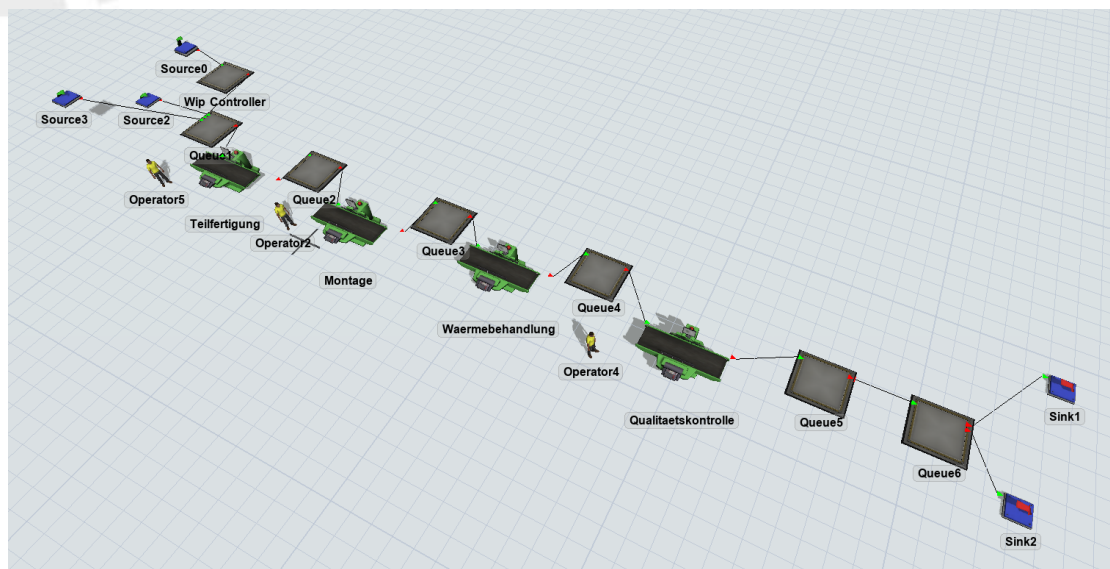


Simulation eines Produktionssystems

Prozessmanagement (MECH-B-3-CRP-PRS-ILV)

Dokumentation



Bachelor program - Mechatronics

3th semester

Lecturer: Frau Onay, MSc

Group: BA-MECH-23

Authors: Yannick Zeiher, Valentin Humer

January 16, 2025

Contents

1	Einleitung	1
2	Methodik	1
2.1	Theoretische Grundlagen und Begründung der Wahl des ConWIP-Ansatzes	1
2.2	Annahmen für das Projekt	2
2.2.1	Überarbeitung der Arbeitsstationen	2
2.2.2	Stochastische Prozesszeiten	2
2.2.3	Warm-Up Phase	2
2.2.4	Produktionsvielfalt	2
2.2.5	Qualitätskontrolle und Nacharbeit	2
2.2.6	Losgröße und Prozesskapazität	3
2.2.7	Just-in-Time	3
2.2.8	Ideale Bedingungen	3
2.2.9	Transportzeiten	3
2.2.10	Kundennachfrage	3
2.3	Design of Experiments (DoE)	3
2.3.1	Definition des Design of Experiments (DoE)	3
2.3.2	Ziele des DoE	3
2.3.3	Definition und Beschreibung der Kennzahlen	4
2.3.4	Umsetzung des DoE	5
3	Ergebnisse	6
3.1	Dokumentation der Simulationsergebnisse	6
3.2	Analyse der Ergebnisse	7
4	Diskussion	8
5	Fazit	8
5.1	Zusammenfassung	8
5.2	Schlussfolgerungen und Empfehlungen	8

1 Einleitung

Die Simulation und Optimierung von Produktionssystemen ist ein zentraler Bestandteil moderner Fertigungsplanung. In einem wettbewerbsintensiven Marktumfeld stehen Unternehmen vor der Herausforderung, ihre Fertigungs- und Logistikleistung kontinuierlich zu verbessern, um wettbewerbsfähig zu bleiben. Familiengeführte Unternehmen mit traditionellen Organisationsstrukturen müssen effiziente Strategien entwickeln, um Produktionsprozesse zu optimieren und flexibel auf Marktanforderungen zu reagieren. Hopp und Spearman (2008) betonen, dass die Fähigkeit, sich an wechselnde Anforderungen anzupassen und kontinuierliche Verbesserungen umzusetzen, der Schlüssel zur Wettbewerbsfähigkeit moderner Fertigungssysteme ist.

