
Wahlfach: Fertigungstechnik

Übung F

Demo: Optimierung eines flexiblen Fertigungssystems (FFS) durch Simulation

Zoltán Sárosi

sarosi@iwf.mavt.ethz.ch

CLA F 34.2



ETH

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

1/29

IWF

Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigung
Institute of Machine Tools and Manufacturing

Definition: Simulation

Simulation ist das Nachbilden eines dynamischen Prozesses in einem System mit Hilfe eines experimentierfähigen Modells, um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind.

Quelle: VDI Richtlinie 3633 - Blatt 1



ETH

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

IWF

Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigung
Institute of Machine Tools and Manufacturing

Vorteile von Simulationsmodellen

Im Vergleich zu analytischen Methoden:

- Untersuchung von komplexen Systemen
- Wesentlich höheren Grad an Realitätsnähe ohne vereinfachende Annahmen über Verteilungen, Zufälligkeit oder Unabhängigkeit.
- Flexible Sensitivitätsuntersuchungen bezüglich der angenommenen, statischen Verteilungen
- Mathematisch weniger schwierig als die Verwendung von analytischen Ansätzen.
- Anschauliche Darstellung des Systemverhaltens, weil die zeitliche Entwicklung des Systemzustandes Schritt für Schritt nachvollzogen wird.

Quelle: P. Acél



ETH

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

IWF

Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigung
Institute of Machine Tools and Manufacturing

Wann ist eine Simulation sinnvoll und notwendig?

- Wenn Untersuchungen und Experimente am System nicht möglich sind, weil
 - Zu sensibel
 - Zu gefährlich
 - Zu teuer
 - Nicht zugänglich oder nicht real existent
 - Anderer, nicht direkt experimentell erfassbarer Zeitmassstab
- Analytische Methoden sind nicht möglich
- Wenn auf einem Fachgebiet Neuland beschritten wird.
- Komplexe Wirkungszusammenhänge überfordern die menschliche Vorstellungskraft

Quelle: P. Acél



ETH

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

IWF

Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigung
Institute of Machine Tools and Manufacturing

Vorgehen in der Simulationsanwendung

1. Situationsanalyse
2. Zielformulierung
3. Problemabgrenzung
4. Versuchsplanung
5. Modellkonzeption
6. Datenerhebung
7. Modellerstellung
8. Verifizierung
9. Validierung
10. Variation
11. Optimierung
12. Interpretation
13. Dokumentation
14. Umsetzung



ETH

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

IWF

Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigung
Institute of Machine Tools and Manufacturing

Flexibles Fertigungssystem



ETH

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

6/29

IWF

Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigung
Institute of Machine Tools and Manufacturing

Problemstellung

Sie wurden gerade zum neuen Werkstattdirektor der Firma ABC Turbo Systems AG ernannt. Diese Fabrik produziert Abgasturboolader, die z.B. im Schiffbau, im Lokomotivbau oder in stationären Generatoranlagen zur Stromerzeugung eingesetzt werden.

Sie werden mit folgenden Problemen konfrontiert:

- schlechte Lieferfähigkeit,
- zu lange Lieferfristen,
- veralteter Maschinenpark
- unsynchronisierte Fertigung.



ETH

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

IWF

Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigung
Institute of Machine Tools and Manufacturing

Problemstellung

Ihr Vorgänger hat bereits Verbesserungen vorgenommen, unter anderem die Anlage umgebaut und mit einem induktiven Transportsystem (FTS) versehen. Trotzdem wurden nur geringe Verbesserungen in Hinsicht der genannten Probleme erzielt.

Nach den Ergebnissen einer Projektarbeit könnte die Firma aber die dreifache Menge von Turboladern am Markt absetzen.

Sie erhalten daher die Aufgabe, das FFS mit vertretbarem finanziellen Aufwand derart zu verbessern, dass eine **Durchlaufzeitverkürzung auf mindestens 1/3 der Zeit**, gültig von Rohteillager (RTL) bis Fertigteillager (FTL) bei gleichzeitiger **Verdoppelung des Ausstosses** erreicht wird.



