



Abschlussprojekt Produktionssysteme

Wintersemester 2024

Bachelor - Mechatronik, Design und Innovation

Jahrgang: BA-MECH-23

Lehrveranstaltungsleiter: Anita Onay

Verfassende: Hörtnagl Stefan, Hannes Unterhuber

16. Januar 2025

Einleitung

Im Rahmen der Lehrveranstaltung Produktionssysteme wurde eine Mini-Fallstudie durchgeführt, die das Ziel verfolgt, die erlernten Grundlagen der Modellierung, Simulation und Optimierung von Produktionssystemen praxisnah anzuwenden. Im Mittelpunkt dieser Fallstudie steht die Einführung eines modernen Pull-Systems, das durch ein umfangreiches Design of Experiments (DoE) ergänzt wird, um datenbasierte Optimierungen gezielt voranzutreiben.

Ziel der Fallstudie ist die Einführung von Lean-Methoden in einem traditionell geführten Produktionsunternehmen. Das Unternehmen ist auf die Herstellung von Konsumgütern in acht verschiedenen Varianten spezialisiert, die in einem stark von manueller Einzelfertigung geprägten Produktionsprozess hergestellt werden. Durch die Erstellung des Berichts sowie die Durchführung und Analyse von Simulationsexperimenten wird ein vertieftes Verständnis für die Herausforderungen und Potenziale in der Produktionssteuerung vermittelt.

Die Kombination aus der Einführung moderner Produktionsmethoden, dem Einsatz von Simulationsmodellen und der datenbasierten Optimierung durch DoE bietet eine praxisorientierte Perspektive auf die Gestaltung effizienter und anpassungsfähiger Produktionssysteme. (Anita Onay, 2024a, S.1).

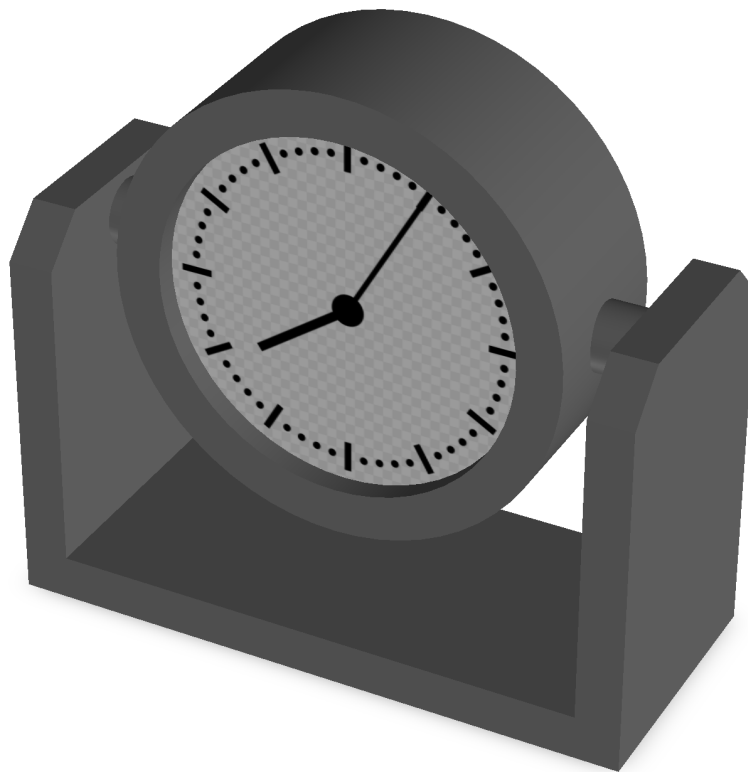


Abbildung 0.1: Konsumgut

Inhaltsverzeichnis

1	Ausgangssituation	1
1.1	Die Produktionslinie	1
1.2	Rohmaterialien	1
1.3	Produktvarianten	2
1.4	Ziel der Simulation	2
1.5	Pull-System - Kanban	2
2	Methodik	3
2.1	Annahmen	3
2.1.1	Wärmebehandlung	3
2.1.2	Maschinen und Arbeiter	3
2.1.3	Prozesszeiten	3
2.1.4	Kundennachfrage	3
2.1.5	Just-in-Time	3
2.1.6	Wareneingang	3
2.1.7	Kapazitätsgrenzen	4
2.1.8	Qualitätsrate	4
2.1.9	Transportwege	4
2.2	Steady-State	4
2.3	Design of Experiment - DoE	4
2.3.1	Versuchsparameter	4
2.3.2	Zielgrößen	5
2.3.3	Ablauf des DOE	5
3	Ergebnisse	7
3.1	Auswertung Kennzahlen	7
4	Diskussion	8
4.1	Iterative Optimierung	8
4.2	Interpretation der Ergebnisse	8
4.2.1	Durchlaufzeit - DLZ	8
4.2.2	Kundentreue	8
4.2.3	Work in Progress - WIP	8
4.3	Wechselwirkungen	9
4.4	Kenndatenoptimierung	9
4.5	Transportzeit	9
4.5.1	Transportwege optimieren	9
4.6	Prozesszeitanpassung	9
4.6.1	Optimierung der Prozesszeiten	9

