

## Erstellung des Lean-Management-Planspiels

### VSM/VSD Toolkits

Jonathan Gründler, APE 269230

Hochschulcampus Furtwangen, Campus Villingen-Schwenningen, Fakultät Mechanical and Medical Engineering

**Abstract—** Dieses Forschungsprojekt, welches auf einer vorausgegangenen Bachelor-Thesis basiert, beschäftigt sich mit der Erstellung eines Planspiels. Mithilfe des Planspiels soll den Studierenden der Vorgang einer Wertstromaufnahme und Wertstromanalyse nähergebracht und das Vorgehen anhand einer nachgebauten Produktionshalle der fiktiven Firma „Tools AG“ vermittelt werden. Die Aufgaben des Planspiels entsprechen dem realen Vorgehen einer Wertstromarbeit. Es werden im Rahmen dieser Arbeit die Figuren der Produktionsprozesse, die Aufgabenstellung des Planspiels wie auch die zu lösenden Probleme des Wertstroms vorgestellt.

### I. Einleitung

Der Umgang mit Methoden und die Vermittlung von grundlegendem Wissen auf dem Gebiet des Lean-Managements wird durch die Vorlesung „Lean-Management“, gehalten von Prof. Dr. Friedrich, durchgeführt. Um wichtige Kenntnisse im Umgang mit der Wertstromaufnahme und Wertstromanalyse den Studierenden der Hochschule Furtwangen University, Campus Schwenningen zu vermitteln, wird ein Planspiel erstellt. Das Planspiel ist dazu gedacht, den Studierenden erste praktische Erfahrungen in diesen Themengebieten zu vermitteln. Damit wird das theoretisch erlernte Wissen aus der Vorlesung „Lean Management“ praktisch umgesetzt.

Ziel dieses Forschungsprojekts ist es den Studierenden mithilfe eines realitätsnahen Aufbaus und einer strukturierten Aufgabenstellung wichtige Kenntnisse im Umgang mit der Wertstromarbeit zu vermitteln und gleichermaßen das Themengebiet der Wertstromaufnahme verstärkt in die Vorlesung aufzunehmen.

Das Planspiel beschäftigt sich mit dem Wertstrom der fiktiven Firma „Tools AG“, welche elektrische Werkzeuge fertigt. Es werden vier Werkzeuge in je drei Varianten produziert. Dabei wird der Wertstrom mit Fokus auf das Rennerprodukt der Tools AG betrachtet (vgl. Abbildung 1). Der betrachtete Wertstrom besteht dabei aus drei Fertigungsstraßen.

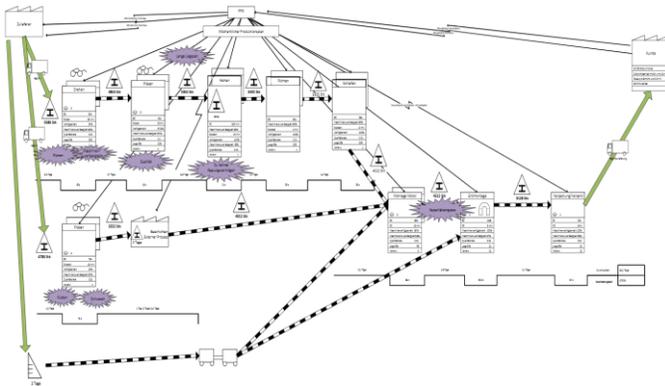


Abbildung 1: Darstellung des gegebenen IST-Wert- und Informationsstroms [2]

Die erste Fertigungsstraße dient der Erzeugung einer Ankerwelle. Aus einem Rohmaterial wird durch die Prozesskette Drehen, Fräsen, Härten, Richten und Schleifen die, bei allen Werkzeugen benötigte Ankerwelle erzeugt. Die zweite Fertigungsstraße dient der Erzeugung der produktspezifischen Gehäuse. Dabei wird das Rohmaterial erste gefräst, bevor es zur

Beschichtung an eine externe Firma weitergereicht wird. Die dritte Fertigungsstraße hält zur Wicklung des Motors und Endmontage notwendige Kleinteile bereit.

Im Wickelprozess wird der Motor zusammgebaut, bevor die Endmontage das Endprodukt erstellt.

Die gefertigten Teile werden über ein Push-System an den Folgeprozess weitergereicht.

