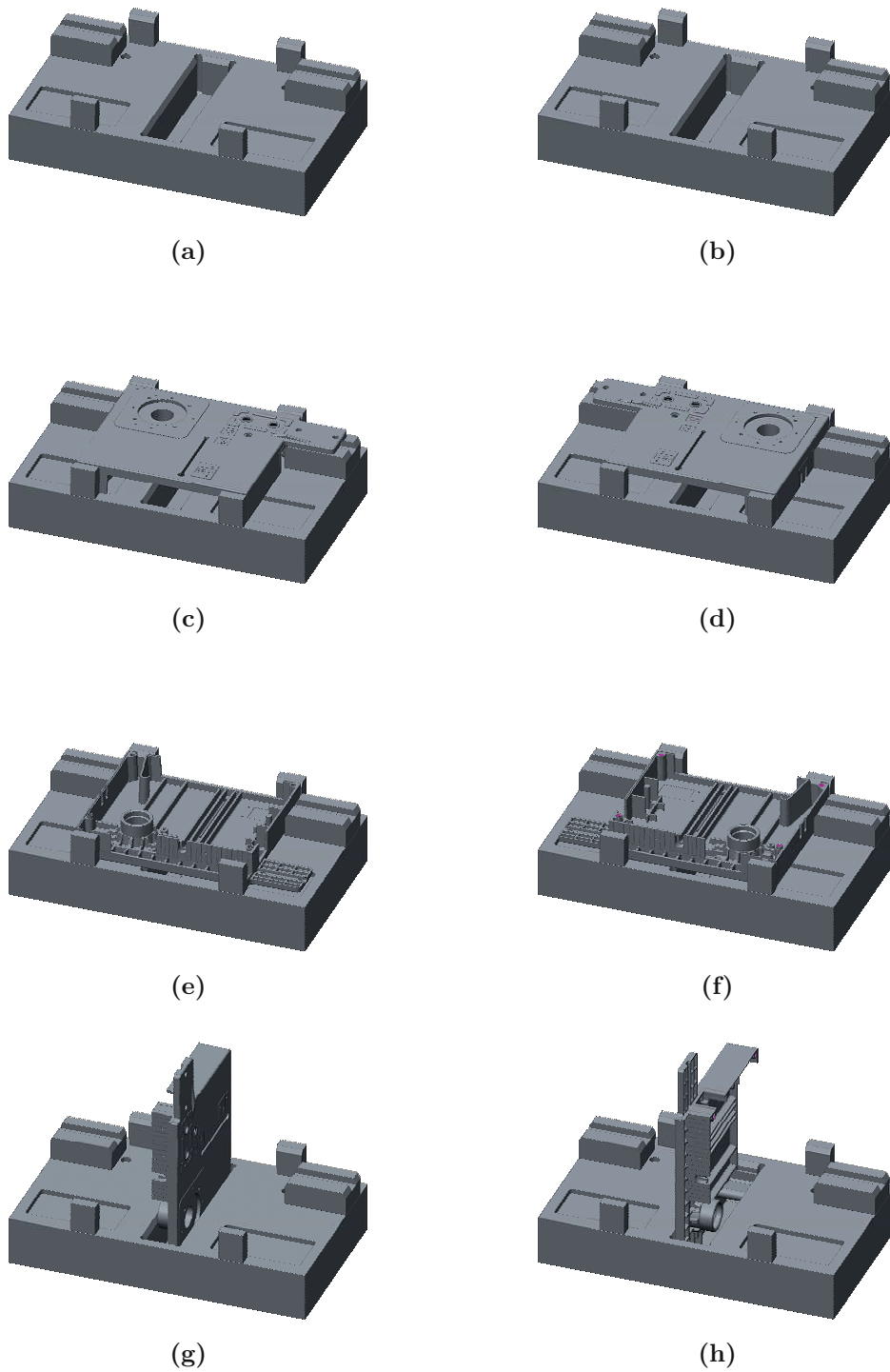


Abbildung 8.22.: Vorrichtung zum Prozessschritt „Montage Streckenverbinder und Zylinderstift“

8. Konzeption Soll-Zustand

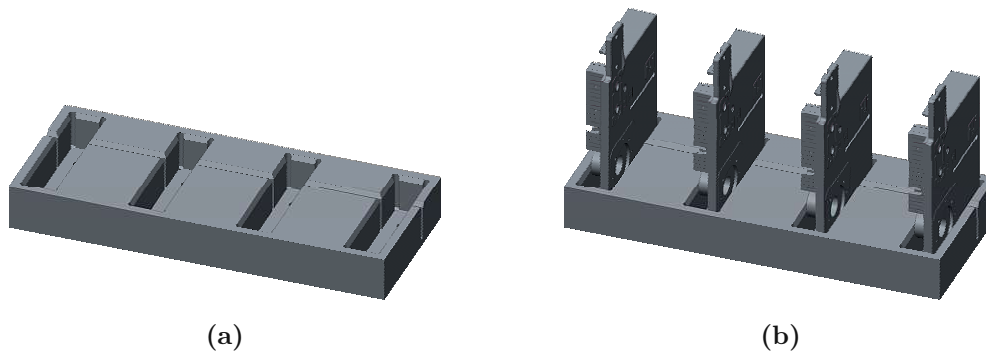


Abbildung 8.23.: Vorrichtung zum Abstellen von Gehäusen

Die technischen Zeichnungen zu den oben genannten Montagevorrichtungen sind in Anhang D zu finden.

8.4.3. Weitere Arbeitsplatzgestaltung und Planung in MTpro

Neben den oben beschriebenen Transfersystemen, bietet Bosch Rexroth, wie bereits in der Einleitung beschrieben, auch Produkte zur Gestaltung von manuellen Produktionssystemen an. Bei dem in Abbildung 8.4 dargestellten Arbeitsplatz handelt es sich beispielsweise um ein Produkt aus diesem Sortiment. Die Arbeitsplätze sind aus Aluminiumprofilen und nach dem Baukastenprinzip aufgebaut und können so leicht erweitert oder mit Zubehör ergänzt werden. Zur Planung der Arbeitsplätze wurde die von Bosch Rexroth angebotene Planungssoftware MTpro verwendet. MTpro erlaubt die Konfiguration und das Zusammenstellen der Produkte von Bosch Rexroth in einer virtuellen, dreidimensionalen Umgebung.

Ermittlung der Tischhöhe

Die optimale Arbeitshöhe wird gemäß Abschnitt 5.1 in Bezug auf die bei der Arbeit notwendige visuelle Kontrolle und Feinmotorik bestimmt. Zur Ermittlung der Tischhöhe sind gemäß Abbildung 8.24 Werkstück- oder Einlegehöhen von der optimalen Arbeitshöhe abzuziehen.⁶

Die Tätigkeiten der Vormontage stellen nur eine geringe Anforderung an die visuelle Kontrolle, jedoch ist für das Umdrehen oder Versetzen der Gehäuse in den Vorrichtungen eine gute Bewegungsfreiheit der Arme von Vorteil. Daher wurde die Arbeitshöhe gemäß Abbildung 5.1 mit 1.025 mm festgesetzt. Die in Abschnitt 8.4.2 beschriebenen

⁶vgl. Bosch Rexroth AG 2015a, S. 5.

⁷Bosch Rexroth AG 2015a, S. 5.

8. Konzeption Soll-Zustand

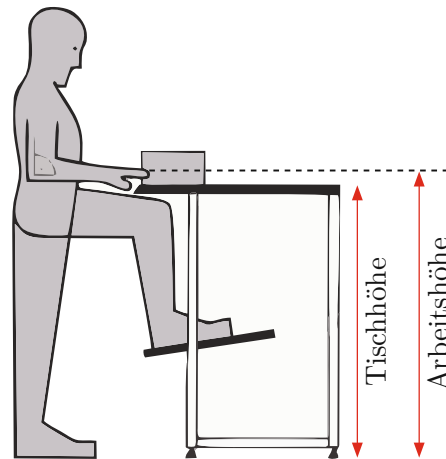


Abbildung 8.24.: Zusammenhang zwischen Tischhöhe und Arbeitshöhe⁷

Montagevorrichtungen sind so konzipiert, dass diese nebeneinander, dem Arbeitsfluss entsprechend, auf den Arbeitstisch geschraubt werden. Die Höhe des Tisches wurde so gewählt, dass im Mittel die Oberkante des in der Vorrichtung liegenden Gehäuses auf der optimalen Arbeitshöhe von 1.025 mm liegt. An der Oberkante bzw. nahe dieser erfolgen die meisten Montage Tätigkeiten.

Für die Arbeitstische der Endmontage wurde ein ähnlicher Ansatz gewählt. Der Prozessschritt zum Verbinden der Gehäuse erfordert eher eine hohe Anforderung an die Bewegungsfreiheit der Arme als an die visuelle Kontrolle. Die Tischhöhe für das Verbinden der Gehäuse der Antriebstationen AS 2/C und AS 2/R wurde daher so gewählt, dass sich gemäß Abbildung 8.24 die Mitte der Gehäuse auf der optimalen Arbeitshöhe von 1.025 mm befindet. Mit einer Gehäusehöhe von circa 200 mm ergibt dies eine Tischhöhe von 925 mm. Die Höhe der Montagevorrichtung für das Verbinden der Gehäuse der Antriebstationen AS 2/B und der Umlenkungen UM 2/B wurde nach dem gleichen Ansatz festgelegt.

Die Vormontage und Montage der Motoren stellt bereits eine höhere Anforderung an die Feinmotorik. Da zusätzlich die Motoren unterschiedliche Größen aufweisen und links neben der Vormontage auf dem gleichen Tisch das Verbinden der Gehäuse der Antriebstationen AS 1 und der Umlenkungen UM 1 stattfinden sollte, wurde hier ein Arbeitstisch gewählt, dessen Höhe verstellbar ist. Der Monteur kann so die Tischhöhe individuell einstellen und den entsprechenden Montageaufgaben anpassen.

Materialbereitstellung

Wie bereits oben besprochen, erfolgt die Materialbereitstellung über die Materialebenen des Arbeitsplatzes. Diese sind direkt hinter der Tischplatte angeordnet. In Abschnitt

8. Konzeption Soll-Zustand

8.3.3 wurde definiert, dass die Tiefe der Materialebenen in der Endmontage 1.200 mm betragen muss. Für diese Tiefe gibt es keine Materialebenen, wie sie an dem Arbeitsplatz in Abbildung 8.4 dargestellt sind. Stattdessen musste für die Materialbereitstellung der gesamten Linie auf die ebenfalls von Bosch Rexroth angebotenen Förderbahnen zurückgegriffen werden. Abbildung 8.25 zeigt den in 8.4 dargestellten Arbeitsplatz, jedoch mit einer tieferen Materialbereitstellung. Exemplarisch ist eine einzelne Förderbahn dargestellt. Zur Bereitstellung aller Materialien wird für jede Materialnummer eine eigene Förderbahn benötigt. Diese sind an den Traversen des Arbeitsplatzes montiert. Mit weiteren Traversen kann die Materialbereitstellung auf mehreren Ebenen erfolgen.

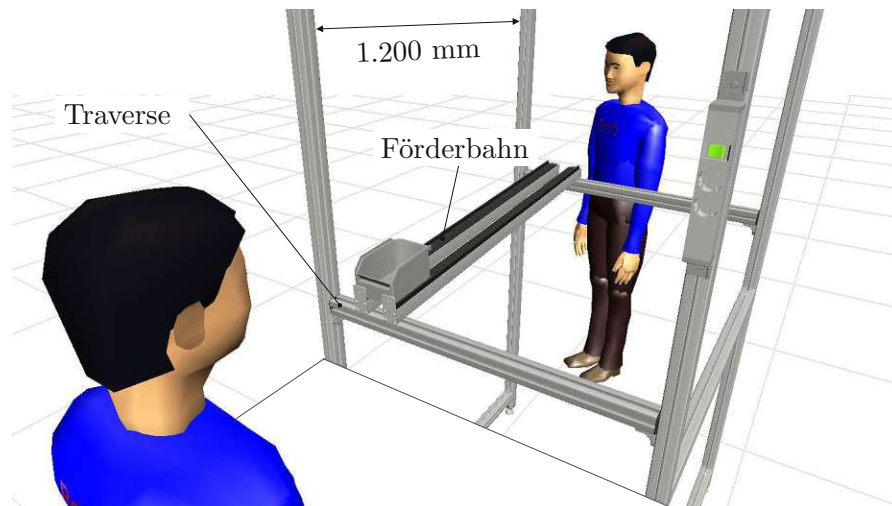


Abbildung 8.25.: Arbeitsplatz mit tiefer Materialebene und Förderbahn

Bei der Verteilung der Materialien auf die verschiedenen Ebenen wurde ein Ansatz gewählt, bei welchem die großen Teile, wie zum Beispiel die Gehäuse, in der untersten Ebene bereitgestellt werden und kleinere Teile, wie zum Beispiel Schrauben, in der zweiten und dritten Ebene. Die unterste Ebene mit den großen Teilen kann dabei etwas unter die Arbeitsplatte abgesenkt werden. Dadurch sind die kleineren Teile in der zweiten und dritten Ebene für den Monteur besser greifbar. Die Bereitstellung über eine vierte Ebene wurde weitgehend vermieden. In Abschnitt 5.3 wurde gezeigt, dass durch Beugen des Oberkörpers die Montagezeit erheblich ansteigt. Daher wurde auf eine Bereitstellung unterhalb der Arbeitsplatte durchgehend verzichtet. Abbildung 8.26 zeigt als Beispiel die schematische Seitenansicht des Arbeitsplatzes zur Montage der Streckenverbinder und Zylinderstifte der Gehäuse der Antriebstationen AS 2/C und AS 2/R. Auf die genaue Verteilung der Materialbehälter soll in Kapitel 9 eingegangen werden.

Bei der Verteilung der Materialien auf die zweite und dritte Eben war darauf zu achten, dass die Teile dem Montageprozess entsprechend an sinnvollen Stellen liegen, sowie dass die Gesamtbreite des Arbeitsplatzes möglichst gering wird. Gemäß Abschnitt 5.3 sollen Kreuz- und Querwege weitgehend vermieden werden, sowie der Startpunkt einer

8. Konzeption Soll-Zustand

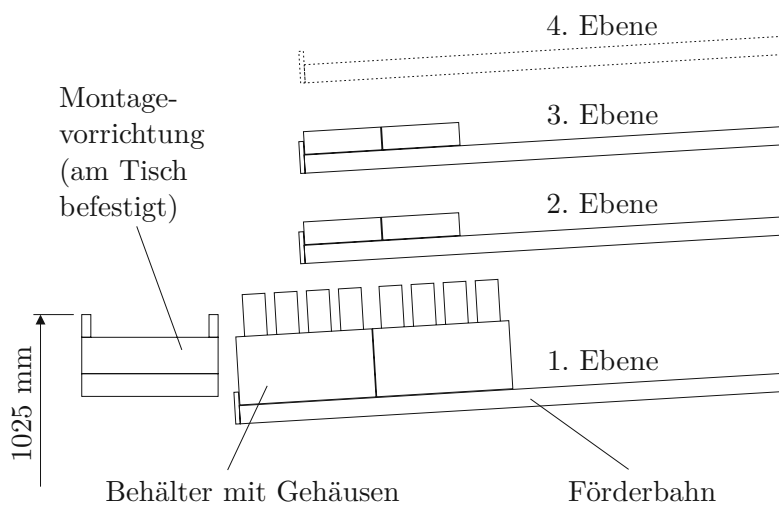


Abbildung 8.26.: Schematische Seitenansicht eines Arbeitsplatzes

Handlung möglichst in der Nähe des Endpunktes der vorigen Handlung liegen. Nach Abbildung 8.27 wird die Gesamtbreite der einzelnen Materialebenen durch die Addition der Förderbahnbreiten ermittelt. Die Materialebene mit der größten Breite bestimmt die endgültige Breite des Arbeitsplatzes. Diese wurde anschließend ins Layout übertragen.