ETH

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

IWF

Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigung
Institute of Machine Tools and Manufacturing

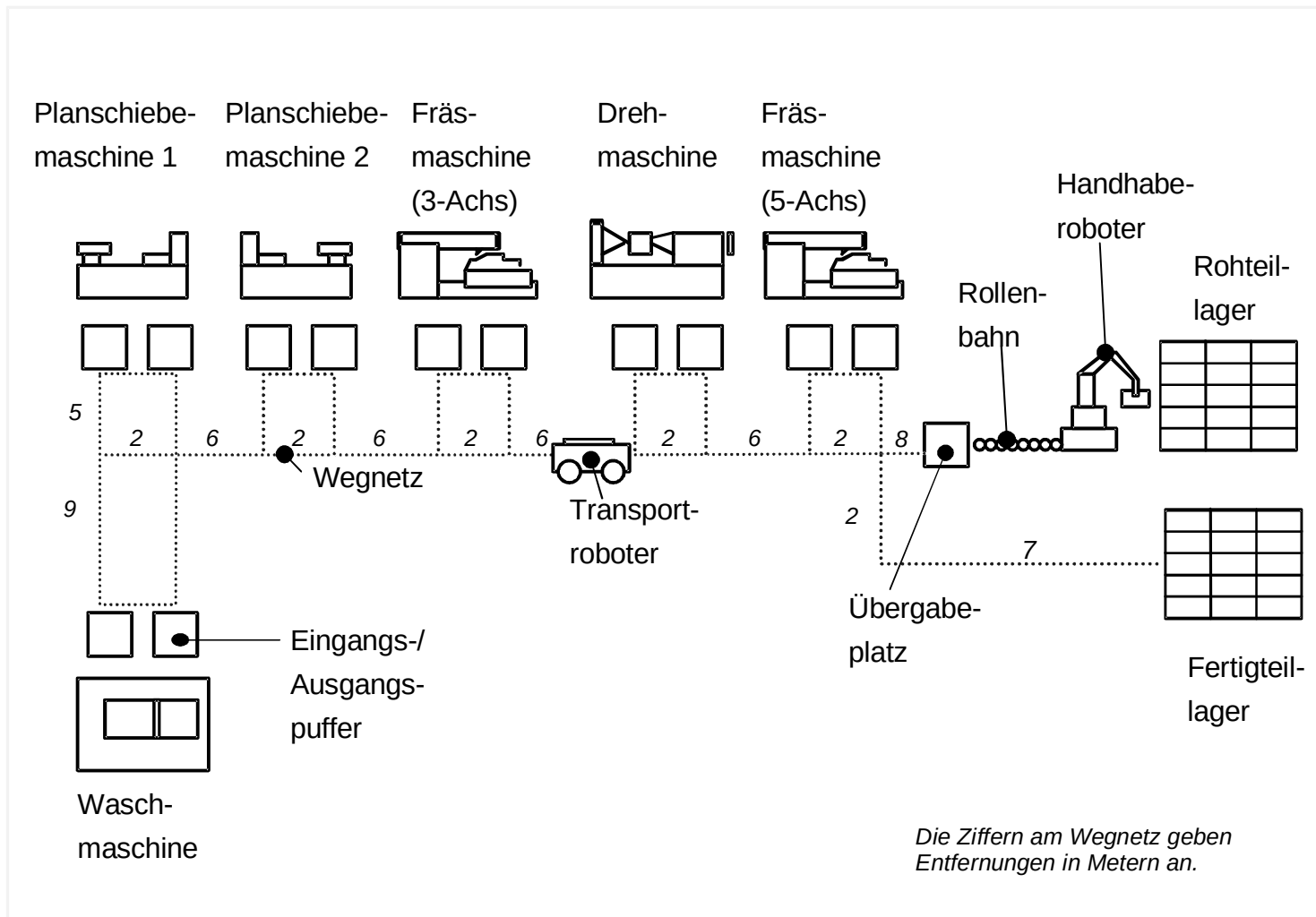
Problemstellung

In einer vorangegangenen Studie wurde weiterhin ermittelt, welche Massnahmen zur Verbesserung prinzipiell technisch möglich wären, welchen Nutzen diese hätten und welche Kosten damit verbunden sind. Die Ergebnisse dieser Studie wurden in einem Massnahmenkatalog zusammengestellt.

Das Instrument der computerunterstützten Simulation wird zur Lösungsfindung benutzt werden.