Das vorliegende Fallbeispiel behandelt ein mittelständisches, familiengeführtes Unternehmen, das Kunststoff-Halbfabrikate für den Konsumgütermarkt herstellt. Das Unternehmen verfügt über 120 Mitarbeiter, erzielte im Jahr 2020 einen Umsatz von 10 Millionen Euro und produziert acht Produktvarianten in einer Stückgutfertigung mit zahlreichen manuellen Tätigkeiten. Die Produktionsbereiche umfassen Vorfertigung, Montage, Wärmebehandlung, Qualitätskontrolle und Nacharbeit, wobei die Fertigungsprozesse bisher traditionell organisiert sind. Die beiden Hauptprodukttypen, schwarze und graue Uhren, repräsentieren eine relevante Grundlage für die Prozessanalyse und Optimierung.

Im Rahmen dieser Arbeit wird ein Pull-System implementiert, um die bestehende Produktionsumgebung zu verbessern. Dabei wird das Constant Work in Progress (ConWIP)-System als Steuerungsmechanismus gewählt, das sich durch seine Fähigkeit auszeichnet, den Work-in-Progress-Bestand (WIP) zu begrenzen und gleichzeitig eine hohe Produktionsleistung sicherzustellen. Die Wahl von ConWIP basiert auf einer fundierten Analyse wissenschaftlicher Literatur und wird durch die Anwendung eines Simulationsmodells in FlexSim validiert.

Ziel dieser Untersuchung ist es, durch die Implementierung eines Pull-Systems die Fertigungs- und Logistikleistung des Unternehmens zu verbessern. Die Optimierung wird durch ein Design of Experiments (DoE) unterstützt, das verschiedene Steuerungsparameter untersucht. Die Evaluierung erfolgt anhand ausgewählter Logistikkennzahlen wie Durchlaufzeit, Liefertreue, WIP und Auslastung. Die Ergebnisse werden im Hinblick auf ihre Relevanz für die Praxis und die Übertragbarkeit auf ähnliche Unternehmen diskutiert.

2 Methodik

2.1 THEORETISCHE GRUNDLAGEN UND BEGRÜNDUNG DER WAHL DES CONWIP-ANSATZES

In der Produktionsplanung unterscheiden sich Pull-Systeme grundlegend von Push-Systemen durch die Art und Weise, wie Materialflüsse und Arbeitsaufträge gesteuert werden. Während Push-Systeme die Produktion basierend auf Prognosen initiieren, arbeiten Pull-Systeme bedarfsorientiert, indem sie Aufträge erst dann freigeben, wenn sie von nachgelagerten Prozessen angefordert werden. Dadurch werden Überproduktion reduziert, Bestände minimiert und die Flexibilität bei schwankender Nachfrage erhöht. Zu den bekanntesten Pull-Systemen gehören Kanban, Workload-Control und ConWIP (Constant Work in Progress).

Das ConWIP-System wurde für diese Untersuchung gewählt, da es besonders geeignet ist, in Produktionsumgebungen mit hoher Produktvielfalt und variierender Nachfrage eine stabile Steuerung zu gewährleisten. Im Vergleich zu alternativen Pull-Systemen wie Kanban bietet ConWIP den Vorteil, dass es den gesamten Work-in-Progress (WIP) entlang der gesamten Produktionslinie limitiert, anstatt einzelne Stationen separat zu regulieren. Dies ermöglicht eine flexiblere Anpassung an Produktmixänderungen und reduziert die Komplexität der Steuerung.

Die Wahl basiert auf Erkenntnissen aus der Literatur, insbesondere einem Artikel auf LeanBase von Schenk und Weigert (2022). Die Autoren heben hervor, dass ConWIP-Systeme besonders in Produktionsumgebungen mit hoher Variantenvielfalt effektiv sind, da sie den gesamten Produktionsfluss

stabilisieren können, ohne dass für jede Produktvariante separate Steuermechanismen eingerichtet werden müssen. Der Artikel verdeutlicht, dass Kanban-Systeme in solchen Szenarien häufig an ihre Grenzen stoßen, da sie eine genaue Abstimmung der Kanban-Karten auf die Produktvarianten erfordern. ConWIP hingegen verwendet eine zentrale Steuergröße – die maximale Anzahl an WIP – und behält dadurch die Kontrolle über die Produktionskapazität unabhängig von der Produktvielfalt.

Ein weiterer Vorteil von ConWIP liegt in der Vereinfachung der Produktionssteuerung. Laut Schenk und Weigert führt die Einführung eines ConWIP-Systems zu einer Reduzierung von Durchlaufzeiten und Beständen, während gleichzeitig die Liefertreue verbessert wird. Deshalb ist ConWIP besonders geeignet für das hier untersuchte mittelständische Unternehmen mit einer hierarchisch organisierten Produktion und acht Produktvarianten.