Zu Beginn des Planspiels wird den Studierenden ein Szenario präsentiert, in welchem die Tools AG ein neues Volumenprofil für das Folgejahr mit der zu erwartenden Kundenbestellung erhält. Aufgrund dieser Kundenbestellung kann die aktuelle Produktionsauslegung dem Kundentakt nicht mehr folgen.

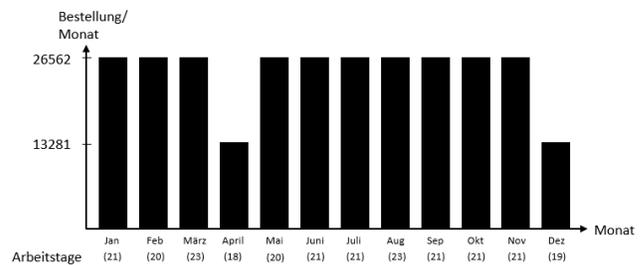


Abbildung 2: Darstellung des Volumenprofils für das Folgejahr mit Anzahl der Teile pro Monat.

Die Aufgabe der Studierenden in diesem Planspiel besteht darin, in einer Gruppengröße von fünf bis sechs Personen den IST-Wertstrom aufzunehmen, zu analysieren und zu optimieren, um die Produktion auf das Folgejahr auszulagern. Das Planspiel ist dabei für eine Durchführung innerhalb eines Vorlesungsblocks von 1,5 Stunden gedacht.

### II. Materialien

#### A. Erzeugung der Figuren der benötigten Prozesse

Die für den Aufbau des Planspiels notwendige Prozesse, wie auch anfallende Bestände werden mittels 3D-Drucks erstellt. Dazu wird ein PLA-Kunststoff als Filament verwendet.

Für die Druckbarkeit der zu fertigenden Figuren ist auf einen geeigneten Entwurf zu achten. Die Entwürfe werden daher kastenförmig erstellt. Überhängende Bereiche der jeweiligen Prozesse werden mit einer 45°-Fase versehen. Auf diese Weise sind obere Schichten durch die unteren Schichten ausreichend gestützt, sodass keine Verformungen während des Druckprozesses erfolgen.

Es werden die Figuren der Prozesse Drehen und Fräsen, Richten, Schleifen, Härten, Wickeln, Endmontage und Versand (vgl. Abbildung 3 bis Abbildung 9) erstellt. Dabei wird eine einheitliche Bemaßung der Prozesse mit einer Grundfläche von 4x7cm bzw. 4x4 cm eingehalten. Weiter sind flächige Elemente oberhalb der Figuren zur Beschriftung der Prozesse vorgesehen. Dies dient der Übersichtlichkeit während des Aufbaus.