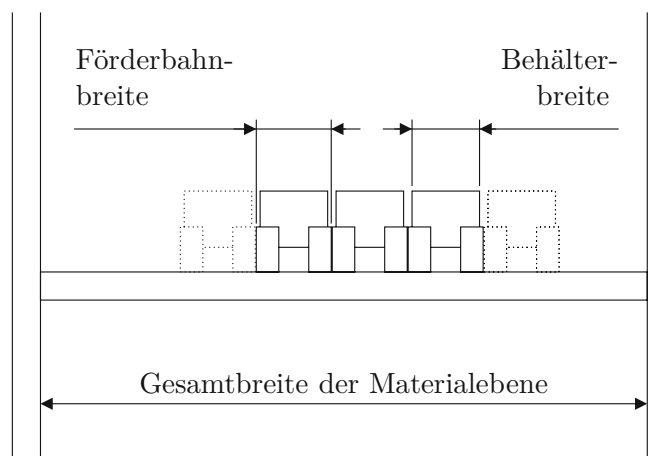


Abbildung 8.27.: Breite einer Materialebene

Zusammensetzen der Linie in MTpro

Nachdem die Maße für alle Arbeitsplätze festgelegt waren, konnte die Linie in MTpro modelliert werden. Dazu wird der Arbeitsplatz in MTpro aus dem Produktkatalog ausgewählt, entsprechend konfiguriert und anschließend platziert. Das in Anhang C dargestellte Layout ist mit AutoCAD erstellt und kann so in MTpro importiert werden.

8. Konzeption Soll-Zustand

Dort erscheint das Layout als Grundriss am Boden und hilft bei der Platzierung der Arbeitsplätze. Abbildung 8.28 zeigt die Darstellung der Linie in MTpro. Von rechts nach links, befindet sich am ganz rechten Ende der Arbeitstisch zum Verbinden der Gehäuse der Antriebsstationen AS 2/C und AS 2/R (1). Links davon wird direkt an das Regal die in Abbildung 7.8 gezeigte Montagevorrichtung zum Verbinden der Gehäuse der Antriebsstationen AS 2/B und Umlenkungen UM 2/B montiert (2). Daneben steht der höhenverstellbare Tisch (3) für die Vormontage der Motoren und dem Verbinden der Gehäuse der Antriebsstationen AS 1 und Umlenkungen UM 1. Links davon, am Anfang der Vormontage, sind Arbeitsplätze ohne Tischplatte vorgesehen (4). Die Montagevorrichtungen und Pressen werden dort direkt an die Aluminiumprofile der Arbeitsplätze geschraubt. Die zur Materialbereitstellung notwendigen Förderbahnen wurden in der gesamten Linie nur andeutungsweise eingezeichnet.

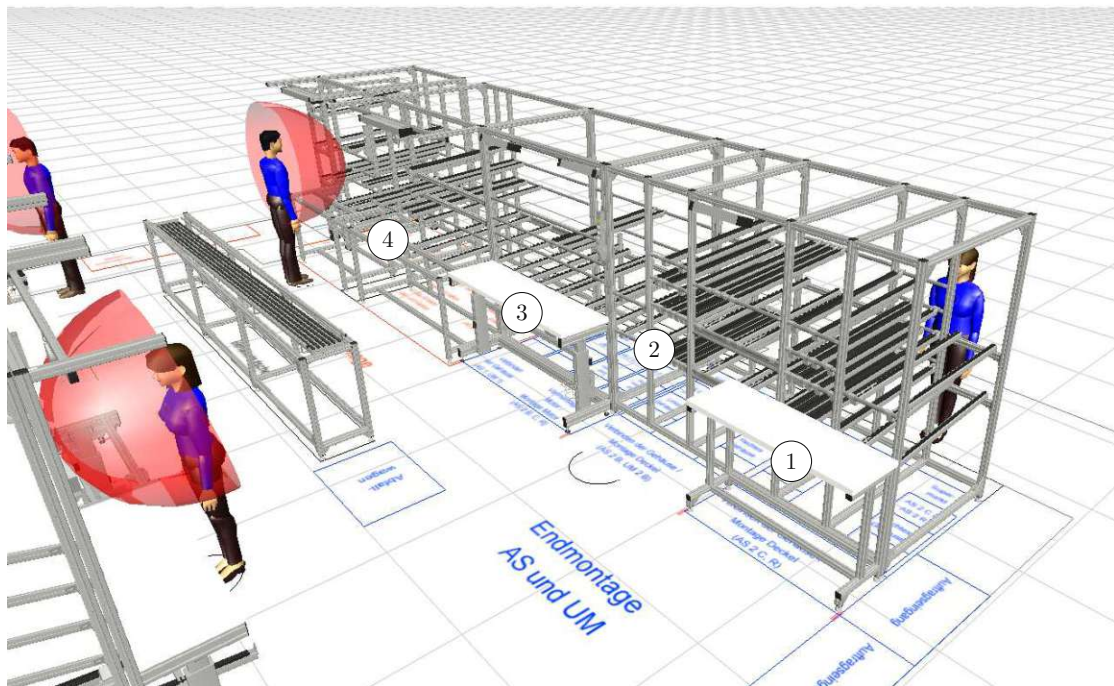


Abbildung 8.28.: Darstellung der Linie in MTpro

Werkzeugbereitstellung

In Abschnitt 5.3 wurde gezeigt, in welchem Ausmaß die Montagezeit mithilfe von Köchern und Werkzeughaltern reduziert werden kann. In diesem Zusammenhang werden von Bosch Rexroth die verschiedensten Produkte angeboten. Diese werden in der Regel in den Nuten der Aluminiumprofile der Arbeitsplätze befestigt und erlauben so eine Werkzeugbereitstellung an der optimalen Stelle. Abbildung 8.29 zeigt die erhältlichen Köcher

8. Konzeption Soll-Zustand

für Werkzeuge (a), jenen Köcher für Akkuschauber (b) und eine Werkzeughalterung (c).

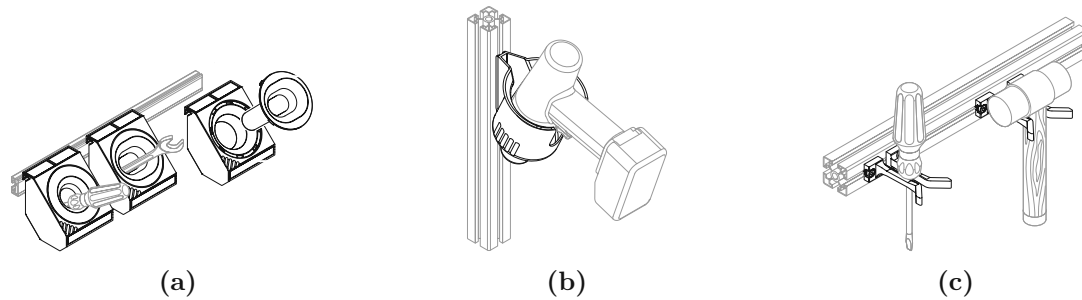


Abbildung 8.29.: Köcher und Werkzeughalter von Bosch Rexroth⁸

Nach dem Ansatz der 5-A-Methode aus Abschnitt 2.3 konnte in der Vormontage die Anzahl der tatsächlich notwendigen Werkzeuge auf einige wenige reduziert werden. Diese werden mit den oben beschriebenen Köchern und Werkzeughaltern an genau definierten Stellen bereitgestellt, wodurch das Suchen nach dem richtigen Werkzeug entfällt und keine Verschwendung in Form von Suchzeit entsteht. Auf die genaue Umsetzung wird in Kapitel 9 eingegangen.

Für die Endmontage der verschiedenen Varianten der Antriebsstationen und Umlenkungen ist die Anzahl der benötigten Werkzeuge größer als in der Vormontage. Auch hier erfolgt die Bereitstellung über Köcher, jedoch mehrerer nebeneinander. Auf die genaue Umsetzung soll ebenfalls in Kapitel 9 eingegangen werden.

In der alten Linie wurde der Großteil der Schrauber mit Druckluft betrieben. Da Druckluft in der Regel teurer ist als elektrischer Strom, wurden im Zuge der Neugestaltung die meisten der Druckluftschauber durch Elektro- oder Akkuschauber ersetzt. In der Vormontage sind die Tätigkeiten auf den verschiedenen Arbeitsplätzen immer dieselben. Daher bietet sich für jene Schrauben, welche von oben in das Gehäuse geschraubt werden, der Einsatz von Elektrostabschraubern in Kombination mit Federzügen an. In der Endmontage variiert aufgrund der Variantenvielfalt die Seite, von welcher geschraubt wird. Daher wurden hier vorzugsweise Akkuschauber vorgesehen. Auf die genaue Umsetzung wird wiederum in Kapitel 9 eingegangen.

8.4.4. Maßnahmen zur Qualitätssicherung

Wie bereits im Zuge der Wertstromanalyse in Abschnitt 7.1.2 besprochen, unterscheiden sich die Varianten C und R kaum. Das Gehäuse sowie viele weitere Teile sind identisch und auch die Montageprozesse sind vergleichbar. Abbildung 8.30 und Abbildung 8.31 zeigen jeweils die kompletten Gehäuse mit den Abdeckplatten und den C- bzw.

⁸Bosch Rexroth AG 2015b, S. 34 ff.

8. Konzeption Soll-Zustand

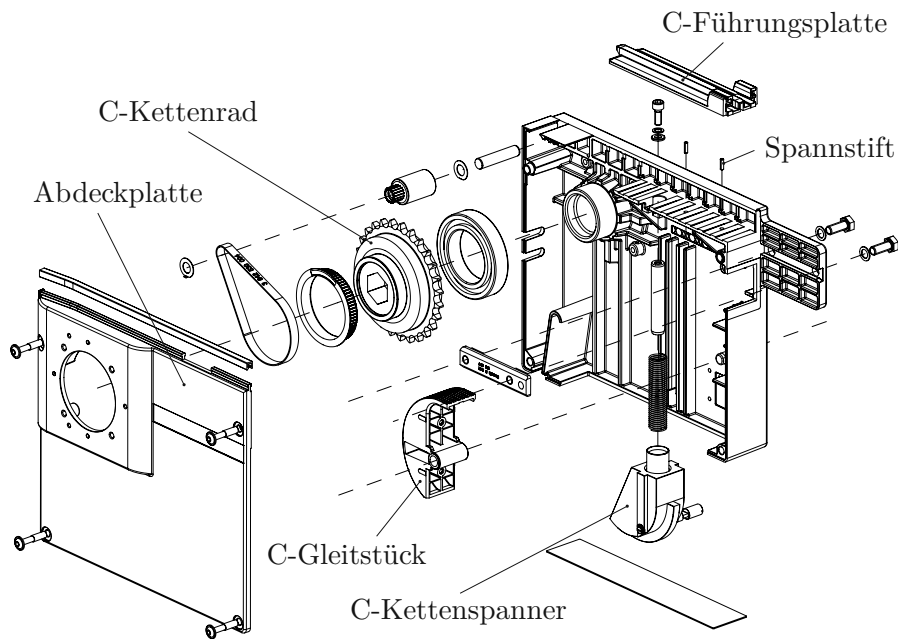


Abbildung 8.30.: Komplettes Gehäuse mit Abdeckplatte und C-spezifischen Teilen

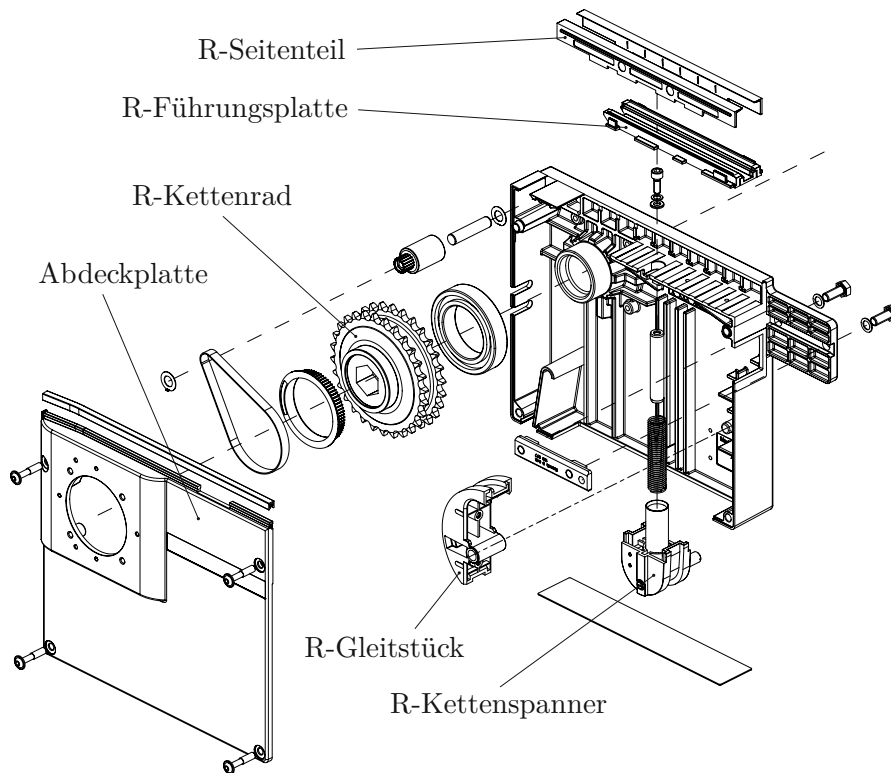


Abbildung 8.31.: Komplettes Gehäuse mit Abdeckplatte und R-spezifischen Teilen

8. Konzeption Soll-Zustand

R-spezifischen Teilen. Bei den C- bzw. R-spezifischen Teilen handelt es sich um das Kettenrad, den Kettenspanner sowie die Gleitelemente für die Kette.

Der Unterschied zwischen den beiden Varianten ergibt sich also aufgrund der unterschiedlichen Ketten. Die Auswertung von Kundenreklamationen zeigte, dass die C- bzw. R-spezifischen Teile in der Montage gerne vertauscht werden. Daher galt es bei der Neuplanung der Linie verschiedene Maßnahmen zu treffen, um eine solche Vertauschung zu verhindern. Folgende Konzepte wurden dabei angedacht:

- Räumliches Trennen
- Pick-to-Light
- Put-to-Light
- Abdecken von Teilen

Das **räumliche Trennen** wurde in der Vormontage eingesetzt. In der Vormontage werden lediglich das Kettenrad und der Kettenspanner verbaut. Um dem Monteur das Finden der richtigen Teile zu erleichtern, wurden alle R-spezifischen Teile in der zweiten und alle C-relevanten Teile in der dritten Materialebene angelegt. Da die Gehäuse aus der Vormontage noch nicht direkt zum Kunden geliefert werden, sondern „nur“ an die Endmontage, ist das Risiko als eher gering einzustufen: In der Regel kontrolliert der Monteur der Endmontage beim Ergänzen der restlichen C- bzw. R-spezifischen Teile, ob auch das entsprechende Kettenrad und der richtige Kettenspanner eingebaut wurde.

Trotzdem wurde ein Konzept entworfen, bei welchem die Kanban-Behälter mit einem RFID-Chip ausgestattet werden. Auf diesem ist gespeichert, ob C- oder R-Gehäuse gefertigt werden sollen. Wie oben beschrieben, stellt der Monteur im ersten Schritt den leeren Behälter auf der Rollenbahn ab. Dort liest ein RFID-Lesegerät den Chip aus und zeigt nach dem **Pick-to-Light**-Ansatz mittels LEDs dem Monteur in welchen Behältern die C- bzw. R-Teile liegen. Zusätzlich könnte mit Sensoren geprüft werden, ob der Monteur auch tatsächlich in die richtigen Behälter greift. Aufgrund der Komplexität dieser Lösung wurde sie vorerst nicht umgesetzt, jedoch als zukünftiges Projekt vorgemerkt.

Ein weiterer kritischer Punkt ist das richtige Einordnen der Kanban-Behälter mit fertigen C- bzw. R-Gehäusen in die Materialebenen der Endmontage. Hierfür ist der Etagenlogistiker verantwortlich. Hier wurde eine sich mit dem Pick-to-Light-Ansatz vereinende **Put-to-Light**-Lösung angedacht: Mithilfe des am Behälter angebrachten RFID-Chips wird dem Etagenlogistiker die richtige Materialebene angezeigt und überprüft, ob der Behälter richtig abgestellt wurde.

Der letzte kritische Punkt liegt in der Endmontage: Anhand der Auftragspapiere erkennt der Monteur, ob die Variante C oder R gebaut werden muss, und entnimmt dementsprechend je ein rechtes und linkes C- oder R-Gehäuse aus den entsprechenden Kanban-Behältern. Diesem entsprechend muss jedoch auch das richtige Gleitstück und die richtige Gleitplatte (mit Seitenteilen) verwendet werden. Das Einlegen dieser Teile erfolgt in der Regel erst nach dem Verbinden der Gehäuse, jedoch immer vor dem Anschrauben

8. Konzeption Soll-Zustand

der Abdeckplatten. Ähnlich dem Ansatz des räumlichen Trennens in der Vormontage, wurden die R-Gehäuse zusammen mit den R-spezifischen Teilen in der untersten Ebene angeordnet, während die C-Gehäuse zusammen mit den C-spezifischen Teilen in der obersten Ebene angelegt wurden. In der mittleren Ebene liegen jene Teile, welche für beide Varianten benötigt werden. Um ein falsches Greifen komplett auszuschließen, sollte zusätzlich eine **Abdeckung** konstruiert werden, welche durch Verschieben entweder die C-Gehäuse und C-Teile oder die R-Gehäuse und R-Teile abdeckt. Auf die Umsetzung dieser Abdeckung wird in Kapitel 9 eingegangen.