5 Fazit	10
5.1 Zusammenfassung der Ergebnisse	10
5.2 Relevanz der Optimierungen	10
5.3 Limitationen der Analyse	10
5.4 Ausblick	10
Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	VI
Literaturverzeichnis	VII

1 Ausgangssituation

Als Basis für die Simulation dient ein traditionell organisiertes Produktionsunternehmen, das mit Hilfe des Grundgerüsts, des bereitgestellten TOPIQ-Modells und der getroffenen Annahmen über die Randbedingungen analysiert wird. Die Simulation betrachtet dabei den Montageprozess am Ende der Wertschöpfungskette bis zur Übergabe des fertigen Produktes an den Kunden. (Anita Onay, 2024a, S.1)

Diese bilden den Ausgangspunkt für die Erstellung eines flexiblen und anpassungsfähigen Modells, das den individuellen Anforderungen angepasst wird. Ziel ist es, sowohl den Materialfluss als auch die Produktionssteuerung zu optimieren und eine hohe Auslastung der Ressourcen zu gewährleisten. Diese Rahmenbedingungen erfordern eine Produktionssteuerung, die flexibel und schnell auf die Anforderungen reagieren kann, ohne dabei an Effizienz einzubüßen. Darüber hinaus spielen die Minimierung der Durchlaufzeiten und die Vermeidung unnötiger Bestände eine zentrale Rolle. Als Maßstab dienen hier die Kennzahlen der Kundentreue, die letztlich den Unternehmenserfolg widerspiegelt.

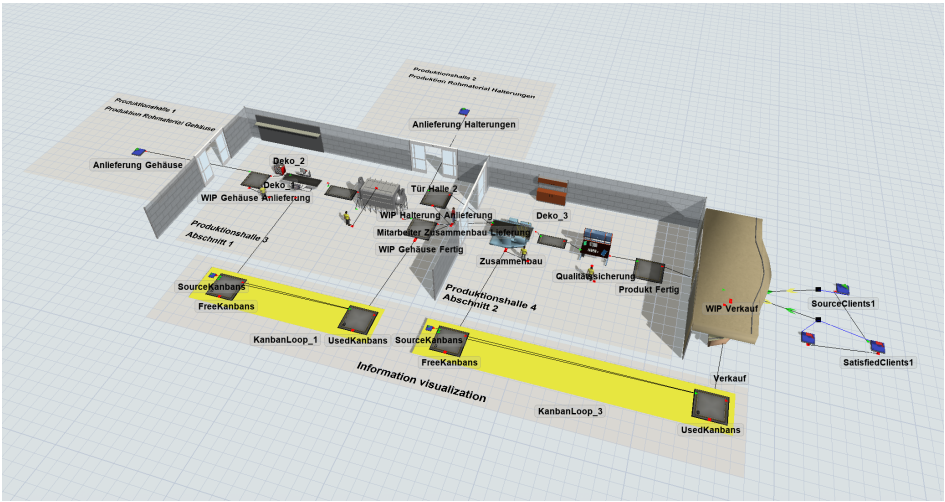


Abbildung 1.1: Simulationsmodell (HoertnaglUnterhuber, 2025b)

1.1 DIE PRODUKTIONSLINIE

Tabelle 1.1: Übersicht der Arbeitsstationen

Abschnitt	Station	Aufgaben	Beschreibung
1	1	Vormontage	Batterie, Batteriefachabdeckung, Rohgehäuse
	2	Wärmebehandlung	Die Vormontierte Uhr wird wärmebehandelt
2	3	Zusammenbau	Die Vormontierte Uhr wird auf der Halterung montiert
	4	Qualitätssicherung	Endprüfung des Produktes und Fehlerbehebung

1.2 ROHMATERIALIEN

Die Anlieferung des Rohmaterials, das als Ausgangspunkt des Produktionsprozesses dient, wird in der eigenen Produktion hergestellt und über die Logistik dem Prozess zur Verfügung gestellt.

1.3 PRODUKTVARIANTEN

Das Modell wird auf Basis des Produkttyps einer Schwarzen Uhr mit schwarzer Halterung simuliert. Der Produktionsprozess ist unabhängig von der Produktvielfalt des Unternehmens.