Zusammenfassend wurde ConWIP aufgrund seiner Fähigkeit gewählt, den Produktionsfluss in einer variantenreichen Umgebung effizient zu steuern. Diese Eigenschaften passen ideal zur Ausgangssituation des Unternehmens und den Zielen der Optimierung, die eine Verbesserung der Fertigungs- und Logistikleistung bei gleichzeitiger Reduzierung der Komplexität umfasst.

2.2 ANNAHMEN FÜR DAS PROJEKT

2.2.1 Überarbeitung der Arbeitsstationen

Die Anzahl der Arbeitsstationen wurde von sechs auf vier reduziert: Teilefertigung, Montage, Wärmebehandlung und Qualitätskontrolle. Dies ermöglicht eine Steigerung der Effektivität. Und erleichtert im weiteren die Einhaltung einer etwa gleichen Prozesszeit an jeder Arbeitsstation. Genauer gesagt wurden die Arbeitsschritte der V1 und V2 zusammengelegt und die Montage vor die Wärmebehandlung verlagert. Außerdem wird die Nachbearbeitung in der Qualitätskontrolle erledigt.

2.2.2 Stochastische Prozesszeiten

Die Prozesszeiten an den Stationen sind normalverteilt und betragen im Mittel 20 Sekunden, mit einer Standardabweichung von 2 Sekunden. Dies bildet realistische Schwankungen in der Bearbeitungsdauer ab.

2.2.3 Warm-Up Phase

Um den kontinuierlichen WIP zu gewährleisten, gibt es eine Queue die zu Anfang den Maximalen Bestand der Produktion auffüllt. Dadur kann immer erst ein neues Produkt in die Produktion sobald hinten eins aus dem Endlager entnommen wurde.

2.2.4 Produktionsvielfalt

Es werden zur Vereinfachung zwei Produkttypen (grau und schwarz) gefertigt, um die Variantenvielfalt des Produktionssystems darzustellen. Diese werden an verschiedenen Stellen im System entnommen, um die Auslieferung an den Kunden zu simulieren.

2.2.5 Qualitätskontrolle und Nacharbeit

In der Qualitätskontrolle benötigen 8,33 % der Produkte eine Nachbearbeitung. Die Reparaturzeit zusammen mit der Nachkontrolle werden als normalverteilt mit einem Mittelwert von 35 Sekunden angenommen.

2.2.6 Losgröße und Prozesskapazität

Um die Prozesszeit und somit auch die Auslastung bei jedem Arbeitsschritt gleich zu halten wurde durch die Prozesszeit von 20 Sekunden angenommen, dass eine Losgröße von 3 für die Wärmebehandlung wahrscheinlich sinnvoll wäre. Um ein ConWIP System zu implementieren, ist es ebenfalls essenziell die maximale Prozesskapazität variabel zu gestalten. Somit kann dann später im Endgang ein perfekter Kompromiss zwischen Losgröße und Prozesskapazität getroffen werden.

2.2.7 Just-in-Time

Das Produktionssystem folgt dem Just-in-Time-Prinzip. Materialien für die Produktion werden genau dann bereitgestellt, wenn sie benötigt werden – in direktem Zusammenhang mit der Auslieferung des Endprodukts. Dabei wird in diesem Modell davon ausgegangen, dass die benötigten Materialien ohne Verzögerung und ohne Lieferzeit zur Verfügung stehen. Dies ist entscheidend, um Lagerbestände und das gebundene Kapital auf ein Minimum zu reduzieren.

2.2.8 Ideale Bedingungen

Maschinen und Arbeiter werden als ideal betrachtet, ohne längere Ausfälle oder Verzögerungen. Es arbeiten 5 Personen, zwei in der Teilefertigung und sonst jeweils eine pro Station. Es wird angenommen, dass die Arbeiter für die gesamte Zeit des Prozesses zur Verfügung stehen und keine Pause einlegen.

2.2.9 Transportzeiten

Für die Transportzeiten zwischen dem jeweiligen Lager und den Arbeitsstationen wird ein fixer Wert von 2 Sekunden angenommen. Diese Transportzeiten sind konstant und unterliegen keinen Schwankungen. Zusätzlich wird an jeder Arbeitsstation eine Setup-Zeit berücksichtigt, welche die Zeit beschreibt, die für das Bereitlegen der Bauteile benötigt wird.