9. Umsetzung

Mit Abschluss der Detailplanung war festgelegt, in welcher Konfiguration und mit welchen Maßen die Arbeitsplätze bestellt werden mussten und welches zusätzliche Werkzeug und Zubehör anzuschaffen war. Die Umsetzung erfolgte in zwei Schritten: Als erstes wurde die alte Linie versetzt, um Platz für die neue Linie zu schaffen. Im zweiten Schritt wurde diese aufgebaut. Um die anstehende Veränderung an die Mitarbeiter der Fertigung zu kommunizieren, wurde während des Aufbaus das in Abbildung 9.1 ersichtliche Plakat aufgehängt. Es zeigt das 3D-Modell der Linie aus MTpro und das Linienlayout. Das Plakat ist ebenfalls in Anhang E dargestellt. Im Hintergrund ist die neue Linie in ihrer Entstehung zu sehen.



Abbildung 9.1.: Aufbau der Linie: 1. Plakattafel

Der Anlauf der Linie erfolgte ebenfalls in zwei Phasen: Gestartet wurde mit der Vor- und Endmontage der Kurven, jene der Antriebsstationen und Umlenkungen folgte einige Zeit später. Zur Übersiedlung der Materialbehälter, Vorrichtungen und Werkzeuge aus der alten Linie in die neue wurde diese für zwei Tage frei geplant, das heißt an diesen Tagen wurden keine Aufträge für Antriebsstationen oder Umlenkungen terminiert. Zu

9. Umsetzung

Schichtbeginn des SOPs erhielten die Mitarbeiter der Linie eine Einweisung in die neuen Prozesse. Ebenfalls wurden im Zuge eines Workshops die Mitarbeiter auf den neuen Montagevorrichtungen eingeschult. Die in Abbildung 9.1 ersichtliche Plakattafel blieb während den ersten Wochen stehen und wurde mit einer Liste offener Punkte ergänzt. Dort konnten Mitarbeiter Anregungen in Bezug auf die neue Linie notieren. Diese wurden anschließend besprochen und zum Großteil auch umgesetzt. Folgender Abschnitt 9.1 zeigt die neue Linie und Abschnitt 9.2 die Evaluierung dieser.

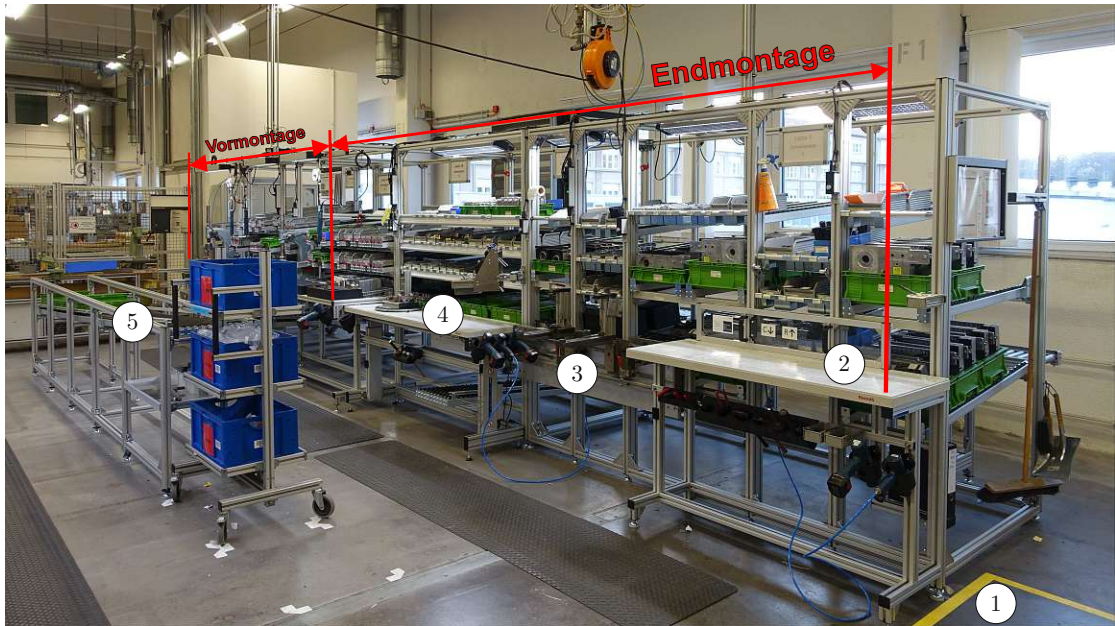
9.1. Die fertige Linie

Im Folgenden soll erst ein Überblick über die gesamte Linie gegeben werden. Anschließend wird auf ausgewählte Arbeitsplätze sowie auf die Verkettung zwischen der Vor- und Endmontage eingegangen.

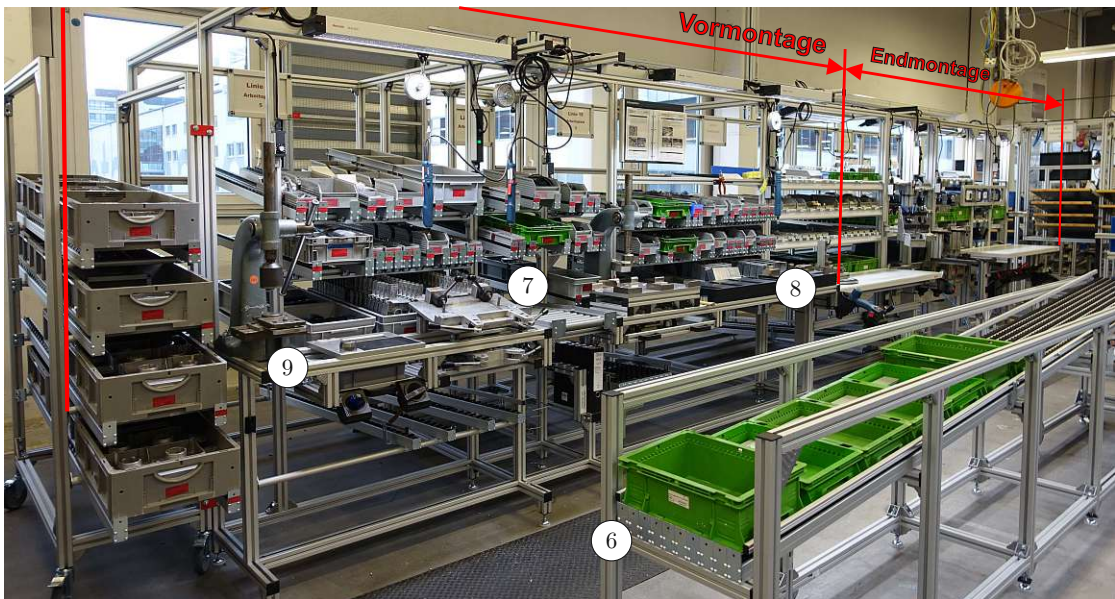
9.1.1. Überblick

Abbildung 9.2 zeigt den Blick in die neue Linie. In der oberen Abbildung ist die Endmontage im Vordergrund. Hier ist ganz rechts ein Teil der Fläche für die Auftragswägen ersichtlich ①. Diese ist mit gelben Streifen am Boden markiert. Von rechts nach links, dient der erste Arbeitsplatz zum Verbinden der Gehäuse der Antriebsstationen AS 2/C und AS 2/R ②. Links davon ist direkt am Regal die Montagevorrichtung für das Verbinden der Gehäuse der Antriebstation AS 2/B und der Umlenkung UM 2/B montiert ③. Wiederum links davon befindet sich der höhenverstellbare Arbeitsplatz für die Vormontage und Montage der Motoren ④. Dort, ganz am Ende der Endmontage, findet auch das Verbinden der Gehäuse der Antriebstation AS 1 und der Umlenkung UM 1 statt. Die entsprechenden Gehäuse sind jeweils hinter den Arbeitsplätzen in den grünen Behältern bereitgestellt. Gemäß dem Linienlayout in Anhang C beginnt die Behälterrutsche für die leeren Behälter in der Endmontage ⑤ und endet in der Vormontage ⑥. Wie bereits angesprochen, nimmt dort der Monteur der Vormontage die leeren Behälter auf und stellt sie auf der Rollenbahn in der Mitte der Vormontage ab ⑦. Anhand des weißen Etiketts am Behälter erkennt der Monteur, welche Gehäuse gebaut werden sollen. Die Gehäuse der Antriebstationen AS 2/C und AS 2/R werden rechts der Rollenbahn gebaut, jene der Antriebstation AS 2/B und der Umlenkung UM 2/B links davon. Der Arbeitsfluss beginnt dabei ganz am rechten ⑧ bzw. ganz am linken ⑨ Ende der Vormontage und endet jeweils in der Mitte bei der Rollenbahn.

9. Umsetzung



(a) Endmontage im Vordergrund



(b) Vormontage im Vordergrund

Abbildung 9.2.: Blick in die neue Linie

9.1.2. Ausgewählte Arbeitsplätze im Detail

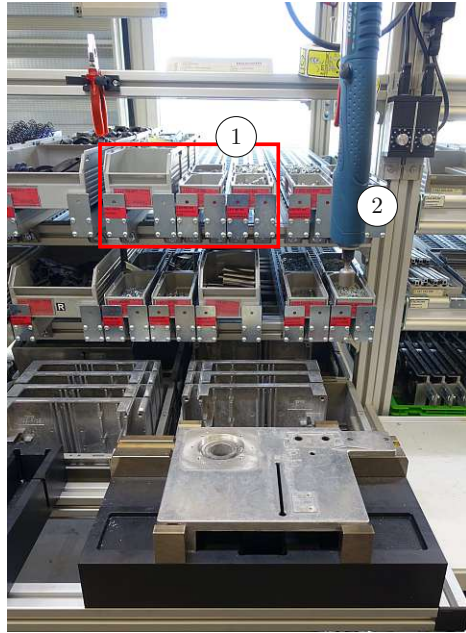
Bestückung der Gehäuse der Antriebsstationen AS 2/C und AS 2/R

Abbildung 9.3 zeigt die Arbeitsplätze zur Bestückung der Gehäuse der Antriebsstationen AS 2/C und AS 2/R. Die zu befüllenden Behälter werden wie oben beschrieben auf der Rollenbahn abgestellt (④). Auf den ersten 300 mm - dies entspricht der Breite der Behälter - ist diese eben und die Rollen blockiert. Erst danach fällt die Rollenbahn ab und transportiert so die Behälter automatisch zur Rückseite der Linie. Der Arbeitsfluss beginnt ganz rechts. Dort befindet sich die Vorrichtung zur Montage der Streckenverbinder und Zylinderstifte sowie zum Einbau des Kettenspanners (①). Davon links liegt die Vorrichtung zum Abstellen der vier Gehäuse (②). Wiederum links findet sich die Vorrichtung zum Einpressen der Kettenräder und Achsen sowie zum Einbau der Antriebsrollen und Riemen (③). Unter der Presse liegt die Rückführebene für die leeren Behälter der Vormontage (⑤).

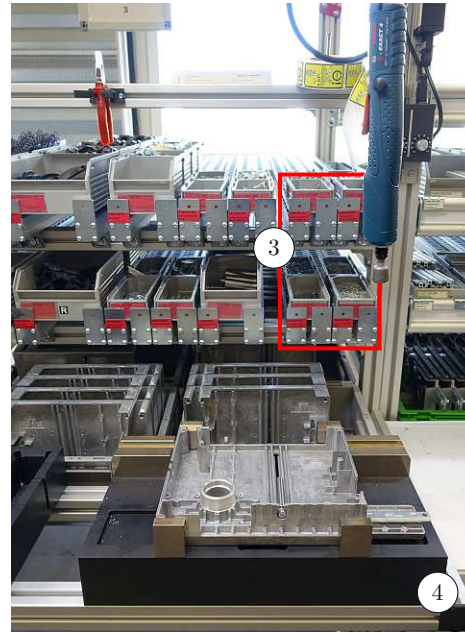


Abbildung 9.3.: Arbeitsplätze zur Bestückung der Gehäuse der Antriebsstationen AS 2/C und AS 2/R

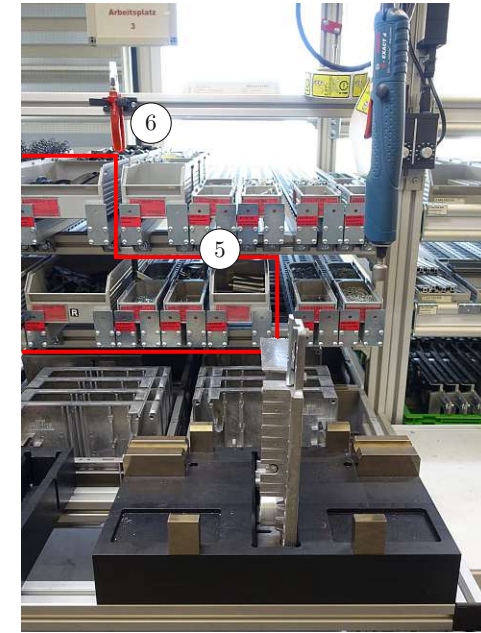
Im Folgenden soll im Detail auf die einzelnen Arbeitsplätze eingegangen werden. Abbildung 9.4 zeigt den ersten Arbeitsplatz und das Gehäuse in seinen drei verschiedenen Positionen in der Vorrichtung. Gemäß Abschnitt 8.4.2 dient jede Position zur Montage



(a)



(b)



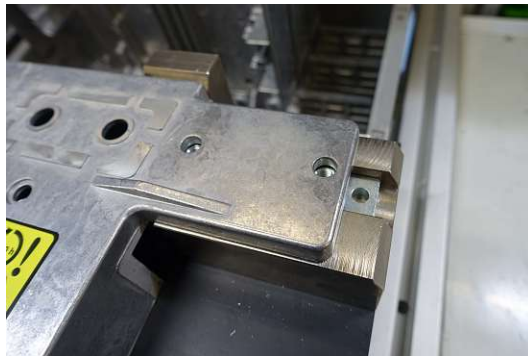
(c)

Abbildung 9.4.: Arbeitsplatz zu den Prozessschritten „Montage Streckverbinder und Zylinderstifte“ sowie „Einbau Ket- tenspanner“

9. Umsetzung

anderer Teile. Die Behälter mit den rechten und linken Gehäusen sind direkt hinter der Vorrichtung angeordnet. Um dem Monteur das Finden der zu montierenden Teile zu erleichtern, sind diese dem Prozessschritt entsprechend gruppiert.

In der ersten, ganz links abgebildeten Position wird der Streckenverbinder montiert. Der Streckenverbinder und die zur Montage benötigten Schrauben und Beilagenscheiben sind im Regal in der dritten Materialebene nebeneinander angeordnet (1). Der Stabschrauber ist mittels eines Federzuges von oben abgehängt (2). Abbildung 9.5 zeigt die Montage des Streckenverbinders: Der Block zur Aufnahme des Streckenverbinders unterstützt den Monteur bei der Montage.



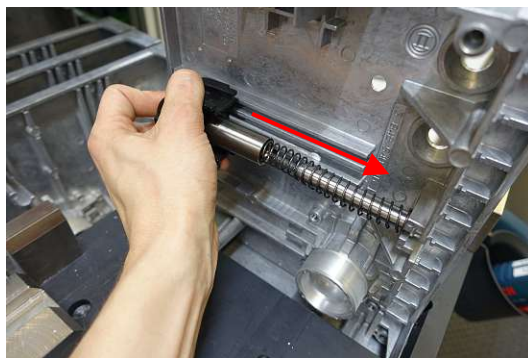
(a)



(b)

Abbildung 9.5.: Montage des Streckenverbinders

In der zweiten Position wird der Zylinderstift montiert. Die dazu benötigten Teile sind ganz rechts in der zweiten und dritten Ebene gruppiert (3). Der Akkuschauber zum Festziehen der Schraube befindet sich rechts neben der Vorrichtung in einem Köcher (4).



(a)



(b)

Abbildung 9.6.: Einbau des Kettenspanners

Die dritte und letzte Position dient dem Einbau des Kettenspanners. Dieser muss davor noch vormontiert werden: Die entsprechenden Teile sind auch hier im Regal zu finden (5).