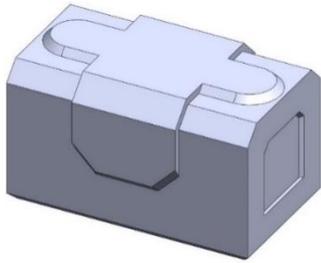


Abbildung 3: Darstellung des Dreh- und Fräsprozesses

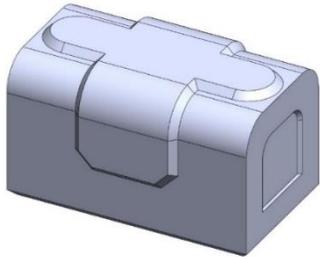


Abbildung 4: Darstellung des Richtprozesses

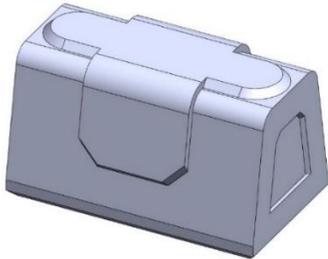


Abbildung 5: Darstellung des Schleifprozesses

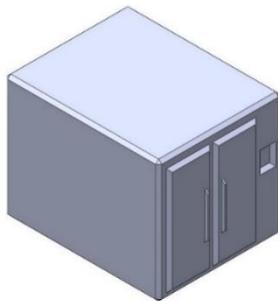


Abbildung 6: Darstellung des Härteprozesses

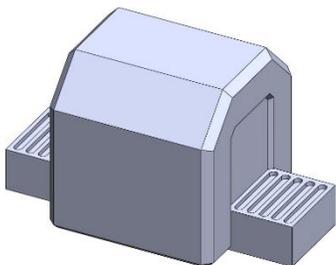


Abbildung 7: Darstellung des Wicklungsprozesses

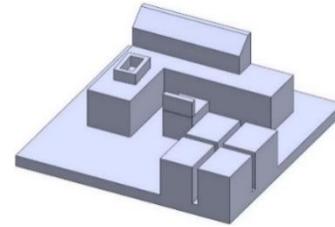


Abbildung 8: Darstellung des Endmontageprozesses

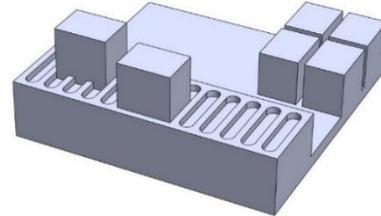


Abbildung 9: Darstellung des Versandprozesses

Zur vollständigen Abbildung der Prozesskette wird weiter die Figuren der externen Beschichtungs-Firma (vgl. Abbildung 10) erstellt.

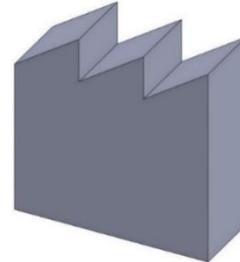


Abbildung 10: Darstellung des Prozesses der externe Beschichtung

Die Bestände der Produktion werden durch Mengenbausteine (vgl. Abbildung 11) repräsentiert. Die Mengenbausteine sind in der Größe von 1,5x1,5cm entworfen.

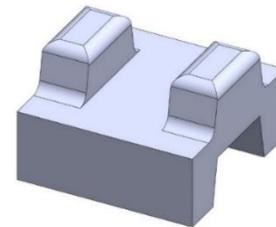


Abbildung 11: Darstellung Mengenbaustein

Durch die Anforderung eines dynamischen wie auch einfachen Aufbaus der Bestände, wird ein Stecksystem eingearbeitet. Das Stecksystem ermöglicht ein stabiles aufeinander stecken der einzelnen Mengenbausteine. Ebenfalls wird damit eine Schnittstelle zu den Figuren des Milkruns nach Abbildung 12, der Palette nach Abbildung 13 des Lagers nach Abbildung 14 zum Transport des Materials, Aufbau der Bestände und Materiallagerung erzeugt.

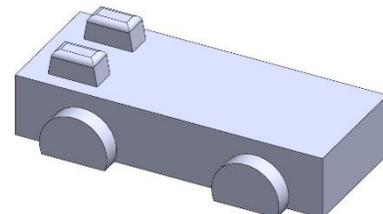


Abbildung 12: Darstellung des Milkruns

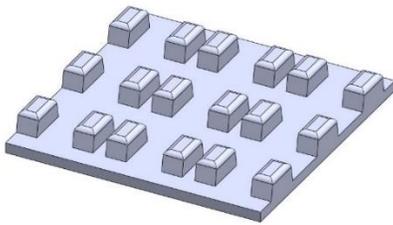


Abbildung 13: Darstellung der Lager-Palette

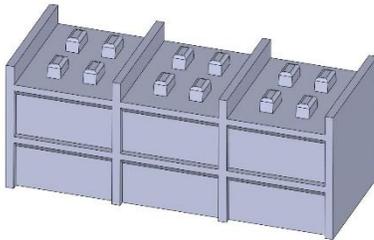


Abbildung 14: Darstellung Lager

Auf diese Weise kann ein Bestand entsprechend der beispielhaften Darstellung in Abbildung 15 und Abbildung 16 aufgebaut werden.

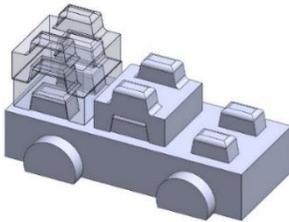


Abbildung 15: Darstellung des dynamischen Aufbaus der Bestände eines Milchruns

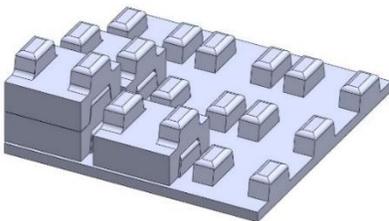


Abbildung 16: Darstellung des dynamischen Aufbaus der Bestände einer Palette

Des Weiteren wird eine Spielfläche im Grundriss einer Produktionsfläche erstellt. Der Grundriss ist entsprechend der Anforderungen des Planspiels mit einer rasterförmige Anordnung der Anlagenbereiche [3] realitätsnah gehalten und ist für ein DIN A0 Format entworfen.