In die Kostenrechnung fliessen lediglich die statischen Anschaffungs- und Umstellungskosten ein. In der Ergebnistabelle sind die Kosten auf ein Jahr abzuschreiben.

Ist-Situation Layout



ETH

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

IWF

Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigung
Institute of Machine Tools and Manufacturing

Produkte

Es werden ausschliesslich die drei Gehäusetypen “7002”, “7003” und “7004” gefertigt.

Die Rohteile für die Gehäuse werden in folgendem Rhythmus aus dem RTL in das System eingeschleust:

- 7002: alle 50.0 Minuten (erstmals zum Zeitpunkt 0.0),
- 7003: alle 60.0 Minuten (erstmals zum Zeitpunkt 17.0) und
- 7004: alle 70.0 Minuten (erstmals zum Zeitpunkt 31.0).

Arbeitsplan

Operation Produkt	Hand	Plan1	Plan2	Fräs3A	Fräs5A	Wasch	Dreh
Gehäuse Typ 7002	●	●	●			●	●
Gehäuse Typ 7003	●			●	●	●	●
Gehäuse Typ 7004	●			●		●	●
Operationszeit in Minuten (für alle Produkte gleich)	2.5	40.0	21.0	42.0	14.0	12.0	15.0



ETH

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

IWF

Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigung
Institute of Machine Tools and Manufacturing

Zusätzliche Inputs

Rollerbahn:

Kapazität: 10 Stück

Länge: 10 m

Durchschn. Geschw.: 2.8 m/min

FTS:

Durchschn. Geschw.: 25 m/min

Durchschn. Be- und Entladezeit: 1.0 min

Zeitsteuerung:

1 Jahr = 250 Tage; 1 Tag = 2 Schichten;

1 Schicht = 480 Minuten



ETH

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

IWF

Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigung
Institute of Machine Tools and Manufacturing

Aufgaben

- Engpässe finden mit Hilfe der Simulation
 - Ergebnisse verifizieren mittels statischer Berechnung
 - Auswirkungen der einzelnen Massnahmen analysieren
 - Die optimale Lösung finden:
 - DLZ auf 1/3 senken
 - Ausstoss exakt* im Teilmix verdoppeln
 - finanzielles Optimum finden
 - Die Ergebnisse begründen
- *) übrige Teile verursachen Entsorgungsgebühren von 1'000 CHF



ETH

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

IWF

Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigung
Institute of Machine Tools and Manufacturing

Massnahmenkatalog – Teil I.

Nr.	Massnahme	Änderung im Modell	Nutzen	Kosten)* CHF
1	Einführung 2 1/2-Schicht-Betrieb	Änderung der Tagesverfügbarkeit	Erhöhung des Durchsatzes	80.000
2	Anschaffung zusätzlicher Fahrzeuge	Einsatz eines weiteren FTS	Erhöhung der Transportkapazität	je 200.000
3	Flexibleres Einstellen des Teileausstosses am RTL durch ein neues Regalbediengerät	Änderung aller Zwischenankunftszeiten (Senkung auf 35 Min. möglich)	Flexibleres Einstellen des Teileausstosses	180.000
4	Erhöhung der Geschwindigkeit des Handhabungsroboters durch Einbau neuer Motoren	Änderung der Operationszeit von 2,5 auf 1,5 Min	Geschwindigkeitserhöhung	40.000
5	Erhöhung der Geschwindigkeit der Rollenbahn durch neue Motoren	Änderung der Geschwindigkeit von 2.8 auf 4.0 m/Min	Geschwindigkeitserhöhung	6.000
6	Verbesserung einer Planschiebemaschine durch neue Werkzeuge und Spannvorrichtungen	Änderung der Operationszeiten von 21.0 Min auf 12.5 Min bzw. von 40.0 Min auf 24 Min	Geschwindigkeitserhöhung	je 80.000

)* In der Kostenrechnung sind lediglich die Anschaffungs- und Umstellungskosten berücksichtigt. Änderungen, die nicht voll ausgenutzt werden, werden bezüglich der Kosten voll angesetzt



ETH

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

IWF

Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigung
Institute of Machine Tools and Manufacturing

Massnahmenkatalog – Teil II.