9. Umsetzung

Das Gleitstück für den C-Kettenspanner ist dabei in der dritten Ebene angeordnet, das Gleitstück für den R-Kettenspanner in der zweiten. Davon rechts liegen die Kleinteile, welche für beide Kettenspanner benötigt werden. Die bei der Vormontage benötigte Zange wird mittels eines Werkzeughalters gemäß Abschnitt 8.4.3 oberhalb der Materialebenen bereitgestellt (6). Abbildung 9.6 zeigt die Montage des Kettenspanners. Die Fixierung des Kettenspanners in seiner Endposition erfolgt durch Drehen des Bolzens auf der anderen Seite des Gehäuses.

Nach dem Einbauen des Kettenspanners wird das Gehäuse in der mittleren Vorrichtung abgestellt. Wie bereits angesprochen, werden die oben beschriebenen Prozessschritte viermal wiederholt. Danach geht der Monteur zur Presse weiter und entnimmt nach dem FIFO-Prinzip ein Gehäuse nach dem anderen. Abbildung 9.7 veranschaulicht die entsprechenden Vorgänge.

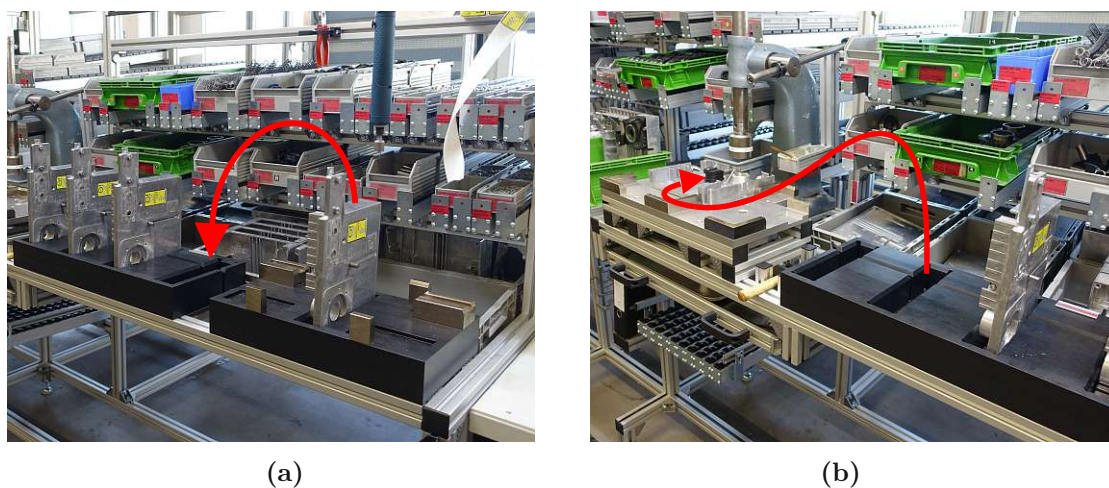


Abbildung 9.7.: Mittige Vorrichtung zum Abstellen der halbfertigen Gehäuse

Die letzten Prozessschritte, und zwar jene beiden an der Presse, umfassen das Einpressen des Kettenrades und der Achse sowie den Einbau des Antriebsrades und des Riemens. Abbildung 9.8 zeigt den Pressenarbeitsplatz. Rechts der Presse liegen das Lager, die Kettenräder sowie das Zahnriemenrad (1). Wie beim Gleitstück ist dabei das R-Kettenrad in der zweiten Ebene und das C-Kettenrad in der dritten Ebene angeordnet. Links der Presse liegen in der zweiten Ebene die Achse und in der dritten die Anlaufscheibe, die Antriebsrolle und der Riemen (2). Die Montage beginnt mit den Teilen der rechten Seite. Bevor die Teile von der linken Seite verwendet werden, wird das Gehäuse in der Vorrichtung gemäß Abschnitt 8.4.2 umgesetzt. Auf der linken Seite wird dann mit dem Einpressen der Achse begonnen. Der Einbau der Antriebsrolle und des Riemens erfordert kein Pressen. Die dazu notwendigen Teile sind der Montagereihenfolge entsprechend von rechts nach links und in der oberen Ebene angeordnet. Bis auf die Presse werden keine Werkzeug benötigt. Das beim Einbau der Antriebsrolle zu verwendende Fett befindet sich in einem Behälter mit Pinsel direkt hinter der Vorrichtung (3). Das nach den beiden

9. Umsetzung

Prozessschritten fertige Gehäuse wird im Behälter auf der Rollenbahn abgestellt (4).

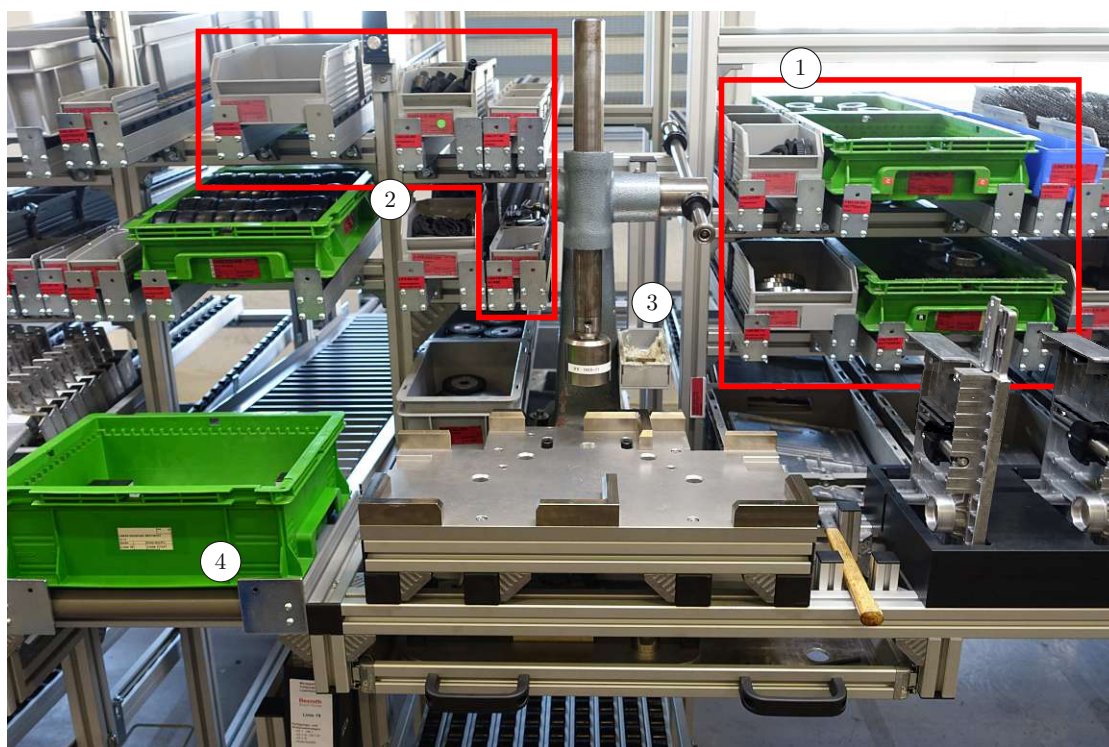


Abbildung 9.8.: Arbeitsplatz zu den Prozessschritten „Einpressen Kettenräder und Achsen“ sowie „Einbau Antriebsrollen und Riemen“



Abbildung 9.9.: Einpressen des Lagers

Abbildung 9.9 zeigt das Einpressen des Lagers. Die Presse ist so eingestellt, dass jeder Pressvorgang ohne Umgreifen erfolgen kann. In der oberen Position des Stempels liegt der Hebel der Presse auf einem Profil hinter der Presse auf. Damit wird der Weg des Stempels auf ein Minimum beschränkt und der Hebel liegt immer an ein und derselben

9. Umsetzung

Stelle. Beides reduziert die Montagezeit. Der größte Pressenweg ist beim Einpressen des Lagers erforderlich: Der Endpunkt des Hebels befindet sich hierbei knapp oberhalb des Gehäuses. Bei einer durchschnittlichen Person ist im Endpunkt der Arm der Person genau abgewinkelt, wodurch auf den letzten Millimetern gut Druck aufgebracht werden kann. Für das Einpressen des Lagers und des Zahnriemenrades gilt selbiges.

Das Umsetzen des Gehäuses ist in Abbildung 9.10 dargestellt. Zu sehen ist, dass in der hinteren Position neben dem Lager nun auch das Kettenrad und Zahnriemenrad eingepresst wurde. Durch die Schrägen an den Eckstücken und Anschlägen ist die neue Position leicht zu finden.

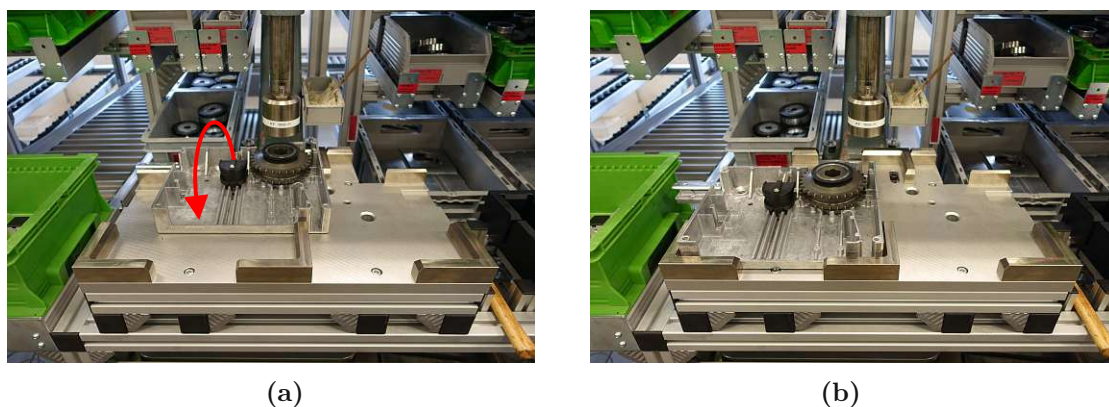


Abbildung 9.10.: Umsetzen des Gehäuses

Abbildung 9.11 zeigt das Einpressen der Achse mit Hilfe des Druckbolzens. Wie in Abschnitt 8.4.2 beschrieben, ist die Vorrichtung genau so ausgelegt, dass in der vorderen Position die Mittellinie zwischen dem Innen- und Außendurchmesser des Stempels genau mit dem Mittelpunkt der Achse und somit auch des Druckbolzens zusammenfällt.

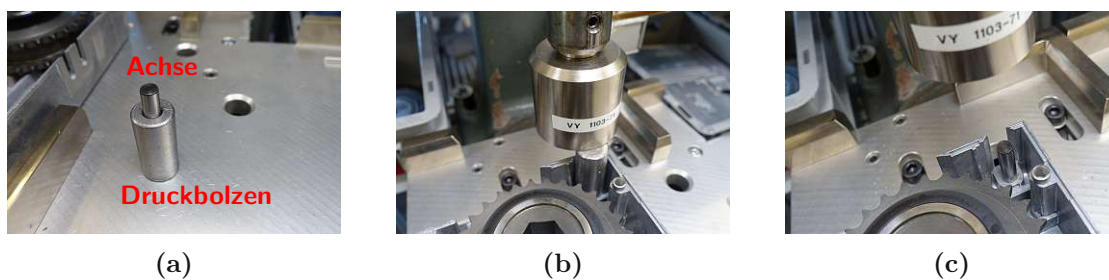


Abbildung 9.11.: Einpressen der Achse

Abbildung 9.12 zeigt das Gehäuse nach dem letzten Prozessschritt in seinem fertigen Zustand. In dem Behälter links neben der Vorrichtung befindet sich ebenfalls ein bereits fertiges Gehäuse. Damit die Gehäuse in der Endmontage wieder gut entnommen werden können, sind diese immer gegengleich zueinander in den Behälter zu stellen. Die Profile

9. Umsetzung

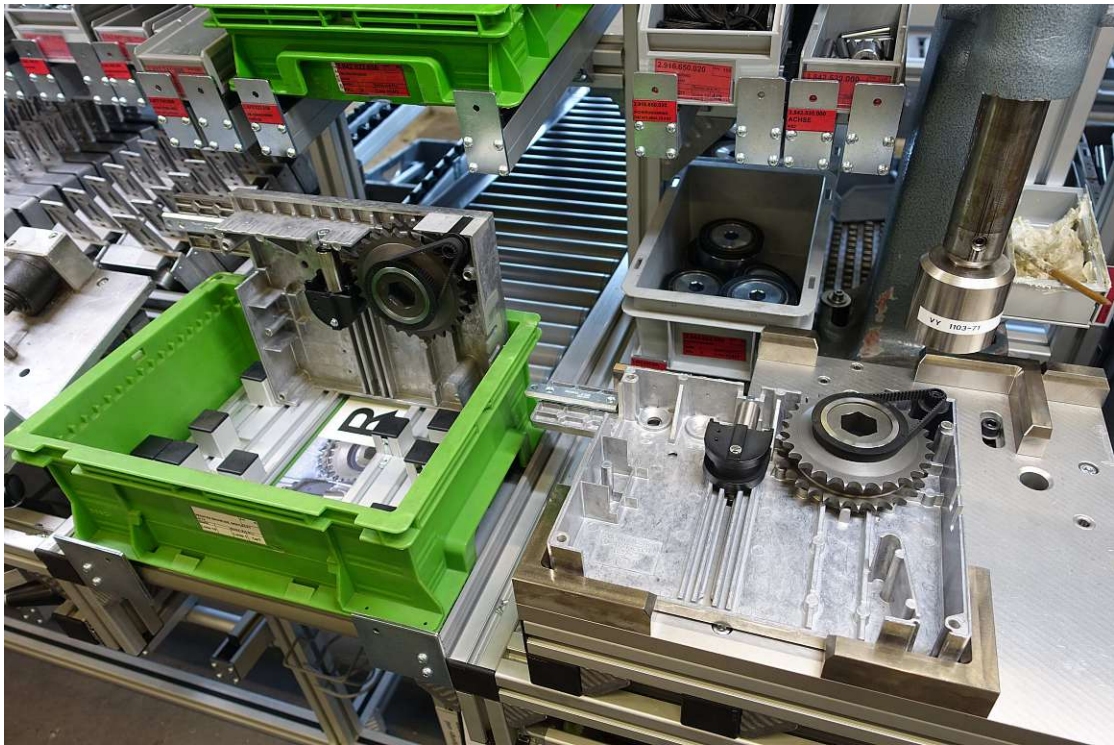
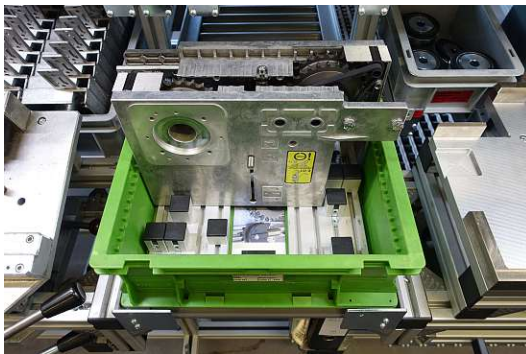


Abbildung 9.12.: Fertiges Gehäuse



(a)



(b)

Abbildung 9.13.: Füllen des Behälters

am Boden des Behälter stellen die richtige Anordnung sicher und erfüllen außerdem zwei weitere Funktionen: Einerseits verhindern sie ein Umfallen oder Verrutschen der Gehäuse während des Transports sowie im Regal der Endmontage, andererseits funktioniert das richtige Einordnen der Gehäuse nur, wenn dem Behälter entsprechend rechte oder linke Gehäuse verwendet wurden. Nach dem Poka-Yoke-Prinzip aus Abschnitt 2.3 wird also sichergestellt, dass sich in einem Behälter, welcher für rechte Gehäuse gedacht ist,

9. Umsetzung

auch wirklich rechte Gehäuse befinden. Gleiches gilt für linke Gehäuse. Am Boden des Behälters in Abbildung 9.12 ist in großen Lettern der Buchstabe „R“, das R-Kettenrad und der R-Kettenspanner abgebildet. Die Behälter für die Gehäuse der Antriebsstation AS 2/C sind in gleicher Weise gestaltet. Dies soll die Gefahr des Verwechselns der beiden Varianten verringern. Abbildung 9.13 zeigt links den Behälter mit zwei Gehäusen und rechts den vollen Behälter vor dem Abschieben.