1.4 ZIEL DER SIMULATION

Die Simulation wird mit dem Ziel durchgeführt, folgende Punkte zu verbessern (Anita Onay, 2024a, S.2):

1. Ermittlung von Bereichen mit Verbesserungspotenzial, z. B. ineffiziente oder fehleranfällige Prozesse.
2. Fertigungs- und Logistikprozesse zu verbessern
3. Kundenzufriedenheit steigern

1.5 PULL-SYSTEM - KANBAN

Ein Kanban-System stellt eine effiziente Methode zur Steuerung von Arbeitsprozessen dar, indem es eine klare Visualisierung der Arbeitsabläufe bietet. Es fördert die Effizienz, da Engpässe frühzeitig erkannt und beseitigt werden können, was zu einer kontinuierlichen Verbesserung der Prozesse führt. Darüber hinaus ermöglicht es eine Just-in-time-Steuerung, die Verschwendung minimiert und die Produktivität steigert. Es ist darauf ausgelegt, den Materialfluss zu synchronisieren und Überproduktion zu vermeiden, indem die Produktion genau auf die Nachfrage abgestimmt wird. (Hopp and Spearman, 2004, S.137-139)

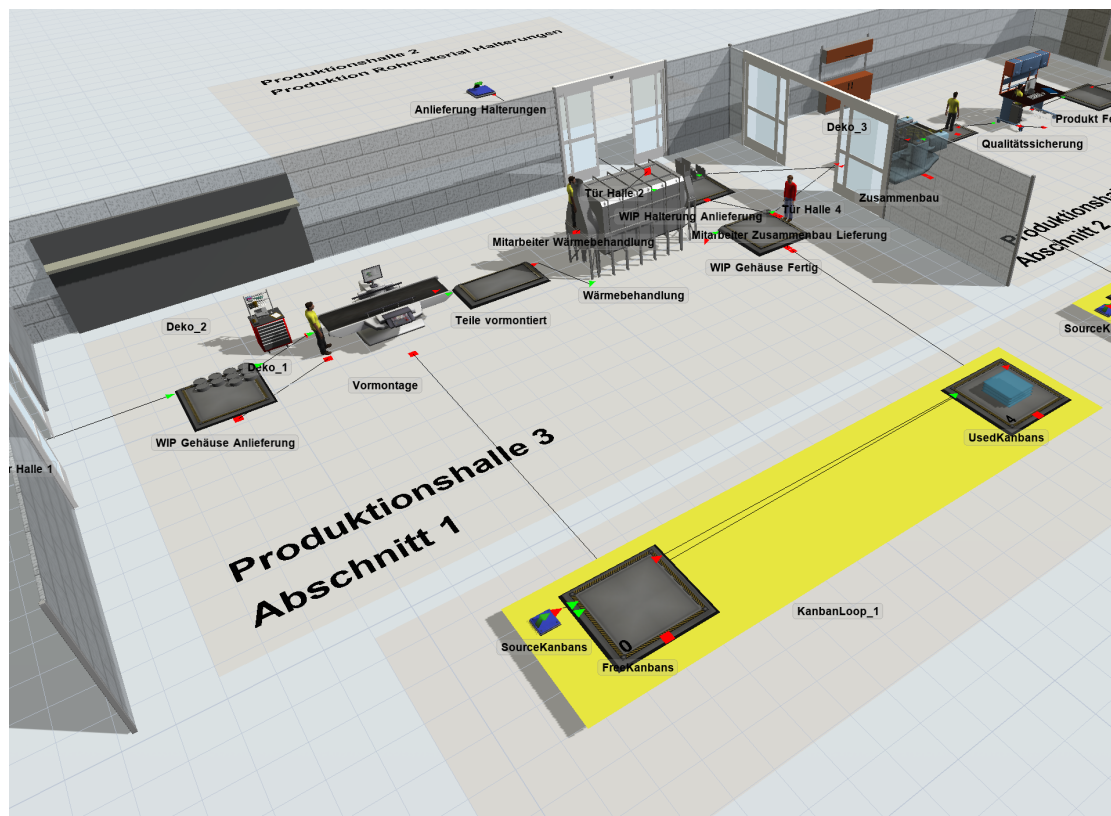


Abbildung 1.2: Auszug Simulationsmodell (HoertnaglUnterhuber, 2025b)

2 Methodik

Die Methodik beschreibt den strukturierten Ansatz zur Entwicklung, Durchführung und Analyse der Simulationen. Die zentralen Annahmen und das Design of Experiment (DoE) werden detailliert erläutert. Ziel ist es, ein nachvollziehbares Vorgehen zur Untersuchung der Einflussfaktoren und ihrer Wechselwirkungen zu gewährleisten.

2.1 ANNAHMEN

2.1.1 Wärmebehandlung

Aufgrund des technologischen Fortschritts werden viele Anlagen modernisiert und aufgerüstet. Dabei wird auch in dieser Produktionskette von einfachen Chargenöfen auf leistungsfähigere Durchlauföfen umgestellt. Diese Umstellung ermöglicht eine kontinuierliche Behandlung der Produkte, wodurch die Produktionsprozesse effizienter gestaltet, die Flexibilität erhöht und schneller auf Nachfrageschwankungen reagiert werden kann.