7	Verbesserung einer Fräsmaschine durch neue Motoren und Spannvorrichtungen	Änderung der Operationszeit: Fraes3A auf 25.0 Min Fraes5A auf 8.0 Min	Geschwindigkeitserhöhung	je 100.000
8	Verbesserung der Waschmaschine durch Einbau eines neuen Motors	Änderung der Operationszeit auf 9.5 Min	Geschwindigkeitserhöhung	60.000
9	Verbesserung der Drehmaschine durch neue Werkzeuge und Spannvorrichtungen	Änderung der Operationszeit auf 4.5 Min	Geschwindigkeitserhöhung	180.000
10	Zusätzliche 3-Achs-Fräsmaschine	Neue Maschine mit Operationszeit 25.0 Min	Kapazitätserhöhung	520.000
11	Zusätzliche Waschmaschine	Neue Maschine mit Operationszeit 12.0 Min	Kapazitätserhöhung	140.000
12	Neues Layout	Umplatzierung einer/mehrerer Maschinen	Kürzere Wege für FTS	je 20.000

)* In der Kostenrechnung sind lediglich die Anschaffungs- und Umstellungskosten berücksichtigt. Änderungen, die nicht voll ausgenutzt werden, werden bezüglich der Kosten voll angesetzt.



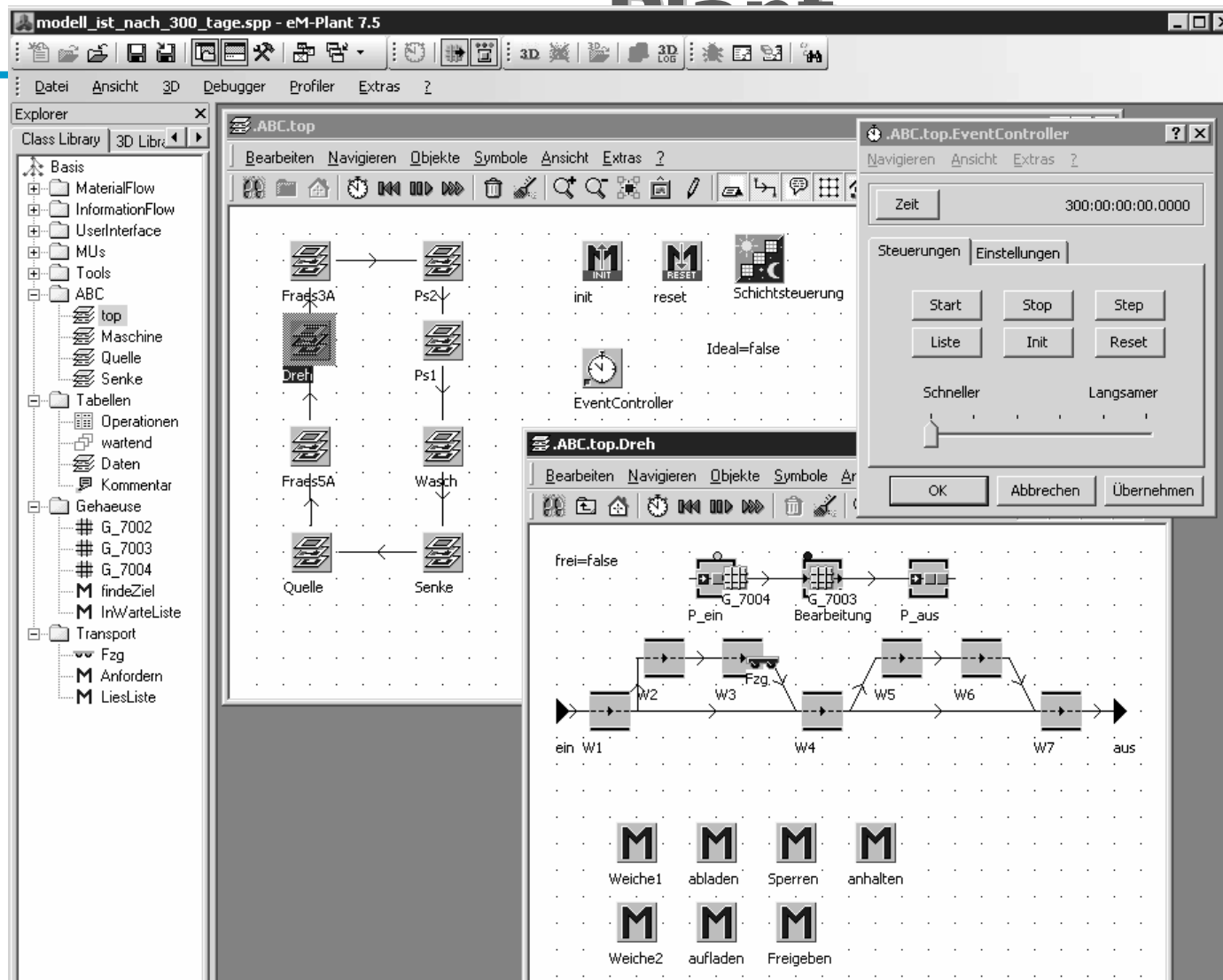
ETH

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

IWF

Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigung
Institute of Machine Tools and Manufacturing

Simulationsmodell in eM-Plant



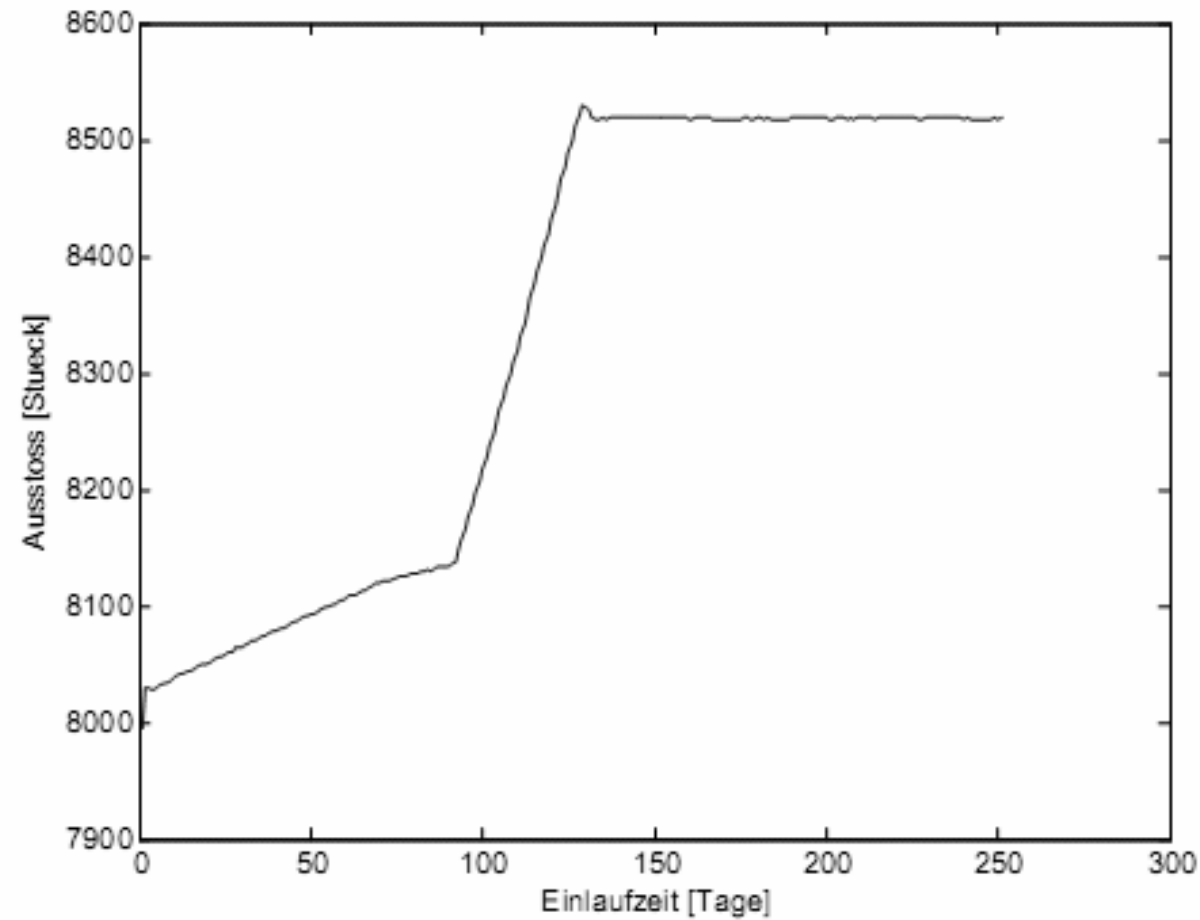
ETH

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

IWF

Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigung
Institute of Machine Tools and Manufacturing