Während die Vorrichtung für die Montage der Streckenverbinder und Zylinderstifte ohne Rüsten sowohl für linke als auch rechte Gehäuse verwendet werden kann, muss die Vorrichtung der Presse umgerüstet werden. In obigen Abbildungen ist die Vorrichtung zur Montage von rechten Gehäusen gerüstet. Gemäß Abschnitt 8.4.2 können die mittleren beiden Eckstücke umgesteckt werden, um die Vorrichtung für linke Gehäuse zu rüsten. Abbildung 9.14 zeigt die Vorrichtung mit entfernten Eckstücken (a), eines der umsteckbaren Eckstücke von unten (b) sowie die Vorrichtung gerüstet für linke Gehäuse (c). Die umsteckbaren Eckstücke haben an ihrer Unterseite je zwei Stifte. Mit diesen werden die Eckstücke an die entsprechenden Positionen der Grundplatte gesteckt. Das Umrüsten kann so in nur wenigen Sekunden und ohne Werkzeug erfolgen.

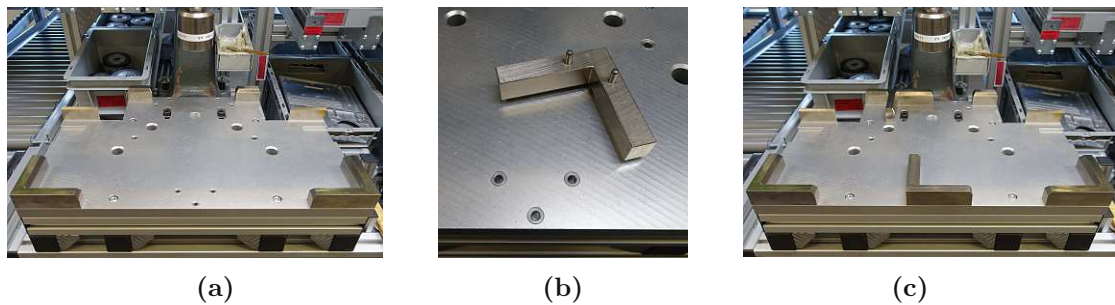


Abbildung 9.14.: Rüsten der Vorrichtung für rechte bzw. linke Gehäuse

Verbinden der Gehäuse der Antriebsstationen AS 2/B, C und R sowie der Umlenkung UM 2/B

Abbildung 9.15 zeigt die beiden Arbeitsplätze zum Verbinden der Gehäuse der Antriebsstation AS 2/B und der Umlenkung UM 2/B sowie der Antriebsstationen AS 2/C und AS 2/R. Zu sehen ist die bereits oben beschriebene Montagevorrichtung für die Variante B (1). Die Aufnahmen der Gehäuse sind verschiebbar, womit die Vorrichtung auf die verschiedenen Breiten der Antriebsstationen und Umlenkungen eingestellt wird. Hinter der Vorrichtung finden sich in der Mitte in vier Ebenen alle Kleinteile sowie die Deckel (2). Rechts davon sind die rechten Gehäuse (3) und links die linken Gehäuse (4) angeordnet. Aufgrund des wesentlich höheren Gewichts sind die Gehäuse der Antriebsstation in der unteren Ebene zu finden und jene der Umlenkung in der oberen. Für die Materialanordnung am Arbeitsplatz der Varianten C und R gilt ähnliches. Auf diese soll weiter unten im Detail eingegangen werden. Zwischen den beiden Arbeitsplätzen sind in der obersten

9. Umsetzung

Ebene, oberhalb der Gehäuse, jene Teile angeordnet, welche für alle drei Varianten benötigt werden (5). Die Bereitstellung der Werkzeuge und Schrauber erfolgt mittels den in Abschnitt 8.4.3 dargestellten Köchern. Einige der Werkzeuge werden ebenfalls für die Vormontage des Motors benötigt. Mit einem schwenkbaren Köcherhalter werden diese an beiden Arbeitsplätzen bereitgestellt (6). Dadurch wird die Anzahl der Werkzeuge auf ein Minimum reduziert. Die Rückführebene für die leeren Behälter der Endmontage ist in der Abbildung ganz links zu finden (7).

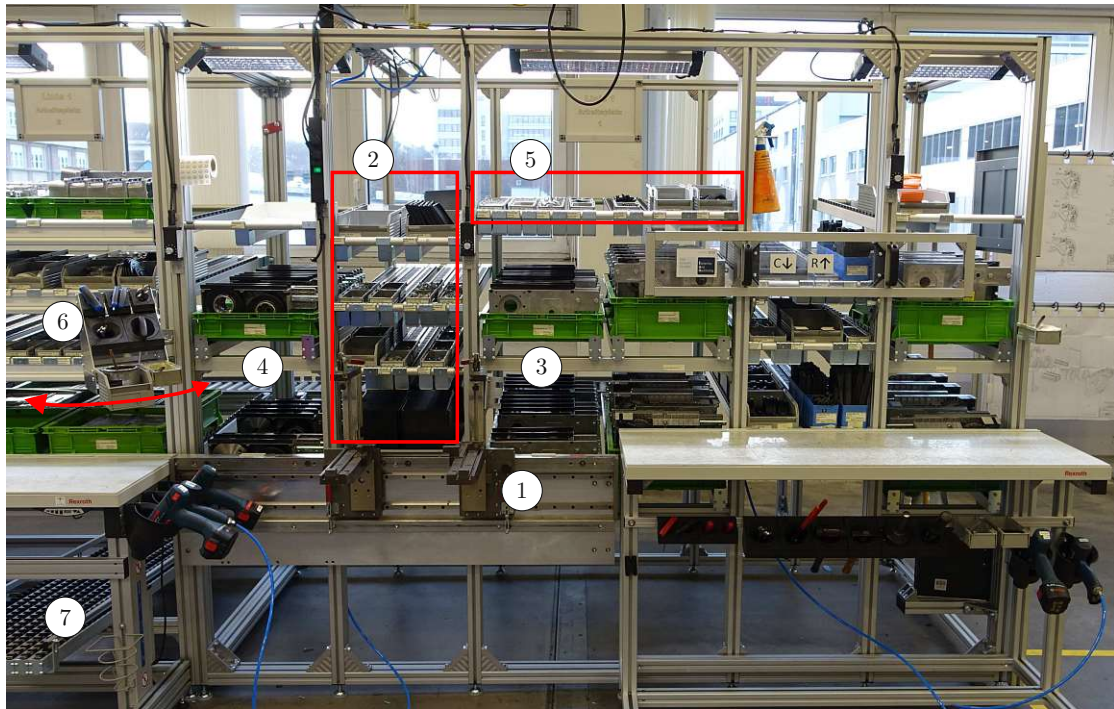
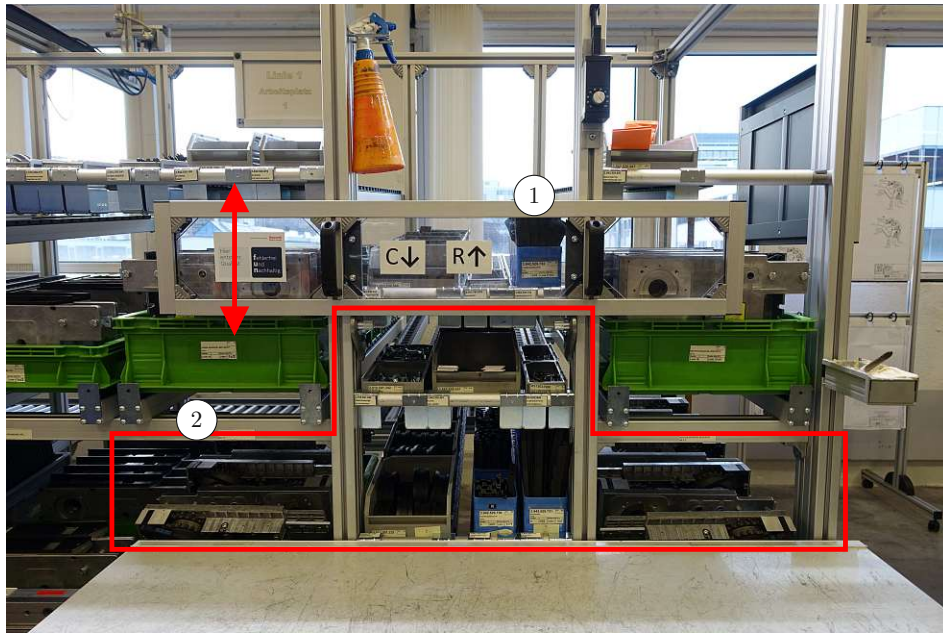


Abbildung 9.15.: Arbeitsplätze zum Verbinden der Gehäuse der Antriebsstationen AS 2/B, C und R sowie der Umlenkung UM 2/B

Gemäß Abschnitt 8.4.4 kann es bei den Antriebsstationen AS 2/C und AS 2/R leicht zur Vertauschung von C- bzw. R-spezifischen Teilen kommen. Als qualitätssichernde Maßnahme wurden daher in der Endmontage die C- und R-spezifischen Teile räumlich getrennt und mit den entsprechenden Gehäusen angeordnet. Außerdem war eine Abdeckung zu konzipieren, welche die nicht benötigten Teile abdeckt. Abbildung 9.16 zeigt den Arbeitsplatz zum Verbinden der C- und R-Gehäuse mit der entsprechenden Abdeckung (1). In der oberen Position gibt diese die zur Montage der Variante R benötigten Gehäuse und Teile frei, sowie jene Teile, welche für beide Varianten benötigt werden (2). Wie bei der Variante B sind die rechten Gehäuse rechts angeordnet und die linken Gehäuse links. Zwischen den Gehäusen liegen die Gleitelemente. Die Abdeckung verfügt über zwei Griffe, an welchen sie rauf und runter geschoben werden kann. In der oberen Position wird die Abdeckung durch zwei an den Profilen montierten Hebeln gehalten.

9. Umsetzung



(a) Montage der Antriebsstation AS 2/R



(b) Montage der Antriebsstation AS 2/C

Abbildung 9.16.: Abdeckung der C- bzw. R-spezifischen Teile und Gehäuse

9. Umsetzung

Durch leichtes Anheben der Abdeckung und gleichzeitiges nach hinten Drücken der unter den Griffen befindlichen Hebel, wird die Abdeckung frei gegeben und rutscht in die untere Position. Durch diesen Mechanismus ist jeweils nur die obere oder untere Position möglich, jedoch keine dazwischen. In der unteren Position gibt die Abdeckung dann die zur Montage der Variante C benötigten Gehäuse und Teile frei, sowie wieder jene, welche für beide Varianten benötigt werden (4).

9.1.3. Verkettung zwischen Vor- und Endmontage

Abbildung 9.17 zeigt die Rückseite der Linie. Im Bereich der Vormontage kommen dort die vollen Behälter an (1). Ebenfalls sichtbar sind die Rückführebenen (2). Gemäß Abschnitt 8.3.3 kann die abfallende Rollenbahn, welche von der Vorderseite zur Rückseite der Vormontage führt, bis zu acht Behälter aufnehmen. Am Ende der Rollenbahn stauen sich die Behälter auf, bis sie vom Etagenlogistiker auf die querlaufende Rollenbahn umgelenkt werden. Die querlaufende Rollenbahn erlaubt das Schieben mehrerer Behälter gleichzeitig. In der Endmontage angekommen, werden die Behälter vom Etagenlogistiker an die entsprechenden Plätze geschoben. Behälter, welche in der zweiten Ebene liegen, müssen auf die entsprechende Höhe angehoben werden. Abbildung 9.18 veranschaulicht die entsprechenden Vorgänge.



Abbildung 9.17.: Rückseite der Linie

9. Umsetzung



(a) Umlenken der Behälter auf die querlaufende Rollenbahn



(b) Einsortieren der Behälter an der Rückseite der Endmontage

Abbildung 9.18.: Rollenbahn zur Beförderung der vollen Behälter

9.2. Evaluierung und Amortisationsrechnung

Grundsätzlich war das Feedback der Monteure sehr positiv. Die Zeit, um sich in den neuen Prozessen und auf den neuen Arbeitsplätzen zurechtzufinden, kann durchaus als kurz beurteilt werden. Dies sei vor allem der durchdachten Anordnung der Materialbehälter zuzuschreiben. Die unten beschriebene Zeitaufnahme erfolgte bereits vier Wochen nach dem Anlauf der Linie und zeigt schon bei wenig Routine eine wesentliche Verbesserung. Die Liste offener Punkte umfasste lediglich einige wenige Anregungen. Dabei ging es zum Beispiel um Werkzeug, welches für den Montageprozess nicht unbedingt notwendig war, jedoch aus Gewohnheit gewünscht wurde, um zusätzliche Werkzeughalter oder die Anordnung dieser.

Viele der Verbesserungen sind nur schwer monetär zu erfassen. So wären beispielsweise Verbesserung in Bezug auf die Ergonomie nur sehr aufwendig festzustellen, ebenso wie Einsparungen, welche durch die Umstellung von Druckluft auf elektrischen Strom erreicht werden.

Exemplarisch soll im Folgenden für die in Abschnitt 8.4.2 beschriebenen Montagevorrichtungen eine Wirtschaftlichkeitsrechnung durchgeführt werden. Die Vorrichtungen wurden für die Bestückung der Gehäuse der Antriebsstationen AS 2/C und AS 2/R konzipiert. Für die entsprechenden Prozessschritte sind sowohl vorher, ohne Vorrichtungen, als auch nachher, mit Vorrichtungen, die Prozesszeiten aufgenommen worden. Tabelle 9.1 zeigt die beiden Zeiten im Vergleich. Die Zeiten wurden den verschiedenen Stapel-Diagrammen entnommen und gemittelt und gelten daher für ein linkes oder rechtes Gehäuse der Variante C oder R.

Prozessschritt	Alte Prozesszeit		Neue Prozesszeit		Δ [%]
	[sec]	[min]	[sec]	[min]	
Montage Streckenverbinder und Zylinderstift	99	1,6	53	0,9	- 46 %
Vormontage Kettenspanner	33	0,5	29	0,5	- 12 %
Einbau Kettenspanner	24	0,4	14	0,2	- 41 %
Einpressen Kettenrad und Achse	57	0,9	38	0,6	- 33 %
Einbau Antriebsrolle und Riemen	29	0,5	24	0,4	- 17 %
Gesamt	241	4,0	158	2,6	- 33 %

Tabelle 9.1.: Vergleich von alten und neuen Prozesszeiten für die Bestückung der Gehäuse der Antriebsstationen AS 2/C und AS 2/R

9. Umsetzung

Wie zu sehen ist, konnte die Montagezeit für ein Gehäuse um 1,4 Minuten gesenkt werden. Dies entspricht einer Reduktion von 33 Prozent. Der Prozessschritt „Montage Streckenverbinder und Zylinderstifte“ verzeichnet die größte Differenz von alter zu neuer Prozesszeit: Mithilfe der Montagevorrichtung und der verbesserten Materialbereitstellung konnte die Montagezeit hier fast um die Hälfte reduziert werden. Mit nur 4 Sekunden Unterschied ist die Differenz der Prozesszeiten bei der Montage des Kettenspanners gering. Dieser Prozessschritt wurde im Zuge der Neuplanung jedoch auch kaum verändert.

Da für jede Antriebsstation immer zwei Gehäuse benötigt werden, werden in Zukunft pro Antriebsstation insgesamt 2,8 Minuten eingespart. Auf die Gesamtmontagezeit von 21,9 (AS 2/C-400 und AS 2/R-1200) bzw. 28,3 Minuten (AS 2/C-700 und AS 2/R-2200) entspricht dies einer Reduktion von 13 bzw. 10 Prozent. (Zusätzlich sind aufgrund der verbesserten Materialbereitstellung auch in der Endmontage Zeiteinsparungen zu erwarten. Diese wurden in dieser Rechnung noch nicht berücksichtigt.)

Mit der dynamischen Amortisationsrechnung soll im Folgenden die Amortisationszeit der Vorrichtungen ermittelt werden. Gemäß Abschnitt 7.3 gab es im Jahr 2014 einen Bedarf an insgesamt 435 Antriebsstationen der Varianten C und R. Ausgehend von diesem Bedarf wird mit Formel 8.3 aus Abschnitt 8.1.2 der Bedarf der nächsten Jahre ermittelt. Tabelle 9.2 zeigt die Ergebnisse.

Jahr	Periode	Bedarf [Stk]
2014	$i - 1$	435
2015	i	461
2016	$i + 1$	489
2017	$i + 2$	518
2018	$i + 3$	549
2019	$i + 4$	582
2020	$i + 5$	617

Tabelle 9.2.: Hochrechnung des jährlichen Bedarfs

Mithilfe des Jahresbedarfes werden die oben genannten 2,8 Minuten pro Antriebsstation auf ein Jahr hochgerechnet. Mit dem Stundenlohn eines Monteurs kann die jährliche Zeiteinsparung in Geldeinheiten umgerechnet werden. Im Werk Stuttgart wird der Stundenlohn eines Monteurs mit 70 Euro verrechnet. Tabelle 9.3 zeigt die erwarteten Einsparungen ab 2016.