2.1.2 Maschinen und Arbeiter

Es werden sowohl die Maschinen als auch die Arbeiter, die sie bedienen, als ideal angenommen. Die einzelnen Stationen verfügen jederzeit über alle notwendigen Werkzeuge und Ersatzteile, falls diese benötigt werden. Potentielle Maschinenausfälle werden anhand von zuvor gesammelten Daten frühzeitig erkannt (Predictive Maintenance) und in geeigneten Produktionspausen strategisch gewartet.

2.1.3 Prozesszeiten

Die Prozesszeiten der vorhandenen Arbeitsplätze - Vorfertigung & Montage - wurden durch eine Reihe von Versuchen ermittelt. Die daraus gewonnenen Daten wurden in das Modell integriert und mit einer geeigneten Verteilung implementiert, um realistische Schwankungen zu simulieren. Die Schwankungen resultieren aus menschlichen Faktoren, wie z.B. unterschiedliche Arbeitsgeschwindigkeiten oder Aufmerksamkeit der Mitarbeiter.

2.1.4 Kundennachfrage

Anhand von Analysedaten der verkauften Produkte wurden Basisdaten als Grundlage für die Nachfragesituation ermittelt. Diese bilden die Grundlage für die Steuerung des gesamten Produktionsprozesses im Tagesverlauf. Um einen reibungslosen Ablauf zu gewährleisten, wird die Produktionslinie mit einer definierten Vorlaufzeit gestartet, so dass ein ausreichender Lagerbestand für die Belieferung der ersten Kunden zur Verfügung steht.

2.1.5 Just-in-Time

Die Materialbereitstellung für die simulierte Produktionskette wurde exakt auf deren Anforderungen abgestimmt. Dadurch gelangen die benötigten Komponenten nach dem Just-in-Time-Prinzip termingerecht in den Wareneingang der Produktion. Auf diese Weise können unnötige Lagerbestände und die damit verbundenen Kosten eingespart werden.

2.1.6 Wareneingang

Die im Rahmen des Systems bereitgestellten Waren umfassen Uhrengehäuse und Halterungen. Die Uhrengehäuse werden mit allen notwendigen Kleinteilen wie Batterien geliefert, die für die ersten beiden Bearbeitungsschritte benötigt werden. Die Halterung wird erst zu einem späteren Zeitpunkt separat montiert, um Flexibilität bei den Produkttypen zu gewährleisten.

2.1.7 Kapazitätsgrenzen

Die Kapazität der Arbeitsstationen ist mit Ausnahme der Wärmebehandlung nach oben skalierbar. Der Ofen hat eine feste Taktzeit, unabhängig von der Anzahl der Arbeitskräfte. Somit wäre bei freier Kapazität eine Mehrproduktion an allen Bearbeitungsstationen möglich. Die Wärmebehandlung könnte jedoch bei hoher Produktion einen Engpass darstellen.

2.1.8 Qualitätsrate

Da Qualitätsmängel in der manuellen Fertigung nicht vollständig ausgeschlossen werden können, wurde durch eine gezielte Datenanalyse die Wahrscheinlichkeit ihres Auftretens ermittelt. Auf dieser Grundlage wurde der Qualitätssicherung gezielt Zeit für notwendige Nacharbeiten eingeräumt.

2.1.9 Transportwege

Im Lean Management liegt ein wesentlicher Fokus auf der Reduzierung von Verschwendung. Daher spielt die Planung und Umsetzung optimaler Transportwege eine zentrale Rolle. In der Simulation werden die Wege der Prozessbeteiligten berücksichtigt und visualisiert, um eine Grundlage für die Optimierung zu schaffen.

2.2 STEADY-STATE

Das Modell wird unter den gegebenen Annahmen in einen Steady-State-Zustand versetzt, sodass die Produktion über einen frei wählbaren Zeitraum konstant weiterläuft. Dabei wird davon ausgegangen, dass der Wertschöpfungsprozess für das betrachtete Produkt bereits früher begonnen hat und die benötigten Ausgangsmaterialien immer zu definierten Zeitpunkten eintreffen. Die Simulation konzentriert sich ausschließlich auf die letzten Schritte des Produktionsprozesses, die direkt zur Herstellung des Endproduktes führen.