Einlaufzeit



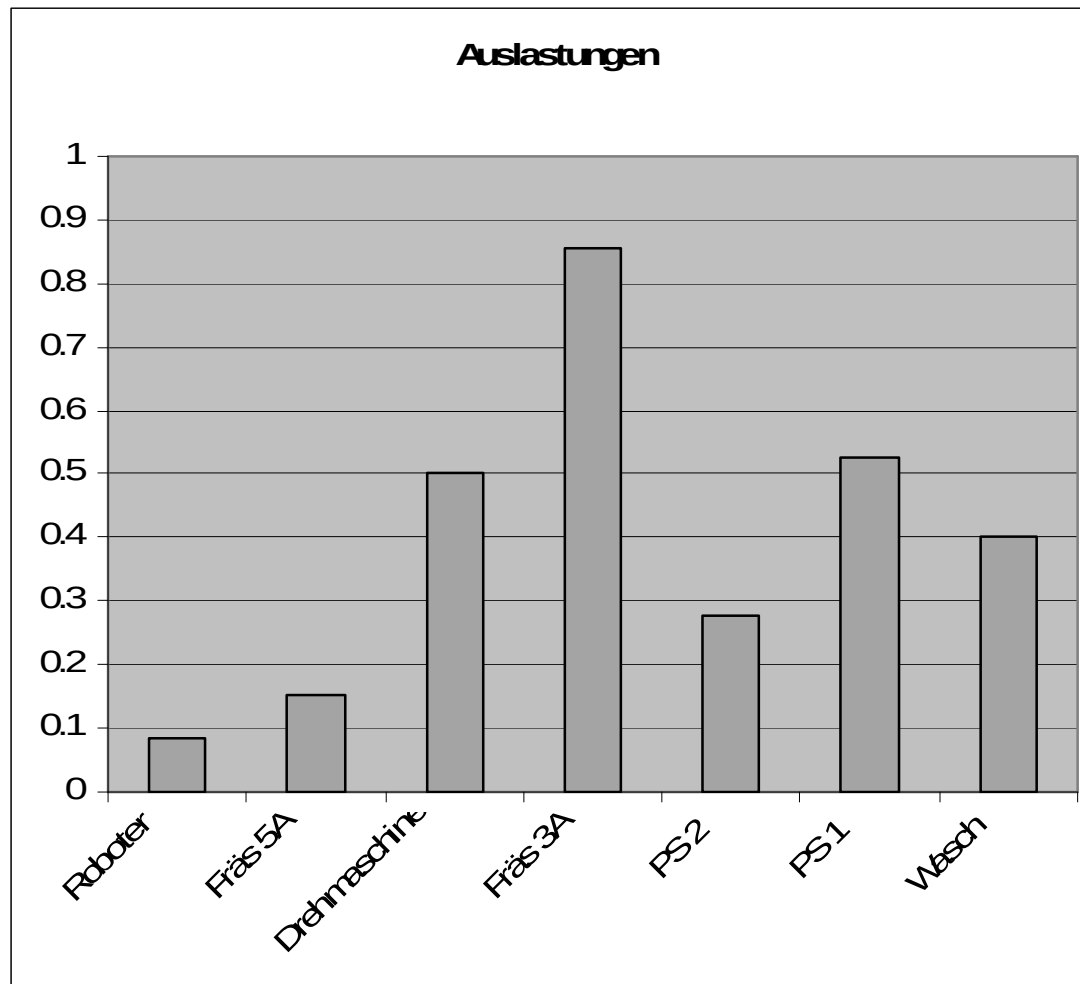
ETH

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

IWF

Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigung
Institute of Machine Tools and Manufacturing

Aufgabe 1: IST-Situation, Engpässe finden



Offensichtlicher Engpass:
3 Achs Fräsen

Häufige Blockaden von
Maschinen lassen es
vermuten, dass FTS
ebenfalls ein Engpass ist