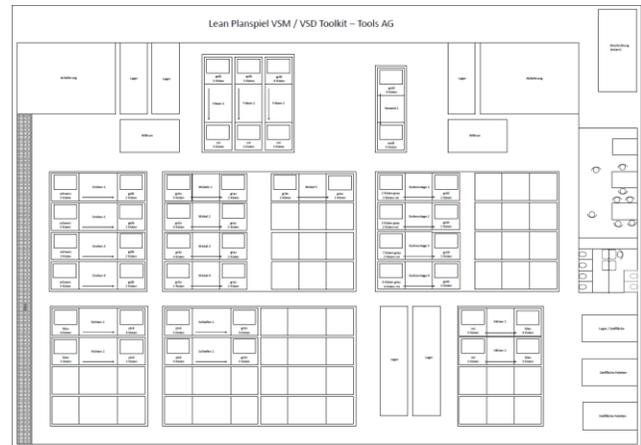


Abbildung 17: Darstellung der Spielfläche des Planspiels als Grundriss einer Produktionshalle mit definierten Bereichen zum Aufbau der Prozesse und Lagerstandorte

Zur Vereinfachung des Aufbaus des Planspiels sind die Bereiche der Spielfläche entsprechend der darauf angedachten Prozesse bzw. Figuren beschriftet. Durch eingebrachte Pfeile an den Prozessflächen wird die Durchlaufrichtung des Prozesses und damit der Standort der Bestände vor und nach dem Prozess verdeutlicht.

### III. Durchführung des Planspiels

Die Studierenden erhalten zur Durchführung des Planspiels neben der Aufgabenstellung eine Firmenbeschreibung, eine Produktionsplanung mit Produktionsprogramm und Volumenprofil der Kundenbestellung zum Folgejahres sowie eine Beschreibung der einzelnen Prozesse.

Durch das Einbringen des beschriebenen Szenarios muss die Produktion neu ausgelegt werden. Es entstehen im IST-Wertstrom verschiedene Probleme, die dazu führen, dass die Produktion dem zu erwartenden Kundentakt nicht weiter folgen kann. Anhand von vier Aufgaben werden die Studierenden schrittweise zur Aufnahme, Analyse und Lösung der Probleme herangeführt.

Die Erste Aufgabe des Planspiels besteht in der Erstellung des Wertstrom-Mappings. Dabei wird anhand der Prozessbeschreibung der IST-Wertstrom wie auch die Prozesskette mit der standardisierten Symbolik des Lean Managements nach erzeugt (vgl. Abbildung 1). In den Wertstrom ist weiter der Materialfluss, wie auch der Informationsfluss einzutragen. Zu diesem Zweck sind die aufgebauten Bestände vor und nach den Prozessen entgegen dem Wertstrom zu zählen. Dieses Vorgehen ermöglicht die Aufnahme des IST-Zustandes innerhalb der Produktion.

Zum Zählen der Bestände erhalten die Mengenbausteine einen Farbcode, entsprechend Tabelle 1.

Tabelle 1: Farbcode zur Erzeugung nicht passender Bestände

Farbcode	Einheiten pro Kiste
schwarz	2500
gelb	1275
rot	1200
blau	924
pink	800
grün	386
grau	127
gold	25
weis	3

Der Farbcode ist zu Beginn bewusst ungerade gewählt, sodass die Bestände nicht ineinander aufgehen können und stets ein Restbestand übrigbleibt. Im Idealen Zustand ist der Farbcode ein

Vielfaches voneinander, sodass die Bestände ineinander aufgehen können. Diese Erkenntnis soll von den Studenten erarbeitet und der Farbcode neu ausgelegt werden.

Die zweite Aufgabe verlangt die Berechnung der zentralen Kennwerte: prozessspezifische Overall Equipment Effectiveness (OEE), Every Part Every Interval (EPEI-Wert), den prozessspezifischen Produktionstakt (PT), die prozessspezifische Zykluszeit (ZZ) und den allgemeinen Kundentakt (DT) sowie den prozessspezifischen Kundentakt ( $DT_{\text{Prozess}}$ ). Über das vorgegebene Produktionsprogramm (vgl. Tabelle 2) und einer Prozessbeschreibung der einzelnen Fertigungsprozesse werden den Studierenden zur Berechnung benötigte Angaben der Prozessen und der Firmenorganisation übergeben.