Die Anschaffungskosten der Montagevorrichtungen beliefen sich auf insgesamt 4070 Euro. Diese fallen als Ausgabe im Jahr 2015 an. „Aus ökonomischer Sicht haben zukünftige Zahlungen einen geringeren Wert als augenblicklich erfolgende Zahlungen. Der Grund

9. Umsetzung

Jahr	Bedarf [Stk]	Jährliche Einsparung	
		[h]	[Euro]
2016	489	22,8	1596,29
2017	518	24,2	1692,07
2018	549	25,6	1793,59
2019	582	27,2	1901,21
2020	617	28,8	2015,28

Tabelle 9.3.: Erwartete Einsparungen

liegt im Zeitwert des Geldes.“¹ Zur Berücksichtigung dieses Zeitwertes werden im Folgenden die zukünftigen Einsparungen nach dem Barwertkonzept abgezinst und so auf den Gegenwartswert heruntergerechnet. Die Gegenwartswerte werden auch als Barwerte bezeichnet. Die Abzinsung der zukünftigen Geldströme erfolgt mit dem Abzinsungsfaktor AZF der jeweiligen Periode. Dieser wird wie folgt berechnet:²

$$AZF_{i+t} = \frac{1}{(1 + R_0)^t} \quad (9.1)$$

In der vorliegenden Arbeit stellt i wiederum die aktuelle Periode dar und $i + t$ die Periode in t Jahren. R_0 ist der Abzinsungssatz. Bei der Bosch Rexroth AG wird mit einem Abzinsungssatz von 8 Prozent gerechnet. Tabelle 9.4 zeigt die so errechneten Abzinsungsfaktoren der nächsten Jahre und die entsprechenden Barwerte der Einsparungen. Das Kumulieren der Barwerte entspricht dem Gegenrechnen der Einsparungen zu den Anschaffungskosten der Montagerichtungen. Im Jahr 2018 übersteigen die kumulierten Barwerte erstmals die Anschaffungskosten. Demzufolge haben sich die neuen Vorrichtungen in weniger als drei Jahren amortisiert.

Mit einer Amortisationszeit von weniger als 3 Jahren sind die Montagevorrichtungen durchaus als eine sinnvolle Investition zu bewerten, zumal diese auch neuen Monteuren das Einarbeiten erleichtern. Durch das Einarbeiten von mehr und mehr Monteuren kann gemäß Abschnitt 8.2.1 in Zukunft der Mitarbeiterereinsatz immer weiter flexibilisiert werden.

¹Schwaiger 2012, S. 68.

²vgl. ebd., S. 68 ff.

9. Umsetzung

Jahr	Periode	Jährliche Einsparung [Euro]	Abzinsungs- faktoren	Jährliche Barwerte [Euro]	Kumulierte Barwerte [Euro]
2015	i	-4070,00	1,0000	-4070,00	-4070,00
2016	$i + 1$	1596,29	0,9259	1478,05	-2591,95
2017	$i + 2$	1692,07	0,8573	1450,67	-1141,28
2018	$i + 3$	1793,59	0,7938	1423,81	282,53
2019	$i + 4$	1901,21	0,7350	1397,44	1679,97
2020	$i + 5$	2015,28	0,6806	1371,56	3051,54

Tabelle 9.4.: Amortisationsrechnung

10. Schlussfolgerung und Ausblick

Die Wertstromanalyse zeigte sich als geeignete Methode, um ein Bild der Produktionsabläufe zu gewinnen und dieses festzuhalten. Aufbauend darauf, bietet die Methode ein Werkzeug, um die neuen Prozesse zu modellieren und darzustellen. Durch die Darstellung wird auch eine Diskussionsgrundlage geschaffen, anhand welcher die Entwürfe verfeinert und perfektioniert werden können. Es zeigte sich bereits in den ersten Wochen, dass das neue Produktionskonzept zur Erhöhung der Reaktionsfähigkeit beiträgt und auftretende Schwankungen der Auftragseingänge und der verfügbaren Personalkapazität abfangen kann.

In Bezug auf die Detailplanung und die Ausgestaltung der Arbeitsplätze bewies das positive Feedback der Monteure sowie die Reduzierung der Zykluszeiten, dass die Anwendung der Gestaltungsempfehlungen aus Abschnitt 5.3 durchaus Sinn macht. Die Zeitreduzierungen, welche in Abschnitt 5.3 anhand von Beispielen und einer MTM-Analyse vorausgesagt wurden, konnten auch in den tatsächlichen Prozessen und dem Stoppen der Prozesszeiten wiedergefunden werden. MTM bietet sich daher unbedingt als eine geeignete Methode an, um vorab bestimmen zu können, ob der Entwurf für eine neue Arbeitsmethode eine Zeitreduktion bewirken wird oder nicht.

Die Ordnung an den Arbeitsplätzen wurde unter Berücksichtigung der 5-A-Methode vorerst sichergestellt. Um die hergestellte Ordnung jedoch auch langfristig beizubehalten, muss die Methode kontinuierlich fortgeführt und angewandt werden. Ebenso müssen durch kontinuierliche Verbesserung die im Moment optimal wirkenden Prozesse laufend geprüft und wenn notwendig angepasst werden. Nur so kann sichergestellt werden, dass die Prozesse auch in Zukunft reibungslos ablaufen. Wie in Kapitel 2 besprochen, liegt es vor allem an den Führungskräften, eine Unternehmenskultur zu schaffen, in welcher die ständige Verbesserung fest verankert ist.

Literaturverzeichnis

- Arnold, D. u. a. *Handbuch Logistik*. 3., neu bearb. Aufl. Berlin: Springer Verlag, 2008.
- Becker, T. *Prozesse in Produktion und Supply Chain optimieren*. 2., neu bearb. u. erw. Aufl. Berlin: Springer Verlag, 2008.
- Bischoff, J. *Fabrikplanung und -betrieb*. Vorlesungsfolien. 2014.
- Bokranz, R. und K. Landau. *Handbuch Industrial Engineering*. 2., überarb. und erw. Aufl. Bd. 2. Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag, 2012.
- Bosch Rexroth AG. *Branchen*. 2016. URL: <http://www.boschrexroth.com/de/de/branchen/branchen> (besucht am 15.01.2016).
- *Ergonomieratgeber für manuelle Produktionssysteme*. 2015.
 - *Manuelle Produktionssysteme*. Produktkatalog. 2015.
 - *Transfersystem TS 1*. Produktkatalog. 2014.
 - *Transfersystem TS 2plus*. Produktkatalog. 2014.
 - *Unsere Zahlen*. 2016. URL: <http://www.boschrexroth.com/de/de/unternehmen/ueber-bosch-rexroth/zahlen-fakten/unsere-zahlen/index> (besucht am 15.01.2016).
- Brunner, F. J. *Japanische Erfolgskonzepte*. 3., überarb. Aufl. München: Carl Hanser Verlag, 2014.
- Dickmann, P. *Schlanker Materialfluss*. 2., aktualis. u. erw. Aufl. Berlin: Springer Verlag, 2009.
- Erlach, K. *Wertstromdesign: Der Weg zur schlanken Fabrik*. Berlin: Springer Verlag, 2010.
- Günthner, W. A. u. a. *Schlanke Logistikprozesse: Handbuch für den Planer*. Berlin: Springer Verlag, 2013.
- Kuhlang, P. *Fabrikplanung und -betrieb*. Wien: TU Wien, Bereich für Betriebstechnik und Systemplanung Eigenverlag, 2006.
- Kuhlang, P., T. Edtmayr und W. Sihn. „Methodical Approach to increase Productivity and reduce Lead Time in Assembly and Production-Logistic Processes“. In: *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology* (4 2011), S. 24–32.
- Kuhlang, P., K. Matyas u. a. *Einführung und Vertiefung in das Produktions- und Qualitätsmanagement*. Wien: TU Wien, Bereich für Betriebstechnik und Systemplanung Eigenverlag, 2012.
- Kuhlang, P. und W. Sihn. „Das Ganze UND das Detail sehen!“ In: *WINGbusiness* (Feb. 2008), S. 8–11.
- Kummer, S., O. Grün und W. Jammernegg. *Grundzüge der Beschaffung, Produktion und Logistik*. 3., aktualis. Aufl. Hallbergmoos: Pearson, 2013.

Literaturverzeichnis

- Microsoft Visio. *Wertstromzuordnungs-Shapes*. 2016.
- MTM-Institut. *MTM-1*. Mödling: Österreichische MTM-Vereinigung, 2016.
- REFA. *Industrial Engineering*. Darmstadt: Carl Hanser Verlag, 2015.
- Robert Bosch GmbH. *Bosch heute*. 2015.
- *Production Control - Kanban-Formel*. Interner Implementierungsleitfaden. 2010.
 - *Über Stuttgart*. Bosch Intranet. 2015.
- Rother, M. und J. Shook. *Sehen lernen*. Mülheim an der Ruhr: Lean Management Institut, 2011.
- Schuh, G. *Produktionsplanung und -steuerung*. 3., völlig neu bearb. Aufl. Berlin: Springer Verlag, 2006.
- Schwaiger, W. S. A. *IFRS-Finanzmanagement: Investition und Finanzierung*. Wien: Technische Universität, Institut für Managementwissenschaften, 2012.
- Wiendahl, H.-P. *Betriebsorganisation für Ingenieure*. 8., überarb. Aufl. München: Carl Hanser Verlag, 2014.
- Wiendahl, H.-P., J. Reichardt und P. Nyhuis. *Handbuch Fabrikplanung*. München: Carl Hanser Verlag, 2009.
- Womack, J. P. und D. T. Jones. *Lean thinking*. Erw. u. aktualis. Neuausg. Frankfurt am Main: Campus Verlag, 2004.
- Womack, J. P., D. T. Jones und D. Roos. *The machine that changed the world*. New York: Rawson [u.a.], 1990.

Abbildungsverzeichnis

1.1.	Erweiterung des traditionellen Spannungsdreieckes	1
2.1.	Kategorisierung von Arbeitsinhalten	8
2.2.	Erfolgsfaktoren einer schlanken Produktion	9
2.3.	Steuerung von aufeinanderfolgenden Prozessen mittels Kanban	11
2.4.	Funktionsweise eines Supermarktes zwischen zwei Prozessen	11
2.5.	Kontinuierliche Verbesserung mithilfe von PDCA-Zyklen	13
2.6.	Beispiel für das Poka-Yoke-Prinzip	14
3.1.	Beispiel für einer Wertstromanalyse	16
3.2.	Zusammenhang zwischen Zykluszeit, Wertschöpfungszeit und Durchlaufzeit	17
3.3.	Wertstromsymbole (Auszug)	18
3.4.	Darstellung eines Supermarktes mit den Symbolen der Wertstromanalyse	19
3.5.	„Steuerung mittels Auftrag“, „im Fluss“ und FIFO-Strecke	20
4.1.	Produktionsmix und Freigabeeinheit	24
4.2.	Erster Schritt zum schlanken Wertstrom	25
4.3.	Produktionstypen	27
4.4.	Wertstromdesign nach dem Assembly-to-Order-Prinzip	28
4.5.	Wertstromdesign nach dem Make-to-Order-Prinzip	29
4.6.	Zusammenhang zwischen Lieferzeit, Auftragsdurchlaufzeit und Produkti- onsdurchlaufzeit	30
4.7.	Auswirkung der Verschiebung des Kundenentkopplungspunktes	31
5.1.	Durchschnittliche optimale Arbeitshöhe für alle vier Bevölkerungsgruppen	34
5.2.	Blickgesichtsfeld eines sitzenden Arbeiters	35
5.3.	Arbeitszonen aufgrund von Blick- und Greifräumen	35
5.4.	Zeitanstieg durch ungünstiges Anordnen von Behältern	36
5.5.	Optimieren des Aufnehmens einer Platine	37
5.6.	Optimieren des Hinlangens zu einem Schraubenzieher	37
5.7.	Optimieren des Platzierens eines Bauteiles	38
5.8.	Zeitanstieg aufgrund von zwei zusätzlichen Schritten	38
5.9.	Zeitanstieg aufgrund einer Beugung des Oberkörpers	39
6.1.	Phasen	41
6.2.	Aufbau einer Streckeneinheit mit einer Antriebsstation, Strecken und einer Umlenkung	43

Abbildungsverzeichnis

6.3.	Fördermedien für Streckeneinheiten von Transfersystemen	44
6.4.	Erzeugnisgruppen des Werk Stuttgarts	45
7.1.	Auftragsbezogene Teile der Antriebsstation AS 2/B-250, MA=RL	47
7.2.	Mögliche Motoranordnungen	47
7.3.	Auftragswagen für die Bereitstellung der auftragsbezogenen Teile	48
7.4.	Blick in die alte Linie	49
7.5.	Wertstromanalyse auf Linienebene für die Variante AS 2/B-250, MA=RL	50
7.6.	Weitere Teile der Antriebsstation AS 2/B-250, MA=RL	51
7.7.	Ursprünglicher Arbeitsplatz zum Einpressen der Walzen und der Montage von Führungsprofilen und Streckenverbindern	52
7.8.	Ursprünglicher Arbeitsplatz zum Verbinden der Gehäuse	53
7.9.	Wertstromanalyse auf Linienebene für die Bestückung der Gehäuse der Antriebsstationen AS 2/C und R	54
7.10.	Verteilung der Bestellungen	58
7.11.	Auftragseingänge pro Kalenderwoche im Jahr 2014	59
7.12.	Maxima der einzelnen Varianten im Jahr 2014	60
8.1.	Phasen	62
8.2.	Zusammensetzung der Auftragszeit	65
8.3.	Wertstromdesign auf Linienebene für Antriebsstationen der Variante AS 2/B, MA=RL	69
8.4.	Grundsätzlicher Aufbau eines Arbeitsplatzes	72
8.5.	Beispiel für das Etikett eines Materialbehälters	73
8.6.	Symbole	75
8.7.	Variante 1	76
8.8.	Variante 2	77
8.9.	Variante 3	78
8.10.	Variante 4	79
8.11.	Vereinfachte Darstellung des Wertstromdesigns auf Linienebene	85
8.12.	Mögliche Behälter für die Gehäuse der Variante B	87
8.13.	Bestandteile der Wiederbeschaffungszeit	89
8.14.	Phasen	96
8.15.	Linkes Gehäuse einer Antriebsstation der Variante AS 2/R	97
8.16.	Alter Prozess zum Aufpressen des Zahnriemenrades	99
8.17.	Umstrukturierung des Prozessschrittes „Einpressen Kettenräder und Ach- sen“	100
8.18.	Vorrichtung zum Prozessschritt „Einpressen Kettenrad und Achse“	102
8.19.	Pressevorgänge	103
8.20.	Pressvorgänge (Forts.)	104
8.21.	Wertstromdesign für die Bestückung der Gehäuse der Antriebsstationen AS 2/C und R	105
8.22.	Vorrichtung zum Prozessschritt „Montage Streckenverbinder und Zylind- derstift“	107

Abbildungsverzeichnis

8.23. Vorrichtung zum Abstellen von Gehäusen	108
8.24. Zusammenhang zwischen Tischhöhe und Arbeitshöhe	109
8.25. Arbeitsplatz mit tiefer Materialebene und Förderbahn	110
8.26. Schematische Seitenansicht eines Arbeitsplatzes	111
8.27. Breite einer Materialebene	111
8.28. Darstellung der Linie in MTpro	112
8.29. Köcher und Werkzeughalter von Bosch Rexroth	113
8.30. Komplettes Gehäuse mit Abdeckplatte und C-spezifischen Teilen	114
8.31. Komplettes Gehäuse mit Abdeckplatte und R-spezifischen Teilen	114
9.1. Aufbau der Linie: 1. Plakattafel	117
9.2. Blick in die neue Linie	119
9.3. Arbeitsplätze zur Bestückung der Gehäuse der Antriebsstationen AS 2/C und AS 2/R	120
9.4. Arbeitsplatz zu den Prozessschritten „Montage Streckverbinder und Zy- linderstifte“ sowie „Einbau Kettenspanner“	121
9.5. Montage des Streckenverbinders	122
9.6. Einbau des Kettenspanners	122
9.7. Mittige Vorrichtung zum Abstellen der halbfertigen Gehäuse	123
9.8. Arbeitsplatz zu den Prozessschritten „Einpressen Kettenräder und Ach- sen“ sowie „Einbau Antriebsrollen und Riemen“	124
9.9. Einpressen des Lagers	124
9.10. Umsetzen des Gehäuses	125
9.11. Einpressen der Achse	125
9.12. Fertiges Gehäuse	126
9.13. Füllen des Behälters	126
9.14. Rüsten der Vorrichtung für rechte bzw. linke Gehäuse	127
9.15. Arbeitsplätze zum Verbinden der Gehäuse der Antriebsstationen AS 2/B, C und R sowie der Umlenkung UM 2/B	128
9.16. Abdeckung der C- bzw. R-spezifischen Teile und Gehäuse	129
9.17. Rückseite der Linie	130
9.18. Rollenbahn zur Beförderung der vollen Behälter	131