2.3 DESIGN OF EXPERIMENT - DOE

Design of Experiments (DoE) ist eine systematische Methode zur Planung, Durchführung und Analyse von Experimenten, um die Beziehungen zwischen verschiedenen Faktoren eines Produktionsprozesses zu untersuchen. Für das vorgestellte Produktionssystem wird DoE eingesetzt, um die Gesamteffizienz des Systems und letztendlich die Kundenzufriedenheit zu erhöhen. (Anita Onay, 2024b, S.246-252):

2.3.1 Versuchsparameter

Die folgenden Versuchsparameter sind die steuerbaren Eingangsgrößen, die in den Experimenten variiert werden, um die Auswirkungen auf das System zu analysieren. Diese Parameter wurden aufgrund ihrer Relevanz für die Prozesssteuerung ausgewählt:

1. **Kanbankarten:** Die Anzahl der Karten bestimmt die maximale Materialmenge, die sich gleichzeitig im Umlauf befinden kann und steuert somit den Materialfluss im System.
2. **Anlieferungsintervall/-zeiten:** Das Anlieferungsintervall gibt den zeitlichen Abstand zwischen Materiallieferungen an, während Anlieferungszeiten die geplanten Zeitpunkte für Lieferungen sind.
3. **Prozesszeiten:** Die Zeit, die eine Produktionsstation benötigt, um einen Auftrag fertigzustellen.

Tabelle 2.1: Übersicht der Versuchsparameter

Parameter	Beispiele	Einheiten
Anlieferungsintervall/-zeiten	z.b. 200, 400, 600	Sekunden
Anlieferungsgröße	z.b. 10, 20, 30	Stück
Prozesszeiten	z.b. 15, 30, 60,	Sekunden
Anzahl Kanbankarten	z.b. 2, 3, 4	Stück

2.3.2 Zielgrößen

Die Zielgrößen dienen zur Bewertung der Systemleistung und geben Auskunft über die Effizienz der Prozesse. Sie wurden entsprechend den Projektzielen definiert (Anita Onay, 2024a, S.2):

1. **Liefertreue:** Liefertreue ist der Prozentsatz der Aufträge, die pünktlich zum geplanten Liefertermin erfüllt werden.
2. **Durchlaufzeit (DLZ):** Die DLZ ist der Zeitraum von der Auftragserteilung bis zur Fertigstellung eines Produkts.
 - (a) Beginn Messung: 1. Produktionsschritt
 - (b) Ende Messung: Wechsel in Verkauf
3. **Work in Progress (WIP):** WIP bezeichnet die Anzahl der unfertigen Erzeugnisse, die sich im Produktionsprozess befinden.

Tabelle 2.2: Übersicht der Zielgrößen

Zielgrößen	Beispiele	Einheiten/levels
Liefertreue	z.B. 50, 70, 80	Prozent
Durchlaufzeit (DLZ)	z.B. 300, 350, 400	Sekunden
Work in Progress (WIP)	z.B. 5, 10, 15	Stück

2.3.3 Ablauf des DOE

Im Rahmen des Design of Experiments (DoE) wird der Versuchsablauf systematisch gestaltet, um die definierten Parameter gezielt zu variieren und in iterativen Schritten die Auswirkungen auf die Zielgrößen zu analysieren. Dieser strukturierte Ablauf dient dazu, reproduzierbare Ergebnisse zu gewährleisten und belastbare Daten für die spätere Optimierung des Produktionssystems zu liefern. Der gesamte Versuchsablauf ist zur Veranschaulichung zusätzlich in Abbildung 2.1 dargestellt.

Schritte im Versuchsablauf:

1. **Versuchbeginn:** Der Versuch beginnt mit einer definierten Startkonfiguration, in der alle relevanten Parameter und Zielgrößen klar definiert sind.
2. **Initialisierung des Ausgangssystems:** Das Produktionssystem wird in einen stabilen Anfangszustand (steady state) gebracht. Die Versuchsparameter (z. B. Anzahl der Kanbantypen, Lieferintervalle) werden initial gemäß Versuchsplan eingestellt, um ein konstantes Ausgangsniveau zu gewährleisten.
3. **Anpassung der Parameter:** Gegebenenfalls werden die Versuchsparameter an frühere Ergebnisse oder spezifische Fragestellungen angepasst.
4. **Durchführung des Experimentes:** Die Experimente werden in Flexsim mit dem Experimentierer durchgeführt. Es werden mehrere Versuchsdurchläufe mit den gleichen Parametern gestartet, um einen Durchschnittswert aufgrund von Variabilität bei der Datenauswertung zu erzeugen.
5. **Daten bewerten:** Die Zielgrößen (z.B. Liefertreue, Durchlaufzeit, Arbeitsfortschritt) werden während des Versuchs automatisiert erfasst und anschließend ausgewertet. Diese Auswertung dient als Grundlage für die Entscheidung über das weitere Vorgehen.
6. **Entscheidung über Zielgrößen:** Nach der Evaluierung wird überprüft, ob die Ziele erreicht wurden.
 - **Ja:** Es wurde ein zufrieden stellender Grad der Optimierung der Zielgrößen erreicht.
 - **Nein:** Verbesserung des Zielgrößen ist unzureichend.
7. **Daten speichern:** Die gesammelten Daten werden gespeichert, um sie später analysieren und interpretieren zu können.