2.2.10 Kundennachfrage

Die Kundennachfrage wird als konstant über einen definierten Zeitraum betrachtet. Nach einer Anlaufzeit von 390 Sekunden beginnt der Produktionsprozess, um die Kundennachfrage zu bedienen. Ab diesem Zeitpunkt erfolgt die Nachfrage in festen Intervallen mit einer Inter-Arrival-Time von 30 Sekunden. Es wird davon ausgegangen, dass Kundenzufriedenheit nur dann gewährleistet ist, wenn die Produkte im Endlager rechtzeitig verfügbar sind.

2.3 DESIGN OF EXPERIMENTS (DOE)

2.3.1 Definition des Design of Experiments (DoE)

Das Design of Experiments (DoE) ist eine systematische Methode zur Planung, Durchführung und Analyse von Experimenten, um die Zusammenhänge zwischen Eingabeparametern (Faktoren) und dem Ergebnis (Response) zu untersuchen. Das Ziel besteht darin, die Auswirkungen der Faktoren auf die Zielgrößen zu ermitteln und die optimalen Einstellungen für die Systemoptimierung zu bestimmen.

2.3.2 Ziele des DoE

Die Ziele des durchgeführten DoE sind:

- **Verbesserung der Fertigungs- und Logistikleistung:** Optimierung der Produktionskennzahlen wie Durchlaufzeit, Liefertreue, WIP und Auslastung.

- **Identifikation kritischer Parameter:** Bestimmung der Einflussfaktoren, die die Produktionsleistung maßgeblich beeinflussen, z. B. maximale WIP-Limits oder Losgrößen.
- **Robustheit des Systems:** Sicherstellung, dass das Produktionssystem auch unter schwankenden Bedingungen zuverlässig arbeitet. Oder auch in der Lage ist Engpässe im Bestand schnell auszugleichen.
- **Effiziente Ressourcennutzung:** Reduktion von Verschwendung durch Minimierung von Beständen und Verbesserung der Prozesszeiten.

2.3.3 Definition und Beschreibung der Kennzahlen

Im Rahmen der Analyse und Optimierung des Produktionssystems wurden vier zentrale Logistikkennzahlen definiert, die als Grundlage für die Bewertung der Systemleistung dienen. Diese Kennzahlen umfassen Durchlaufzeit, Liefertreue, Work-in-Progress (WIP) und Auslastung. Ihre Definition und Relevanz werden im Folgenden erläutert:

2.3.3.1 Durchlaufzeit (Lead Time)

Die Durchlaufzeit beschreibt die Zeitspanne, die ein Produkt vom Eintritt in das Produktionssystem bis zur Fertigstellung benötigt. Formal lässt sie sich als die Differenz zwischen dem Zeitpunkt des Produktionsbeginns (t_{start}) und dem Zeitpunkt der Fertigstellung (t_{end}) definieren:

$$\text{Durchlaufzeit} = t_{\text{end}} - t_{\text{start}}$$

Eine kurze Durchlaufzeit ist ein Indikator für effiziente Produktionsprozesse und eine geringe Verzögerung. In der Simulation wird die mittlere Durchlaufzeit gemessen und mit Zielwerten verglichen. **Beispiel:** Ein graues Produkt benötigt 120 Sekunden vom Beginn der Teilefertigung bis zur Qualitätskontrolle.

2.3.3.2 Liefertreue (Delivery Reliability)

Die Liefertreue misst den Anteil der Aufträge, die innerhalb des vereinbarten Zeitrahmens geliefert werden. Sie wird als Prozentsatz definiert:

$$\text{Liefertreue} = \frac{\text{Anzahl termingerechter Lieferungen}}{\text{Gesamtanzahl der Lieferungen}} \cdot 100$$

Diese Kennzahl gibt Auskunft über die Zuverlässigkeit des Systems und ist von hoher Bedeutung für die Kundenzufriedenheit. Außerdem spielt sie eine wichtige Rolle in der Wirtschaftlichkeit des Prozesses. In unserem Projekt wird die Liefertreue erfüllt, wenn ein Kunde zum Endlager kommt und eine Uhr bereitgestellt ist. Falls keine Uhr bereit ist, ist die Liefertreue nicht erreicht. Die Datenerhebung erfolgt hierbei über eine Händisch errechneten Prozentsatz für einen Produktionsdurchlauf von 24 Produkten. **Beispiel:** Von 100 hergestellten Uhren wurden 95 termingerecht ausgeliefert, was einer Liefertreue von 95 % entspricht.