Für den kritischen Kundenbedarf ist aus Abbildung 2 der Monat mit der höchsten Kundenbestellung pro Tag zu ermitteln. Für diesen Wert ist die Produktion auszulegen.

*Tabelle 2: Festgelegtes Produktionsprogramm mit Aufschlüsselung der Produktionskapazität auf die zu fertigende Varianten. Es ist ersichtlich, dass der Winkelschleifer als Rennerprodukt mit 50% der Kapazität hergestellt wird [2]*

Produktionsprogramm monatlich	Kundenaufträge [Stk]	Produktionszeit/Tag [h]	Arbeitszeit
Winkelschleifer (Renner)	26.562	8	50%
Motorausführung, 100V	6.641		
Motorausführung, 120V	6.641		
Motorausführung, 220V	13.281		
Bohrmaschine	13.281	4	25%
Motorausführung, 100V	3.320		
Motorausführung, 120V	3.320		
Motorausführung, 220V	6.641		
Schlaghammer	6.641	2	12,50%
Motorausführung, 100V	1.660		
Motorausführung, 120V	1.660		
Motorausführung, 220V	3.320		
Hobel	6.641	2	12,50%
Motorausführung, 100V	1.660		
Motorausführung, 120V	1.660		
Motorausführung, 220V	3.320		

Die Prozessbeschreibung enthält die jeweilige Bearbeitungszeit, Rüstzeit, Wartezeit, Verfügbarkeit der Maschine, Maschinenzuverlässigkeit, Anzahl der Maschinen und Mitarbeiter, Fehlerquote, Losgröße und Anzahl der zu fertigenden Varianten. Weiter werden die Prozesse in manuelle und maschinelle Prozesse unterscheiden. Maschinelle Prozesse weisen eine Mitarbeiterproduktivität von 100% auf, wohingegen manuellen Prozessen festgelegte prozentuale Werte besitzen. Weitere Werte wie die Schichtzahl, die Pausenzeit je Schicht, die Schichtwechselzeit wie auch die tägliche Arbeitszeit pro Schicht und die Kapazität des Renners sind in der Firmenbeschreibung enthalten.

Aus den gegebenen Werten der Bearbeitungszeit (CT) [Zeiteinheit] und der Anzahl an Maschinen (#Maschinen) [Stk] des Prozesses lässt sich die prozessspezifische Zykluszeit (ZZ) errechnen. Die Zykluszeit beschreibt dabei das Zeitintervall zum Durchlaufen eines Produktes durch einen Prozess [3].

$$ZZ = \frac{CT}{\#Maschinen} \quad (1)$$

Der OEE stellt eine Kennzahl zur Beschreibung der prozentualen Minderung im Leistungsgrad eines Prozesses oder Anlage dar [3]. Er wird aus dem Verhältnis der netto Produktionszeit zur geplanten Betriebszeit errechnet.

Die netto Produktionszeit entspricht der Zeit nach den Zeitverlusten der geplanten Wartungen und Pausen wie auch nach Verlusten der Verfügbarkeit, der Leistung und der Qualität des Prozesses. Die geplante Betriebszeit entspricht der Zeit nach geplanter Wartung und Pausen. Damit ergibt sich ein prozentualer Wert für die Verluste eines Prozesses.

$$OEE_{\text{Prozess}} = \frac{CT}{PT_{\text{wirklich}}} \quad (2)$$

Der EPEI-Wert entspricht dem Zeitraum der Rüstfolge, um alle Varianten in der jeweiligen Losgröße einmal zu durchlaufen [3]. Er ergibt sich aus die Anzahl an Varianten (#Var), der Losgröße (LOT) [Stk], der Bearbeitungszeit (CT) [Zeiteinheit/Stk], der Rüstzeit (c/o) [Zeiteinheit], der Anzahl an Ressourcen (#Res) der Verfügbarkeit [%] (V) und der täglichen Arbeitszeit [Zeiteinheit/Tag] (AZ).