ETH

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

IWF

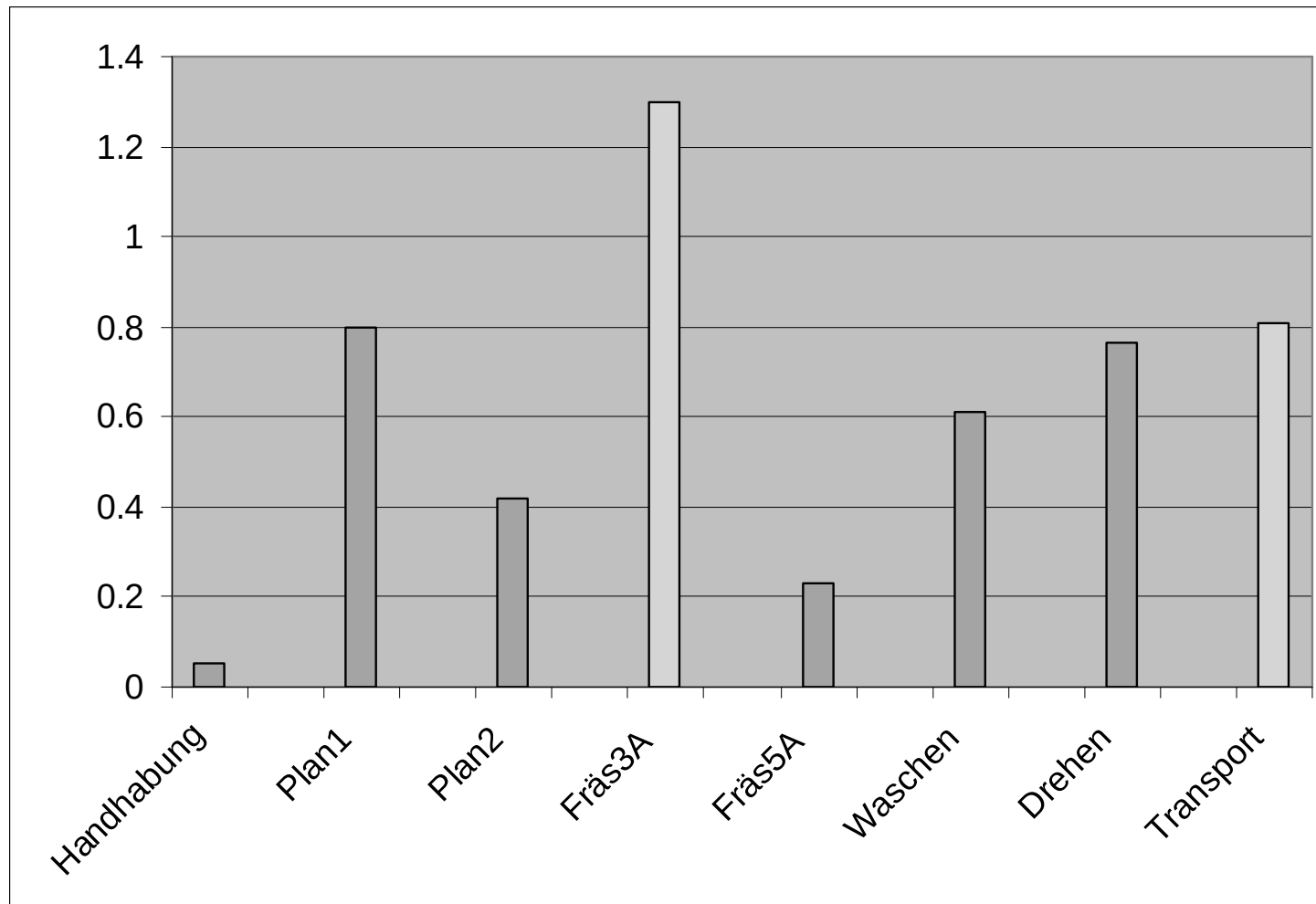
Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigung
Institute of Machine Tools and Manufacturing