8. **Experimentende:** Der Versuch ist abgeschlossen, wenn die Zielwerte erreicht sind und die Daten vollständig dokumentiert sind.

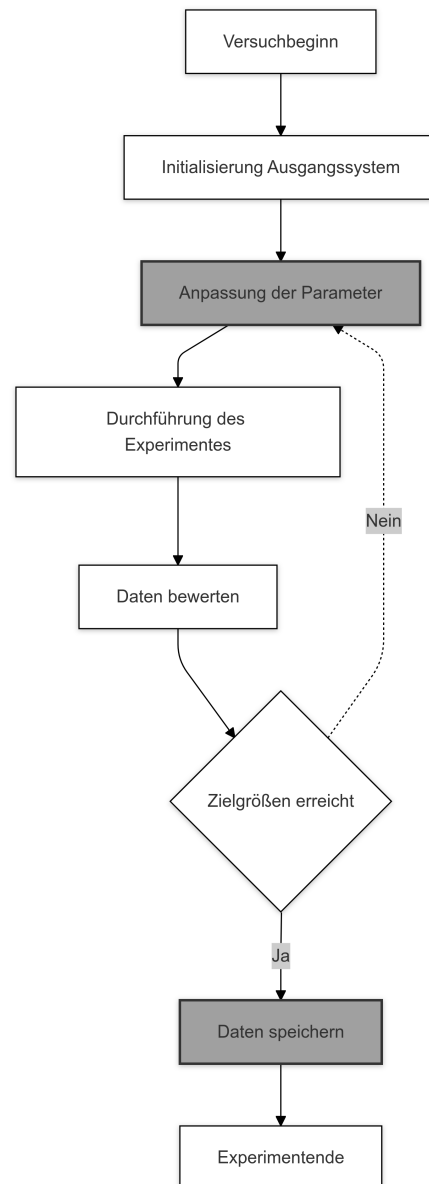


Abbildung 2.1: Informationsfluss DoE

3 Ergebnisse

Durch iterative Anpassung der Kennzahlen in der Simulation mittels eines integrierten „Experimenter“ wurde das Simulationsmodell auf mögliche Engpässe, Materialzufuhr, Auslastung und andere Parameter untersucht. Der Verlauf der Anpassungen kann der Simulation entnommen werden.

Die Ergebnisse werden in Tabellen und Diagrammen dargestellt, um Trends, Wechselwirkungen und die Bedeutung der untersuchten Faktoren zu verdeutlichen. Signifikante Zusammenhänge und Abweichungen werden hervorgehoben, um eine fundierte Grundlage für die weitere Diskussion und Optimierung des Produktionssystems zu schaffen.

3.1 AUSWERTUNG KENNZAHLEN

Tabelle 3.1: Übersicht der Parameterliste

Parameter	Ausgangsmodell	Einheiten	Optimiertes Modell	Einheiten
Kanbankarten Regelkreis 1	4	Stück	8	Stück
Kanbankarten Regelkreis 2	4	Stück	8	Stück
Anlieferungsmenge Gehäuse	20	Stück	20	Stück
Anlieferungsmenge Halterungen	20	Stück	20	Stück
Anlieferungsintervall Gehäuse	1200	Sekunden	800	Sekunden
Anlieferungsintervall Halterungen	1200	Sekunden	800	Sekunden
Prozesszeit Vorfertigung	30	Sekunden	25	Sekunden
Prozesszeit Montage	30	Sekunden	15	Sekunden
Prozesszeit Qualitätssicherung	30	Sekunden	22	Sekunden

Tabelle 3.2: Übersicht der Zielgrößen

Zielgrößen	Ausgangsmodell	Einheiten	Optimiertes Modell	Einheiten
WIP Gehäuse Anlieferung	6.84	Stück	7.01	Stück
WIP Halterung Anlieferung	10.12	Stück	11.39	Stück
WIP Verkauf	0.25	Stück	0.42	Stück
Durchlaufzeit DLZ	284.52	Sekunden	245.35	Sekunden
Average Staytime	42.51	Sekunden	35.59	Sekunden
Auslastung Vorfertigung	50.18	Prozent	62.69	Prozent
Auslastung Wärmebehandlung	71.63	Prozent	68.13	Prozent
Auslastung Montage	49.92	Prozent	37.47	Prozent
Auslastung Qualitätssicherung	49.84	Prozent	54.83	Prozent
Kundentreue	50.63	Prozent	76.34	Prozent

Die Ergebnisse in Bezug auf die wichtigsten Parameter zeigen eine deutliche Verbesserung der Durchlaufzeit sowie der Kundentreue. Durch die Optimierung kann eine verbesserte Kundenzufriedenheit sowie ein erhöhter Durchsatz festgestellt werden. Weitere Ansätze und Ergebnisse werden in der Diskussion näher betrachtet.