Der EPEI-Wert dient der Erkennung von Flexibilitätsgaps im Wertstrom [3].

$$EPEI = \frac{\#Var * ((LOT * CT) + \frac{c}{o})}{\#Res * V * AZ} \quad (3)$$

Aus dem prozessspezifischen Produktionstakt wird ersichtlich, wie schnell ein Prozess produzieren muss, um dem Kundentakt folgen zu können. Dafür wird der prozessspezifische Kundentakt ( $DT_{\text{Prozess}}$ ) mit dem prozessspezifischen OEE ( $OEE_{\text{Prozess}}$ ) verrechnet.

$$PT_{\text{Prozess}} = DT_{\text{Prozess}} * OEE_{\text{Prozess}} \quad (4)$$

Der allgemeine Wert des Kundentaktes ergibt sich aus den Arbeitstagen (AT) [Tage/Jahr], der Schichtzahl [Stk], der Arbeitszeit (AZ) [Zeiteinheit/Tag] abzüglich den Standzeiten (SZ) [Zeiteinheit/Tag], dem Produktionszeitraum (PZ) [Monate/Jahr] und dem monatlichen Kundenbestellung (KB) [Stk/Monat].

$$DT = \frac{AT * \#Schicht * (AZ - SZ)}{PZ * KB} \quad (5)$$

Der prozessspezifische Kundentakt bildet sich dagegen aus der zur Verfügung stehenden Kapazität (Fak) [%], der zur Verfügung stehenden Zeit (AZ) [Zeiteinheit/Tag] und dem anfallenden Volumen (Vol) [Stk/Tag].

$$DT_{\text{Prozess}} = \frac{Fak * AZ}{Vol} \quad (6)$$

Weiter soll die Liegezeit als Wartezeit der Bestände vor den jeweiligen Prozessen errechnet werden.

$$Liegezeit = Bestand * DT_{\text{Prozess}} \quad (7)$$

Mit den Werten der Liegezeit und der Bearbeitungszeit wird die Zeitlinie (vgl. Abbildung 18) der Prozesskette gebildet [4].

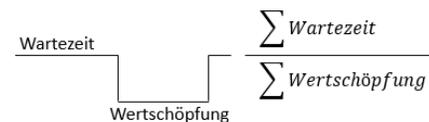


Abbildung 18: Darstellung der Zeitlinie

Die Zeitlinie wird unterhalb der Prozesse einer Fertigungsstraße in den Wertstrom aufgenommen und gibt die Durchlaufzeit eines Produktes durch die jeweilige Prozesskette an [1,4].

$$Durchlaufzeit = Wartezeit + Wertschöpfung \quad (8)$$

Anhand der errechneten Werte steht als dritte Aufgabe die Wertstromanalyse mit Erstellung eines Taktabstimmungsdiagramms an. Durch dieses Diagramm wird dem allgemeinen Kundentakt die prozessspezifischen Werte des Produktionstaktes und der Zykluszeit gegenübergestellt. Somit wird eine Transparenz der Produktion in vollem Umfang erzeugt. Es werden Produktionstakt- und Zykluszeitprobleme ersichtlich, woraufhin der jeweilige Prozess auf diese Probleme hin analysiert und optimiert werden kann. Weiter soll eine, für den Prozess sinnvolle Losgröße errechnet werden, um dem neuen Kundentakt folgen zu können.

$$LG_{Prozess} = \frac{c/o}{DT_{Prozess} - CT} \quad (9)$$

Die vierte Aufgabe beschäftigt sich mit der Neuauslegung des Wertstromdesigns. Es sollen für die erkannten Probleme entsprechende Lösungen gefunden und einen verbesserten SOLL-Wertstrom entwickelt und diskutiert werden. Die Vermittlung der Lösungsmöglichkeiten ist Bestandteil der Vorlesung und wird im Rahmen des Planspiels bedient.

#### IV. Ergebnisse

Die vorgegebene IST-Produktionsauslegung resultiert im dargestellten Taktabstimmungsdiagramm (vgl. Abbildung 19). Es sind klare Abweichungen der Prozesse zum Kundentakt zu erkennen.

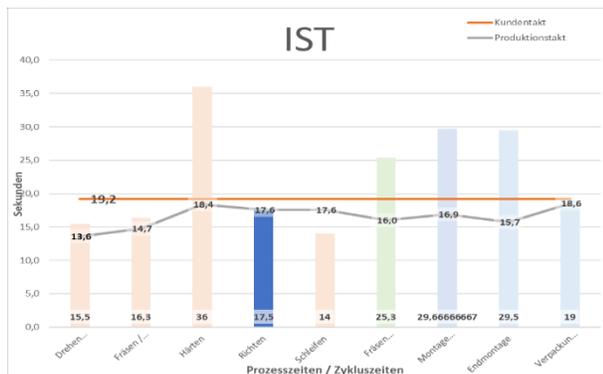


Abbildung 19: Taktabstimmungsdiagramm des Planspiels der vorgegebenen Produktion.