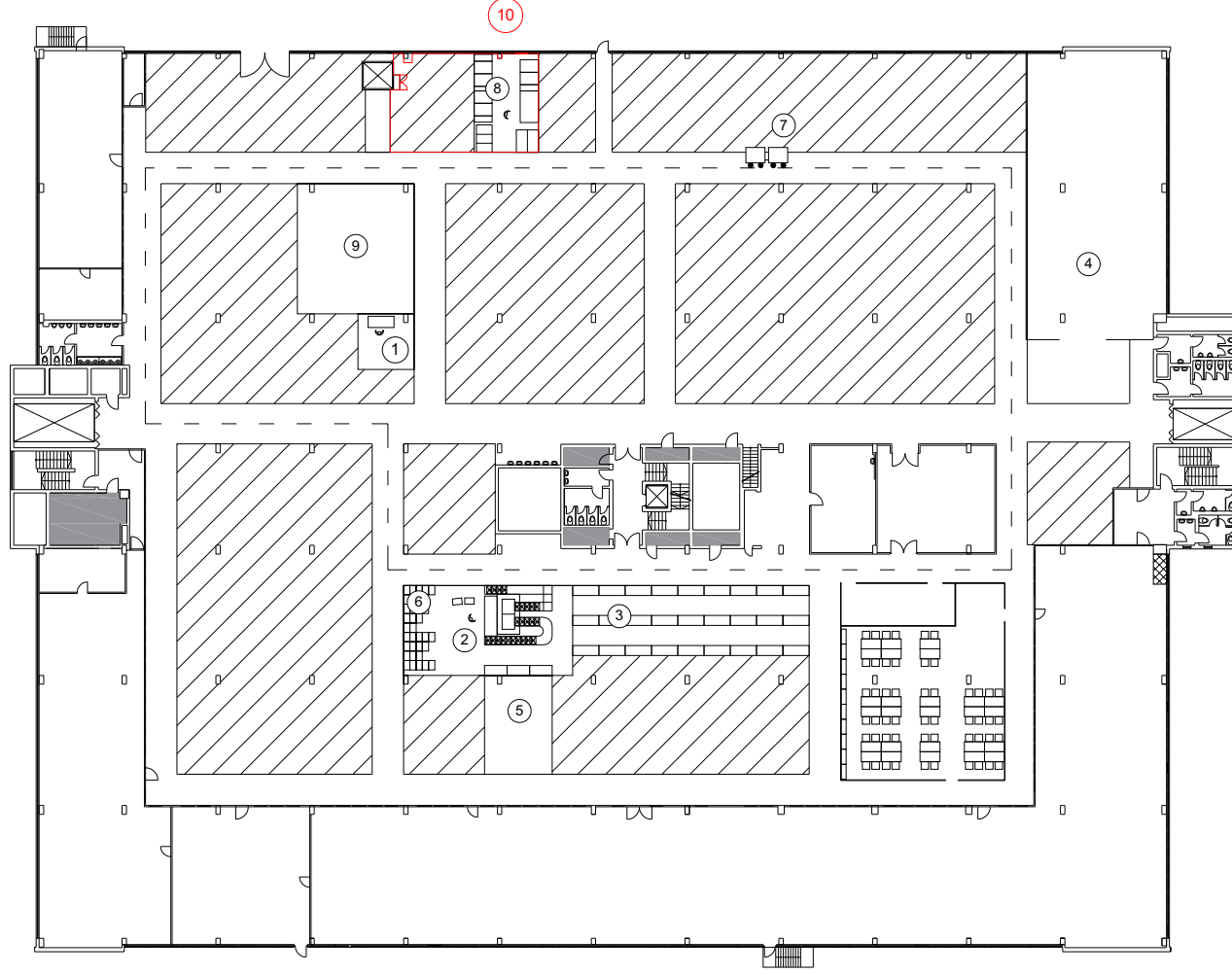
Tabellenverzeichnis

6.1. Varianten und mögliche Konfigurationen der Antriebsstationen (AS) . . .	44
7.1. Montagezeiten gemäß den Stapel-Diagrammen der einzelnen Varianten . .	55
7.2. Ausschnitt aus dem Stapel-Diagramm der Antriebsstation AS 2/B-250, MA=RL	56
7.3. Ausschnitt aus dem Stapel-Diagramm der Antriebsstation AS 2/R-2200, MA=M	57
7.4. Jährliche Absätze der einzelnen Varianten	61
8.1. Hochrechnung des Wochenbedarfs einer durchschnittlichen Woche sowie einer Spitzenwoche	64
8.2. Aktuell und in Zukunft geforderter Kundentakt	64
8.3. Berechnung der gewichteten Montagezeit sowie der Auftragszeit	66
8.4. Notwendige Mitarbeiteranzahl im Mittel und bei einer Spitzenwoche (2 Schichten)	67
8.5. Notwendige Mitarbeiteranzahl im Mittel und bei einer Spitzenwoche (1 Schicht)	67
8.6. Aufteilung der Mitarbeiter auf die Vor- und Endmontage (2 Schichten) . .	71
8.7. Aufteilung der Mitarbeiter auf die Vor- und Endmontage (1 Schicht) . . .	71
8.8. Paarweiser Vergleich	81
8.9. Nutzwertanalyse	83
8.10. Berechnung von RE	88
8.11. Berechnung von WI	92
8.12. Berechnung von K (2 Schichten)	93
8.13. Berechnung von K (1 Schicht)	94
8.14. Ausschnitt aus dem Stapel-Diagramm der Antriebsstation AS 2/R-2200, MA=M	98
9.1. Vergleich von alten und neuen Prozesszeiten	132
9.2. Hochrechnung des jährlichen Bedarfs	133
9.3. Erwartete Einsparungen	134
9.4. Amortisationsrechnung	135

Anhang

A. Hallenlayout

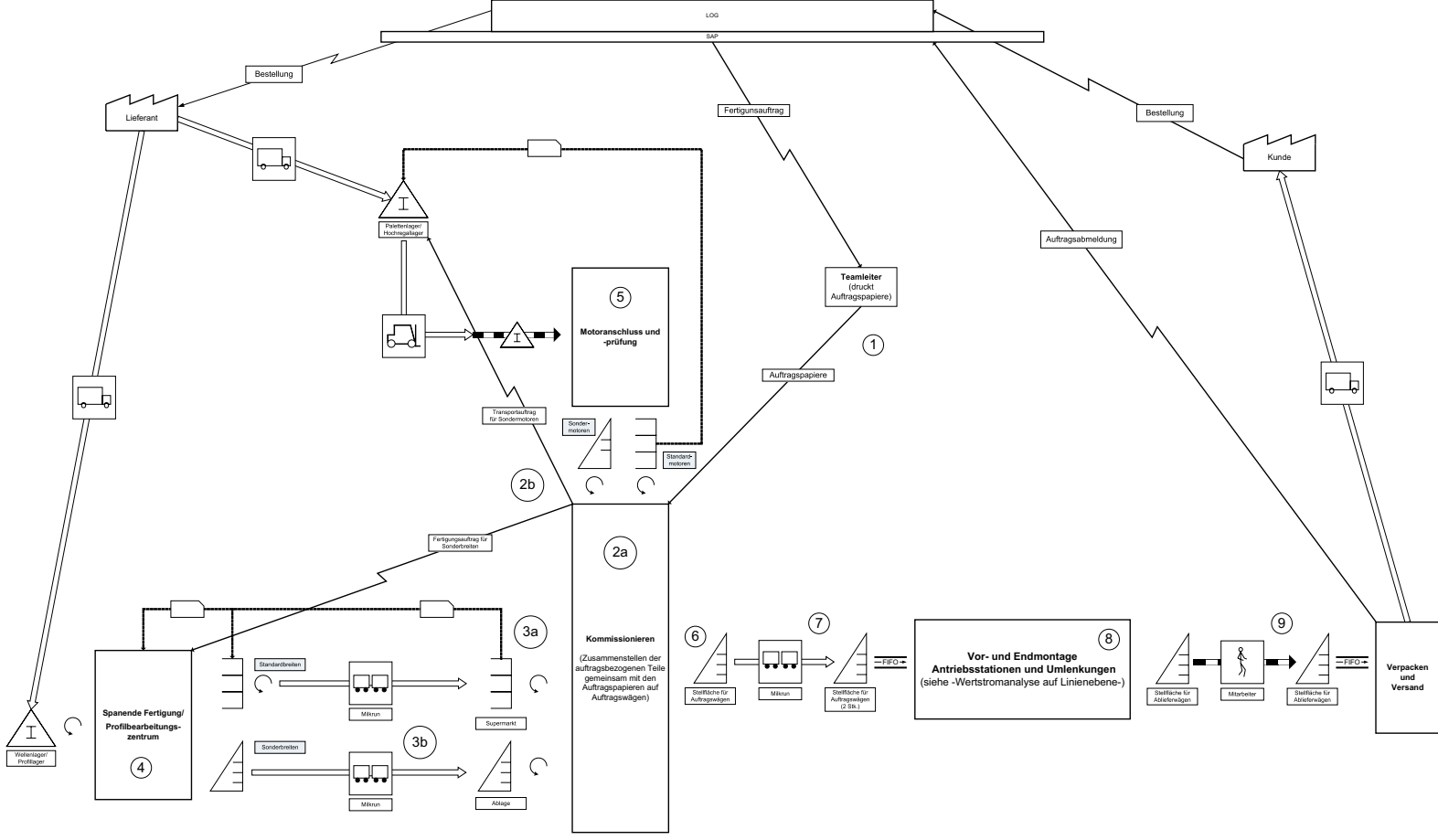
145



1. Teamleiterplatz
2. Kommissionierplatz
3. Supermarkt und Ablage
4. Spanende Fertigung
5. Motoranschluss und -prüfung
6. Bereitstellungsfläche für fertig kommissionierte Auftragswagen
7. Milkrun
8. Alte Linie
9. Verpacken
10. Bereich für die neue Linie

A. Hallenlayout

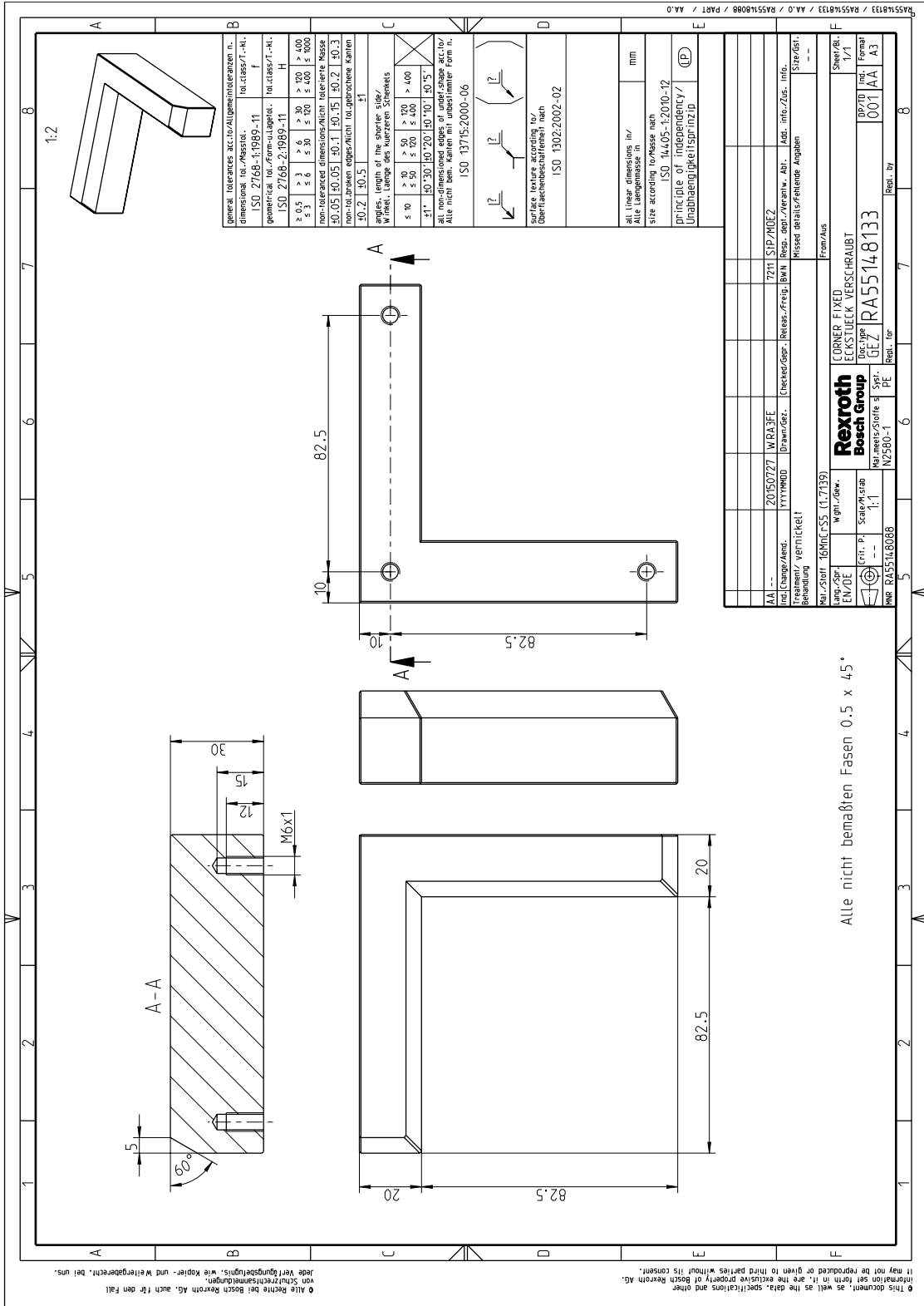
B. Wertstromanalyse auf Werksebene



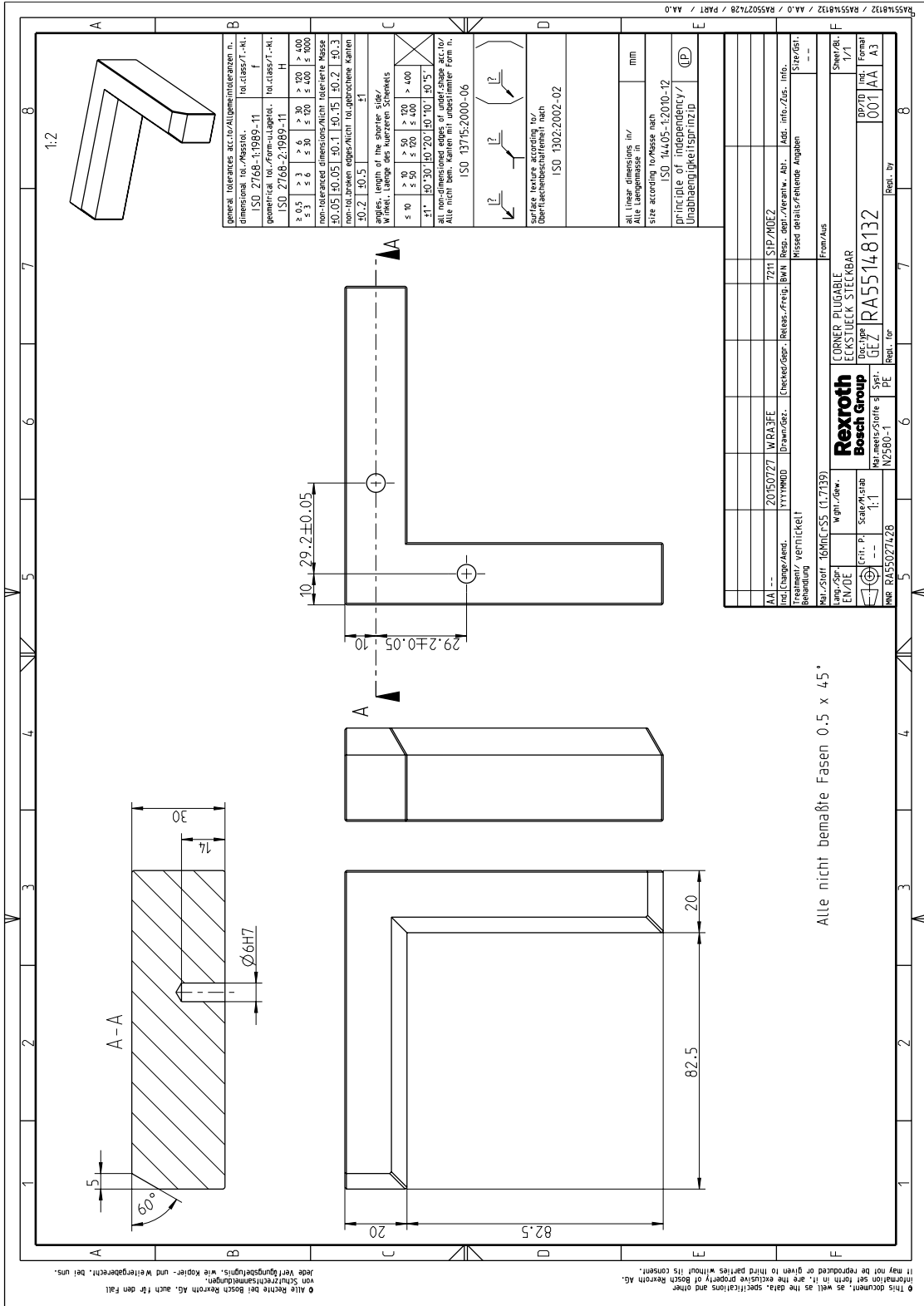
C. Linienlayout

D. Technische Zeichnungen der Montagevorrichtungen

D. Technische Zeichnungen der Montagevorrichtungen



D. Technische Zeichnungen der Montagevorrichtungen



D. Technische Zeichnungen der Montagevorrichtungen

© Alle Rechte bei Bosch Rexroth AG, auch für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen. Jede Verfügungsbefugnis, wie Kopier- und Weitergaberecht, bei uns.