4 Diskussion

In diesem Abschnitt werden die im vorhergehenden Kapitel dargestellten Ergebnisse kritisch reflektiert. Die Ursachen für die beobachteten Trends werden analysiert und die Auswirkungen auf die Projektziele diskutiert.

4.1 ITERATIVE OPTIMIERUNG

Um die Auswertung der Daten und deren Gewinnung durch einen iterativen Prozess in diesem Bericht auf das Wesentliche zu reduzieren, wird dieser Prozess anhand eines der zur Verfügung gestellten Simulationsmodelle und eines umfangreichen Detailberichtes der Versuche erläutert. (HoertnaglUnterhuber, 2025a).

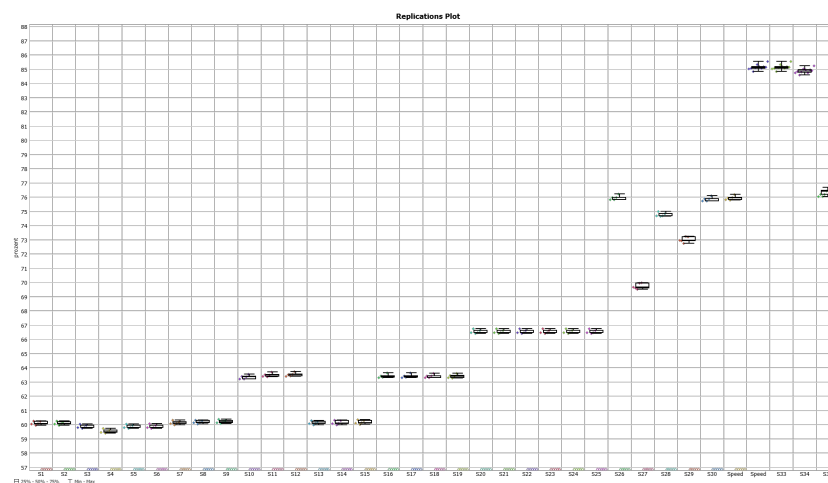


Abbildung 4.1: Auszug Optimierung Kundentreue (HoertnaglUnterhuber, 2025a)

4.2 INTERPRETATION DER ERGEBNISSE

4.2.1 Durchlaufzeit - DLZ

Die DLZ für das Simulationsmodell konnte um bis zu 16% reduziert werden. Diese Reduktion resultiert vor allem aus der Verkürzung der Prozesszeiten der einzelnen Arbeitsstationen sowie einer Anpassung des Lieferintervalls. Dadurch kann eine noch schnellere Reaktionsfähigkeit des Systems erreicht werden.

4.2.2 Kundentreue

Die Kundenzufriedenheit konnte um 26% gesteigert werden. Diese Verbesserung ist direkt auf die Senkung der DLZ und die optimierte Auslastung der Stationen zurückzuführen. Die Steigerung gewährleistet somit eine erhöhte Wettbewerbsfähigkeit des Systems und Unternehmens.

4.2.3 Work in Progress - WIP

In den meisten Bereichen ist ein leichter Anstieg des WIP zu verzeichnen. Das deutet darauf hin, dass durch kürzere Lieferintervalle mehr Material im System verfügbar ist, um Engpässe zu vermeiden. Es führt jedoch mit hoher Wahrscheinlichkeit zu höheren Lagerhaltungskosten und gebundenen Kapital, die durch weitere Optimierungsrunden zu überprüfen sind.

4.3 WECHSELWIRKUNGEN

Wechselwirkungen zwischen den untersuchten Parametern und Zielgrößen. So führen beispielsweise eine Verkürzung der Anlieferungsintervalle zu einer signifikanten Reduzierung der Durchlaufzeit (DLZ), da Engpässe an den Produktionsstationen vermieden werden können. Gleichzeitig steigt jedoch der Work in Progress (WIP) leicht an. Die Wechselwirkungen unterstreichen die Notwendigkeit einer ausgewogenen Optimierung, um Trade-offs wie erhöhte Lagerkosten zu minimieren.

4.4 KENNDATENOPTIMIERUNG

Im Zuge der iterativen Kennzahlenanpassungen wird schnell erkannt, dass mit dem bestehenden System die Grenzen der Optimierung bei ausschließlicher Betrachtung der Randbedingungen des Modells schnell erreicht werden. Äußere, die Simulation beeinflussende Umstände wie Lieferzeiten, Liefermengen und zulässige Aufträge im Prozess (Kanban-Karten) sowie die Möglichkeit, diese Werte exakt zu steuern, verbesserten das Modell nur geringfügig. Mit jeder weiteren Iteration wurden die hemmenden Faktoren in den Prozessen selbst immer deutlicher. Es stellt sich heraus, dass die Prozesszeiten und die Arbeitswege die limitierenden Grenzen darstellen.