Die, durch das Planspiel-Szenario sich ergebenden Probleme der Produktion sind in Tabelle 3 aufgezeigt.

Tabelle 3: Auflistung der eingearbeiteten Probleme der IST-Produktionsauslegung

Prozess	Problem
Drehprozess	hohe Rüstzeit geringe Maschinenzuverlässigkeit
Fräsprozess	hohe Fehlerquote
Härteprozess	geringe Kapazität durch fehlende Maschinen
Richtprozess	hohe Rüstzeit
Fräsprozess-Gehäuse	hohe Rüstzeit hohe Bearbeitungszeit
Montage Motor	hohe Rüstzeit geringe Kapazität durch fehlende Maschine
Endmontage	hohe Rüstzeit niedrige Mitarbeiterproduktivität geringe Kapazität durch fehlende Mitarbeiter

Werden diese Probleme behoben ergibt sich in Abbildung 20 dargestelltes Taktabstimmungsdiagramm.

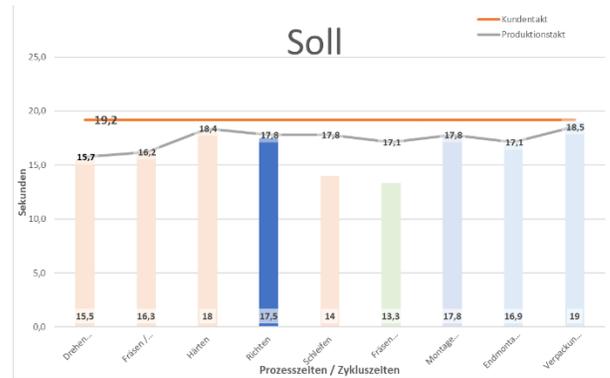


Abbildung 20: Taktabstimmungsdiagramm nach Lösung der Probleme. Als Resultat sind die Prozesse in der Lage dem Kundentakt zu folgen

#### V. Fazit und Ausblick

Die Wertstromarbeit gliedert sich in die verschiedenen Schritte der Aufnahme, Analyse und Optimierung, welche durch die vorgegebenen Aufgaben in ihrem Ablauf aufgegriffen werden. Durch die Möglichkeit eines dynamischen Aufbaus der Bestände mithilfe eines Stecksystems der Figuren und der damit einhergehenden Möglichkeit die Bestände der Produktion des Planspiels beliebig zu verändern ist das erstellte Planspiel in seiner Auslegung flexibel.

Das Planspiel ist dabei auf eine Spieldauer ausgelegt, die einen Vorlesungsblock von 1,5 Stunden nicht überschreitet.

Anhand des erstellten Planspiels wird das Vorgehen bei einer Wertstromarbeit vermittelt. Es bietet den Studierenden die Möglichkeit dieses Themengebiet spielerisch kennenzulernen und erlerntes Wissen praktisch umzusetzen. Da das Planspiel bisher nur theoretisch ausgearbeitet ist und noch keine praktischen Erfahrungswerte zu verzeichnen hat, müssen konkrete Lernerfolge bei den Studierenden noch erprobt werden.

Der hohe Aufwand hinsichtlich der Herstellung von benötigten Druckteilen ist an dieser Stelle zu kritisieren. Durch die 1:1-Abbildung der vorgegebenen Produktion mit darin enthaltener Anzahl der Anlagen entsteht eine hoher Bestand an gedruckten Figuren und ein hoher Aufwand bei der Erstellung der benötigten Druckteile. Eine Zusammenfassung der Maschinenanzahl eines Prozesses auf eine aufzubauende Anlage wäre in dieser Hinsicht denkbar.

#### VI. Literatur

- [1] A. Lindner and I. Richter, „Wertstromdesign“, Hanser, München, 2019
- [2] L. Weber, „Entwicklung eines Wertstrom-Trainingssystem, Bachelor-Thesis, Hochschule Furtwangen University, 31.08.2021
- [3] K. Erlach, „Wertstromdesign: Der Weg zur schlanken Fabrik“, Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg, 2020
- [4] Prof. Dr.-Ing. J Friedrich, „Lean Management“, Skript, Hochschule Furtwangen University, 01.2021