2.3.3.3 Work-in-Progress (WIP)

Der Work-in-Progress (WIP) beschreibt die Anzahl der Produkte, die sich zu einem bestimmten Zeitpunkt in der Produktion befinden, aber noch nicht fertiggestellt sind. Formal definiert als:

$$\text{WIP} = \sum_{i=1}^n P_i(t)$$

wobei $P_i(t)$ den Zustand eines Produkts i zu einem Zeitpunkt t beschreibt (0 = fertiggestellt, 1 = in Bearbeitung). Ein optimaler WIP trägt zu einem kontinuierlichen Produktionsfluss bei, ohne Überlastung der Ressourcen. **Beispiel:** In der Simulation wird ein WIP-Limit von 9 Produkten gesetzt, um die Auslastung der Produktionsbereiche zu steuern.

2.3.3.4 Auslastung (Utilization)

Die Auslastung beschreibt das Verhältnis der genutzten Zeit einer Ressource (z. B. Maschine oder Arbeitsplatz) zur insgesamt verfügbaren Zeit dieser Ressource. Sie wird in Prozent angegeben und wie folgt berechnet:

$$\text{Auslastung} = \frac{\text{genutzte Zeit}}{\text{verfügbare Zeit}} \cdot 100$$

Ein hoher Auslastungsgrad zeigt, dass eine Ressource effizient genutzt wird, kann jedoch auch auf eine potenzielle Überlastung hinweisen. Eine ähnlich hohe Auslastung der verschiedenen Stationen ist wichtig, damit keine Engpässe und keine Wartezeiten entstehen. Eine ausgewogene Auslastung ist essenziell für eine stabile Produktionsleistung. **Beispiel:** Eine Maschine ist während einer Schicht von 480 Minuten für 360 Minuten in Betrieb. Die Auslastung beträgt:

$$\text{Auslastung} = \frac{360}{480} \cdot 100 = 75\%$$

2.3.3.5 Relevanz der Kennzahlen

Die genannten Kennzahlen wurden aus der Fachliteratur übernommen und für die Optimierung des Produktionssystems ausgewählt. Insbesondere die Werke von Hopp und Spearman (2008), Lödder (2005) sowie Günther und Tempelmeier (2020) heben die Bedeutung dieser Größen hervor. Hopp und Spearman beschreiben in *Factory Physics* die engen Wechselwirkungen zwischen Durchlaufzeit, WIP, Liefertreue und Ressourcenauslastung, während Lödder auf die praktische Umsetzung von Fertigungssteuerungssystemen eingeht. Günther und Tempelmeier legen den Fokus auf die Relevanz logistischer Kennzahlen für ein effizientes Supply Chain Management.

2.3.4 Umsetzung des DoE

Die optimalen Werte für die variablen Parameter Losgröße der Wärmebehandlung und WIP im System wurden mittels Experimentier in Flexsim festgelegt. Es wurden verschiedene Szenarien verglichen, um festzustellen, bei welcher Kombination von Losgröße und WIP die Zusammensetzung von Durchlaufzeit, Auslastung und Liefertreue am besten ist. Für die Losgröße werden die Werte 2, 3 und 4 simuliert und für den WIP 9, 10 und 11. Diese Werte wurden durch Probieren ermittelt und scheinen am optimalsten zu sein. Die Liefertreue wurde dabei mittels Excel bestimmt, wobei die Werte aus der global Table in Flexsim bearbeitet wurden. Die Liefertreue wird dann eingehalten, wenn ein Produkt abgeholt wird und tatsächlich eines im Endlager vorhanden ist. Entspricht die Lieferzeit der Durchlaufzeit ist die Liefertreue nicht eingehalten, da in diesem Fall kein Produkt rechtzeitig im Endlager war.