4.5 TRANSPORTZEIT

Die Transportzeiten wurden zugunsten der Mitarbeiter, die das Produkt zur nächsten Station bringen, nicht verändert. Eine Optimierung der Transportwege wurde in der Simulation nicht berücksichtigt.

4.5.1 Transportwege optimieren

Die Durchlaufzeit und der Materialfluss können weiter verbessert werden, indem Transportsysteme wie Förderbänder als weitere Optimierungsmöglichkeiten in Betracht gezogen werden.

4.6 PROZESSZEITANPASSUNG

Um eine signifikante Veränderung der Kennzahlen zu erreichen, muss in die Produktionsprozesse selbst eingegriffen werden. Die Prozesszeiten der einzelnen Stationen müssen angepasst und die Arbeitsabläufe optimiert werden, um eine deutliche Verbesserung der Kennzahlen zu erreichen.

4.6.1 Optimierung der Prozesszeiten

Über den Erwartungswert wurde die Normalverteilung der Prozesskurven wie in den Ergebnissen beschrieben angepasst. Die Vorfertigung wurde um 16,66%, die Montage um 50% und die Qualitätssicherung um 26,6% verkürzt. Die größte Herausforderung stellt die Optimierung der Montage dar. Weitere Optimierungsmöglichkeiten umfassen die Automatisierung bzw. Verbesserung der Arbeitsabläufe an den Stationen sowie den gezielten Einsatz zusätzlicher Kapazitäten, z.B. durch Erhöhung der Anzahl der Arbeitskräfte.

5 Fazit

5.1 ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE

Das durchgeführte Design of Experiments (DoE) hat gezeigt, dass die Optimierung von Parametern wie Lieferintervallen und Prozesszeiten zu einer signifikanten Verbesserung der Durchlaufzeit und der Kundentreue führen kann. Die Simulation verdeutlicht auch die Notwendigkeit, Wechselwirkungen und Trade-offs bei der Systemoptimierung zu berücksichtigen.

5.2 RELEVANZ DER OPTIMIERUNGEN

Die Verbesserungen, insbesondere die Reduzierung der Durchlaufzeit um 13,8 % und die Erhöhung der Kundenbindung auf 76,34 %, zeigen das Potenzial gezielter Maßnahmen wie technischer Innovationen oder zusätzlicher Kapazitäten. Diese Ansätze liefern praktische Handlungsempfehlungen für die Optimierung der Produktion.

5.3 LIMITATIONEN DER ANALYSE

Die Ergebnisse basieren auf idealisierten Annahmen, z.B. konstante Nachfrage und immer verfügbare Maschinen. Diese Einschränkungen sollten in zukünftigen Modellen durch realistischere Szenarien wie schwankende Marktbedingungen oder Maschinenausfälle berücksichtigt werden.

5.4 AUSBLICK

Zukünftige Simulationen könnten sich auf weitere Einflussfaktoren wie die Integration neuer Technologien (z.B. Predictive Maintenance) oder die dynamische Anpassung von Produktionskapazitäten konzentrieren. Dies würde die Aussagekraft und praktische Anwendbarkeit der Ergebnisse weiter erhöhen.

Abbildungsverzeichnis

0.1	Konsumgut	II
1.1	Simulationsmodell (HoertnaglUnterhuber, 2025 <i>b</i>)	1
1.2	Auszug Simulationsmodell (HoertnaglUnterhuber, 2025 <i>b</i>)	2
2.1	Informationsfluss DoE	6
4.1	Auszug Optimierung Kundentreue (HoertnaglUnterhuber, 2025 <i>a</i>)	8

Tabellenverzeichnis

1.1	Übersicht der Arbeitstationen	1
2.1	Übersicht der Versuchsparameter	4
2.2	Übersicht der Zielgrößen	5
3.1	Übersicht der Parameterliste	7
3.2	Übersicht der Zielgrößen	7

Literaturverzeichnis

Anita Onay, ed. (2024a), *Simulation eines Produktionssystems: Mini-Fallstudie für Studierende der LV Produktionssystem (MECH): Aufgabenstellung*, Innsbruck.

Anita Onay, ed. (2024b), *Skript zu Vorlesung Produktionssysteme*, Innsbruck.

HoertnaglUnterhuber, ed. (2025a), *Report zu Simulationsmodell Flexsim Mini-Fallstudie*, Innsbruck.

HoertnaglUnterhuber, ed. (2025b), *Simulationsmodell Flexsim Mini-Fallstudie*, Innsbruck.

Hopp, W. J. and Spearman, M. L. (2004), 'To pull or not to pull: What is the question?', *Manufacturing & Service Operations Management* 6(2), 133–148.