© This document, as well as the data, specifications and other information set forth in it, are the exclusive property of Bosch Rexroth AG. It may not be reproduced or given to third parties without its consent.

1:2

A-A

M6x1

60°

5

10 37.4 10

A A

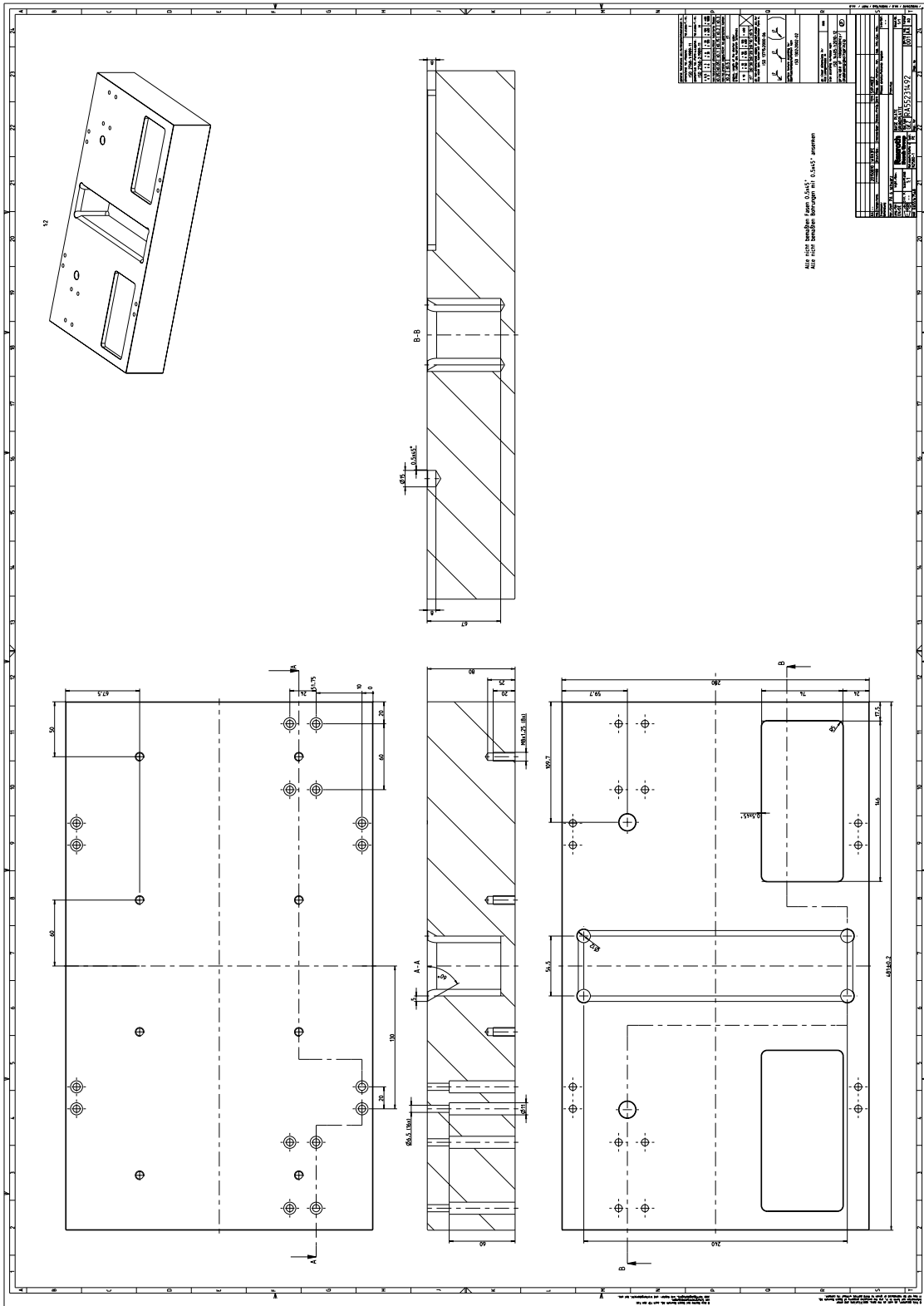
Alle nicht bemessenen Fasen 0.5x45°
Alle nicht bemessenen Bohrungen mit 0.5x45° ansenken

general tolerances acc.to/Allgemeintoleranzen n.					
dimensional tol./Masstol.	tol.class/T.-kl.				
ISO 2768-1:1989-11	f				
geometrical tol./Form-u.Lagetol.					
ISO 2768-2:1989-11	H				
≥ 0.5 ≤ 3	> 3 ≤ 6	> 6 ≤ 30	> 30 ≤ 120	> 120 ≤ 400	> 400 ≤ 1000
non-toleranced dimensions/Nicht tolerierte Masse					
±0.05	±0.05	±0.1	±0.15	±0.2	±0.3
non-tol.broken edges/Nicht tol.gebrochene Kanten					
±0.2	±0.5	±1			
angles, length of the shorter side/ Winkel, Laenge des kuerzeren Schenkels					
≤ 10	> 10 ≤ 50	> 50 ≤ 120	> 120 ≤ 400	> 400	
±1°	±0°'30'	±0°'20'	±0°'10'	±0°'5'	
all non-dimensioned edges of undef.shape acc.to/ Alle nicht bem. Kanten mit unbestimmter Form n.					
ISO 13715:2000-06					
surface texture according to/ Oberflaechenbeschaffenheit nach					
ISO 1302:2002-02					
all linear dimensions in/ Alle Laengenmasse in					mm
size according to/Masse nach					
ISO 14405-1:2010-12					
principle of independency/ Unabhaengigkeitsprinzip					(LP)

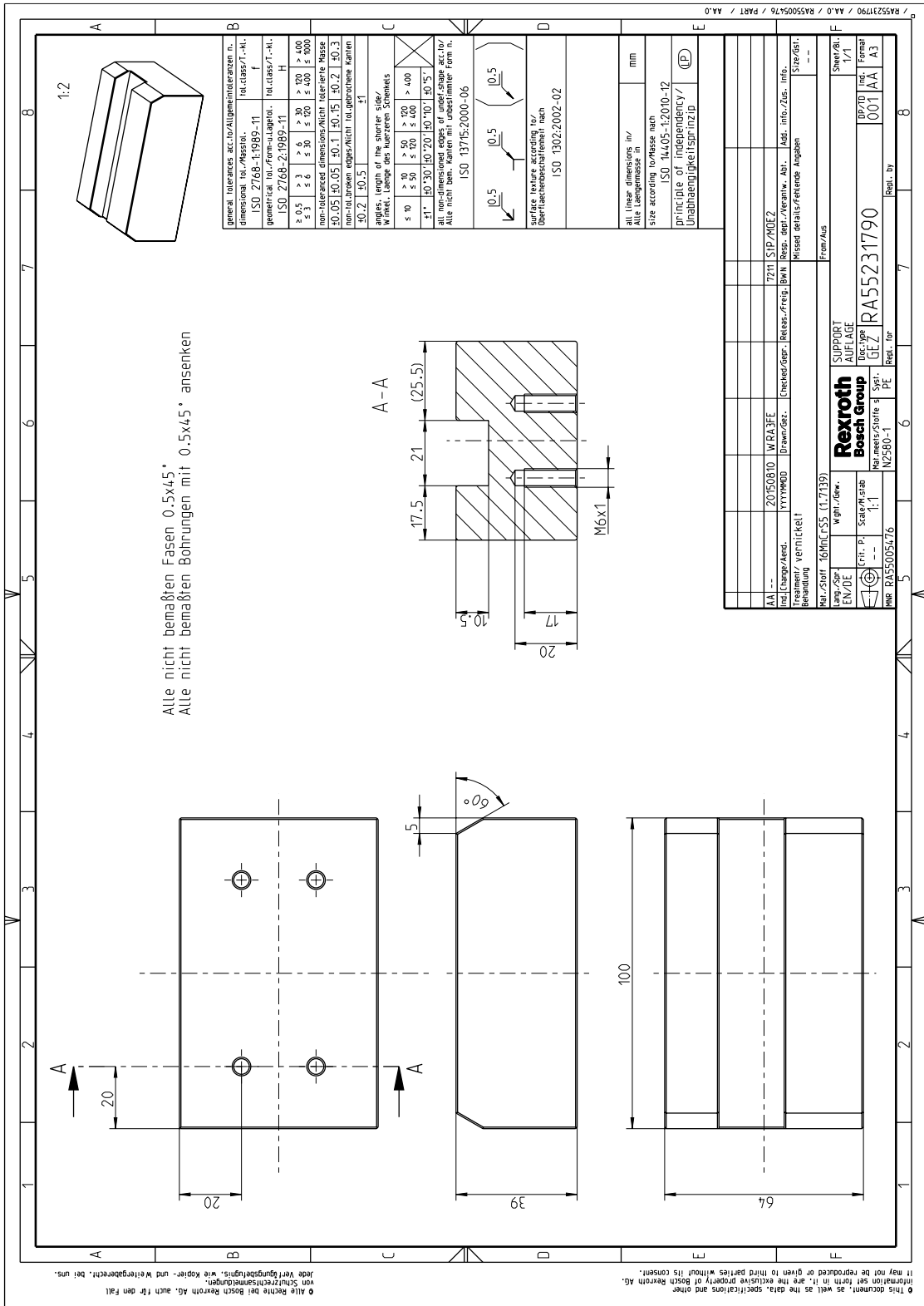
AA --	20150727	W RA3FE		7211	SIP/MOE2	
Ind./Change/Aend.	YYYYMMDD	Drawn/Gez.	Checked/Gepr.	Releas./Freig.	BWN	Resp. dept./Verantw. Abt.
Treatment/ vernickelt Behandlung					Missed details/Fehlende Angaben	
Mat./Stoff 16MnCrS5 (1.7139)					From/Aus	
Lang./Spr. EN/DE	Wght./Gew.		Rexroth Bosch Group			Sheet/Bt. 1/1
Crit. P.	Scale/M.stab 1:1					
MNR RA55027093	Mat.meets/Stoffe s N2580-1	Syst. PE	STOPPER ANSCHLAG HINTEN			Doc.type GEZ RA55148145
					DP/TD 001	Ind. AA
						Formal A4
					Repl. for	Repl. by

RA55148145 / AA.0 / RA55027093 / PART / AA.0

D. Technische Zeichnungen der Montagevorrichtungen



D. Technische Zeichnungen der Montagevorrichtungen



D. Technische Zeichnungen der Montagevorrichtungen

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

© Alle Rechte bei Bosch Rexroth AG, auch für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen. Jede Verfügungsbefugnis, wie Kopier- und Weitergaberecht, bei uns.

© This document, as well as the data, specifications and other information set forth in it, are the exclusive property of Bosch Rexroth AG. It may not be reproduced or given to third parties without its consent.

general tolerances acc.to/Allgemeintoleranzen n.	
dimensional tol./Masstol.	tol.class/T.-kl.
ISO 2768-1:1989-11	f
geometrical tol./Form-u.Lagetol.	
ISO 2768-2:1989-11	
H	
≥ 0,5 ≤ 3	> 3 ≤ 6
> 6 ≤ 30	> 30 ≤ 120
> 120 ≤ 400	> 400 ≤ 1000
non-toleranced dimensions/Nicht tolerierte Masse	
±0.05	±0.05
±0.1	±0.15
±0.2	±0.3
non-tol.broken edges/Nicht tol.gebrochene Kanten	
±0.2	±0.5
±1	
angles, length of the shorter side/ Winkel, Laenge des kuerzeren Schenkels	
≤ 10	> 10 ≤ 50
> 50 ≤ 120	> 120 ≤ 400
> 400	
±1°	±0°'30'
±0°'20'	±0°'10'
±0°'5'	
all non-dimensioned edges of undef.shape acc.to/ Alle nicht bem. Kanten mit unbestimmter Form n.	
ISO 13715:2000-06	
surface texture according to/ Oberflaechenbeschaffenheit nach	
ISO 1302:2002-02	
all linear dimensions in/ Alle Laengenmasse in	
mm	
size according to/Masse nach	
ISO 14405-1:2010-12	
principle of independency/ Unabhaengigkeitsprinzip	
(LP)	

RA55231776 / AA-0 / RA55005465 / PART / AA-0

Alle nicht bemaßten Fasen 0.5x45°
Alle nicht bemaßten Bohrungen mit 0.5x45° ansenken

AA --	20150810	WRA3FE		7211	SIP/MOE2	
Ind./Change/Aend.	YYYYMMDD	Drawn/Gez.	Checked/Gepr.	Releas./Freig.	BWN	Resp. dept./Verantw. Abt.
Treatment/ vernickelt					Missed details/Fehlende Angaben	
Mat./Stoff 16MnCrS5 (1.7139)					Size/Gst. --	
Lang./Spr. EN/DE					From/Aus	
Wght./Gew.		Rexroth Bosch Group		STOP ANSCHLAG		Sheet/Bt. 1/1
Crit. P.		Scale/M.stab 1:1		Doc.type GEZ		DP/TD 001
Mat.meets/Stoffe s		Syst. PE		RA55231776		Ind. AA
MNR RA55005465		N2580-1		Repl. for		Formal A4
				Repl. by		

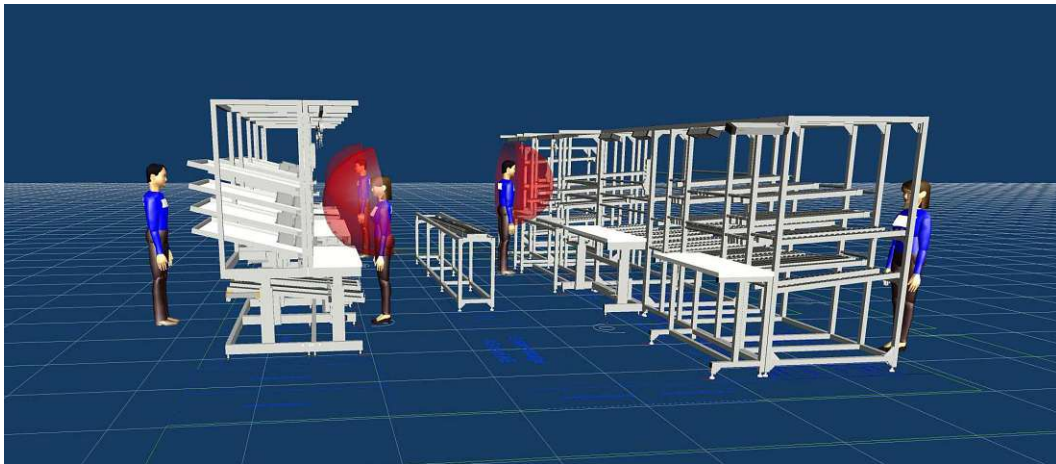
E. Plakat

Montagetechnik
Werk Stuttgart

The Drive & Control Company

Rexroth
Bosch Group

Ratioprojekt Linie 1 und 5



Zusammenlegung der
Linien 1 und 5 mit
gemeinsamer Vormontage