3 Ergebnisse

3.1 DOKUMENTATION DER SIMULATIONSERGEBNISSE

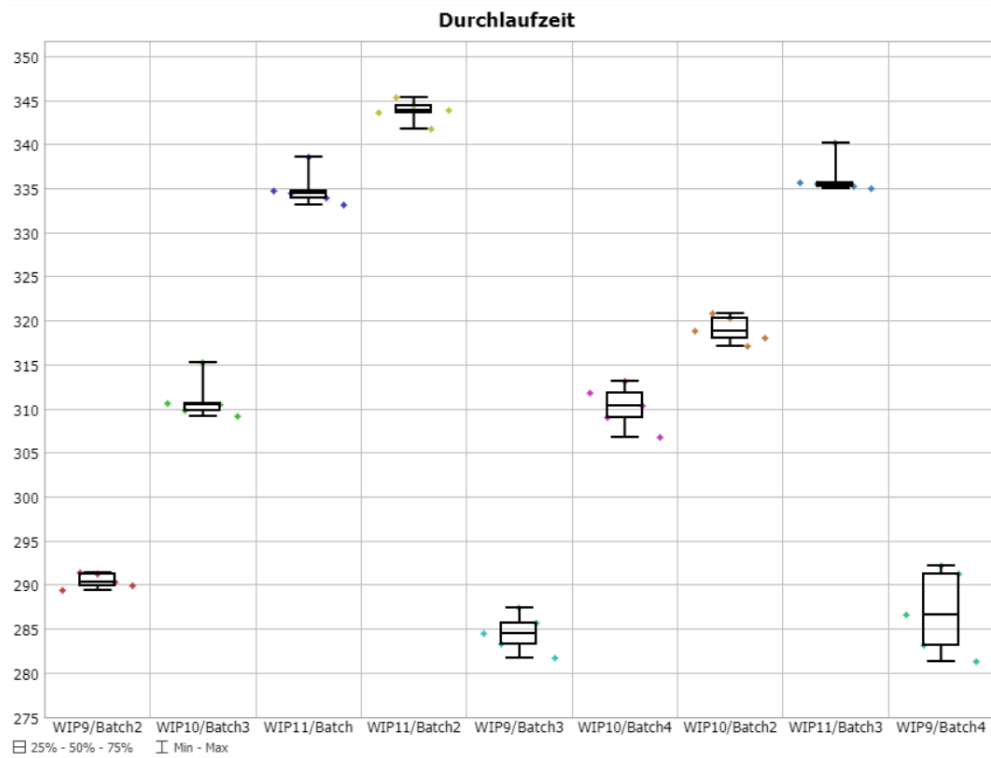


Figure 3.1: Durchlaufzeiten

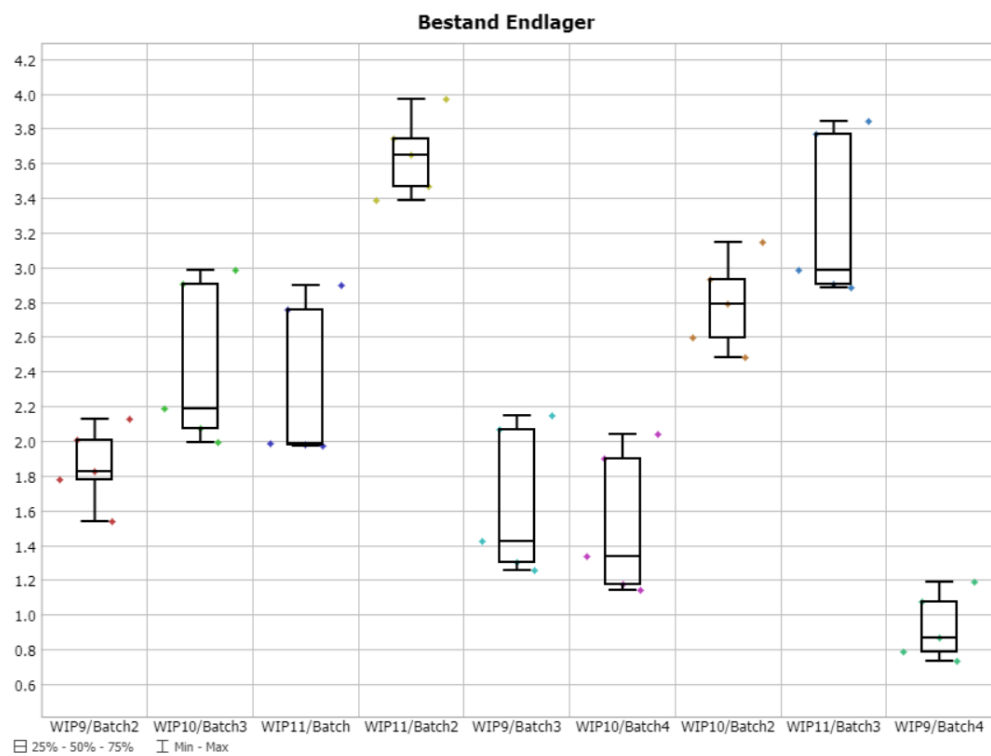


Figure 3.2: Bestand Endlager

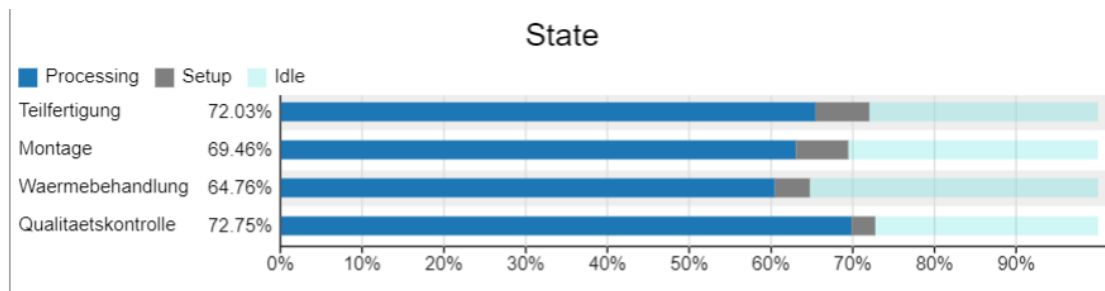


Figure 3.3: WIP 9 / Batchsize 3

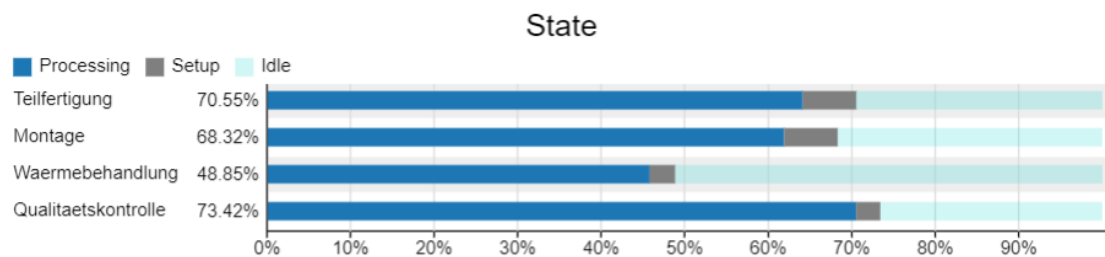


Figure 3.4: WIP 9 / Batchsize 4

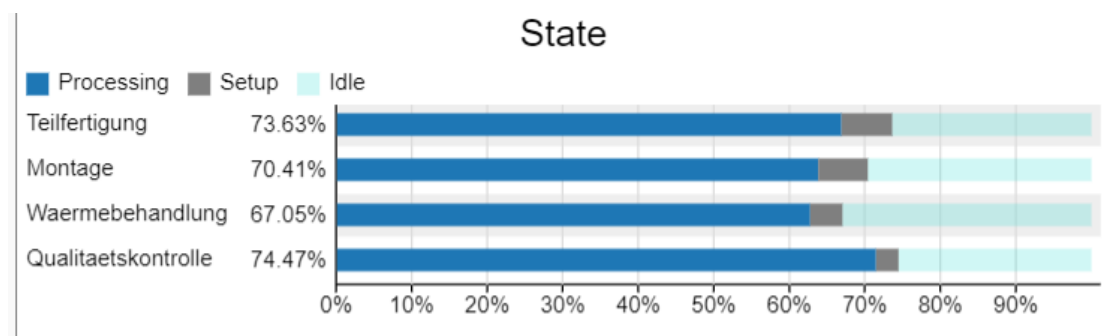


Figure 3.5: WIP 10 / Batchsize 3

WIP	Batchsize	Liefertreue (%)
9	4	37.25
10	4	62.75
9	3	69.81
10	3	92.45

Table 3.1: Werte für WIP, Batchsize und Liefertreue

3.2 ANALYSE DER ERGEBNISSE

Die Ergebnisse weisen für die Szenarien unterschiedlicher Kombinationen aus WIP und Batchsize verschiedene Vor- und Nachteile auf. Um einen Mittelweg für eine gute Fertigungs- und Logistikleistung sowie eine profitable Wirtschaftsstrategie zu finden, haben wir uns für folgende Parameter entschieden.

Die Durchlaufzeit ist im Szenario mit einem WIP von 9 und einer Batchsize von 3 am geringsten und somit in diesem Aspekt am vorteilhaftesten (siehe 3.1). Jedoch zeigt die Messung der Auslastung, insbesondere bei einem WIP von 10 und einer Batchsize von 3, höhere und gleichmäßigere Werte bei den Prozessen (siehe 3.5). Vergleicht man bei diesen beiden Optionen die Liefertreue, so schneidet die Variante mit WIP 10 und Losgröße 3 mit 92,45 % am besten ab (siehe 3.1). Das zeigt, dass das Produktionssystem unter diesen Parametereinstellungen besonders robust arbeitet, da

die Schwankungen in der Qualitätssicherung hier am besten ausgeglichen werden können. Außerdem fällt bei Betrachtung des Endlagerbestands (siehe 3.2) auf, dass bei dieser Auswahl der Bestand im Mittelfeld liegt. Für mögliche Ausfälle sollte hier noch ein kleiner Puffer sein, um die Kundennachfrage dennoch decken zu können und gleichzeitig sollte der Bestand nicht zu hoch sein, um nicht zu viel Kapital zu binden. Beides wird bei einem WIP von 10 und einer Losgröße von 3 am besten erreicht. Aus diesen Gründen ist diese Variante zu bevorzugen, um ein optimales Produktionsergebnis zu erzielen. Obwohl das Szenario unter den Durchlaufzeiten nicht am besten abschneidet, überwiegt das positive Ergebnis in der Liefertreue. So kann am Ende mit diesen Parametern ein wirtschaftlich profitableres Ergebnis erzielt werden. Die Ziele des DoE konnten somit erreicht werden.

4 Diskussion

Prüft man die Ergebnisse auf Plausibilität, so erscheinen diese für die getroffenen Annahmen realistisch. Da die Prozesszeit der Wärmebehandlung 60 Sekunden beträgt und die restlichen Prozesszeiten 20, so ist eine Losgröße von 3 für die Wärmebehandlung zu erwarten. Ein WIP von 10 gewährleistet, dass im Endlager für die Kunden fast immer ein Produkt verfügbar ist, wodurch die Liefertreue maximiert wird. Diese Feststellung stimmt mit den Empfehlungen von Heizer und Render (2020) überein, die in ihrer Arbeit betonen, dass eine ausreichende WIP-Kapazität entscheidend für die Aufrechterhaltung einer hohen Liefertreue ist. Sie argumentieren, dass eine zu niedrige Bestandsgröße zu Materialengpässen führen kann, während eine zu hohe Bestandsgröße zu unnötigen Lagerkosten und längeren Durchlaufzeiten führt.

Jedoch wurde auch festgestellt, dass die Durchlaufzeit in dieser Variante nicht minimal ist. Dies deutet darauf hin, dass eine Maximierung der Liefertreue auf Kosten einer längeren Verweildauer in der Produktion erfolgen kann. Diese Ergebnisse unterstreichen die Notwendigkeit einer sorgfältigen Abwägung zwischen verschiedenen Zielgrößen. Für praktische Anwendungen könnte es sinnvoll sein, Szenarien zu simulieren, die auf spezifische Unternehmensziele (z. B. Minimierung von Beständen oder Maximierung der Liefertreue) ausgerichtet sind. Zusätzliche Untersuchungen könnten weitere Einflussfaktoren wie die Variabilität der Kundennachfrage oder mögliche Maschinenausfälle berücksichtigen.

5 Fazit

5.1 ZUSAMMENFASSUNG

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass durch die getroffenen Annahmen und das simulieren mit dem DoE, ein besseres Verständnis des Prozesses geschaffen wurde. Durch den Versuch den Prozess realistisch zu modellieren, konnte die Produktivität die Liefertreue unter effizienten finanziellen Aspekten gesteigert werden. Durch den Vergleich der Szenarien in der Simulation wurde die besten Einstellungen der Parameter getroffen, unter Begutachtung von allen wichtigen Logistikkennzahlen.

5.2 SCHLUSSFOLGERUNGEN UND EMPFEHLUNGEN

Am Ende sind wir zu dem Schluss gekommen, dass für ein optimales modellieren des Prozesses noch einige Änderungen getroffen werden müssten. Unser jetziges Model stellt ein spezielles und im Großteil als ideal angenommenes System dar. Für Ergebnisse die so gut wie möglich die Realität repräsentieren, müssten noch weitere Daten gesammelt werden. Beispielsweise müsste die Variabilität der Kundennachfrage und mögliche Maschinenausfälle noch berücksichtigt werden. Genauso ist eine Produktion mit 8 Produktvarianten um einiges komplexer und würde einem Konzept für eine realitätsgetreue Vermarktung des Produkts entsprechen.

Literaturverzeichnis

- Günther, H. O., & Tempelmeier, H. (2020). *Supply Chain Analytics: Operations Management und Logistik*. BoD–Books on Demand.
- Hopp, W. J., & Spearman, M. L. (2008). *Factory Physics: Foundations of Manufacturing Management* (3. Auflage). Waveland Press.
- Löffding, H. (2005). *Verfahren der Fertigungssteuerung* (Vol. 2). Springer, Berlin.
- Heizer, J., & Render, B. (2020). *Operations Management* (13. Auflage). Pearson.
- Leanbase (2020). Produktion mit Pull trotz hoher Produktvielfalt und Variantenvielfalt. <https://leanbase.de/publishing/post/produktion-mit-pull-trotz-hoher-produktvielfalt-un>, abgerufen am 15. Januar 2025.