Statische Berechnung

Übung 2: Verbesserung eines flexiblen Fertigungsstatistisch IST																	
Operation	Einlastung Istzustand Zwischenankunftszeit min	Faktor	Einlastung effektiv Zwischenankunftszeit min	Einlastung, Ankunftsrate	Handhab	Plan1	Plan2	Fräs3A	Fräs5A	Waschen	Drehen	Transport	Durchlaufzeit erstes Teil				
In Rahmen: Operationszeit pro Teil und Station in min/std																	
Produkttyp																	
Gehäuse Typ 7002	50	1	50	1.2	1	3	1 48	1 25.2	0	0	1 14.4	1 18	1 20.64	107.7			
Gehäuse Typ 7003	60	1	60	1	1	0.127	0	0	1 42	1 14	1 12	1 15	1 17.2	102.7			
Gehäuse Typ 7004	70	1	70	0.86	1	0.109	0	0	1 36	0	1 10.28571	1 12.857	1 10.71429	84	<Anm. Kor!		
Operationszeit pro Teil und Station in min, 7002						2.5	40	21	42	14	12	15	17.2				
Operationszeit pro Teil und Station in min, 7003						2.5	40	21	42	14	12	15	17.2				
Operationszeit pro Teil und Station in min, 7004						2.5	40	21	42	14	12	15	12.5				
Operationszeit total pro Station in min pro Stunde						3.237	48	25.2	78	14	36.68571	45.857	48.55429				
Auslastung						0.054	0.8	0.42	1.3	0.233	0.611429	0.7643	0.809238				
Anzahl Sc	2																
Schichtda	8																



Verifizierung durch statische Berechnung



ETH

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

IWF

Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigung
Institute of Machine Tools and Manufacturing

Auswirkungen der Massnahmen I.

- 1.) 2.5 Schichtbetrieb: Erhöhung des Ausstosses, kürzere DLZ
- 2.) Zusätzliche Fahrzeuge: weniger Blockaden, kürzere DLZ und mehr Ausstoss
- 3.) Zwischenankunftszeiten genau Einstellen -> Teilmix halten
- 4.) Roboter ist kein Engpass -> kein Verbesserungspotenzial
- 5.) Rollenbahn ist ebenfalls kein Engpass
- 6.) Die Planschiebemaschinen werden nur für einen Gehäusotyp verwendet, und sind keine Engpässe



ETH

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

IWF

Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigung
Institute of Machine Tools and Manufacturing

Auswirkungen der Massnahmen II.

7.) Da die 3A-Fräsmaschine ein Engpass ist, steckt ein mögliches Verbesserungspotenzial drin. Der Eingangspuffer ist oft geblockt. Grösste Einzelbearbeitungszeit.

Die 5A-Fräsmaschine ist aber kein Engpass und ist nur für ein Produkt nötig.

8.) Die Waschmaschine ist kein Engpass, eine Verbesserung bringt nur wenig.

9.) Die Drehmaschine hat eine kurze Bearbeitungszeit, sie blockiert ihren Eingangspuffer nicht, sie ist kein Engpass.

10.) siehe 7.), es ist einfach viel teurer

11.) siehe 8.)

12.) Die Layoutänderung bringt nicht viel, da das FTS immer eine ganze Runde machen muss.



ETH

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

IWF

Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigung
Institute of Machine Tools and Manufacturing

Bilanz der Ist-Situation

Ergebnistabelle IST-Situation

Produkt	var. Kosten [kCHF]	Erlös [kCHF]	Deckungsbeitrag/Teil [kCHF]	Teile/Tag	Teile/Jahr	Prozent vom ganzen Ausstoss [%]	Deckungsbeitrag pro Jahr [kCHF]	Durschn. DLZ			
								[Tage]	[Stunde]	[Min.]	[Sek.]
7002	8	12	4	12.684	3171	39.25%	12684	98	21	29	4
7003	12	22	10	10.576	2644	32.72%	26440	100	22	8	41
7004	19	28	9	9.06	2265	28.03%	20385	100	9	9	47
					8080			99	23	24	32
					Summe:		59509				
Einlaufzeit [Tage]			50		Fixkosten:		-18600				
Simulationslaufzeit [Tage]			300		Bilanz:		40909				



Bilanz der optimalen Lösung

Ergebnistabelle der optimalen Lösung											
Produkt	var. Kosten [kCHF]	Erlös [kCHF]	Deckungs-Beitrag/Teil [kCHF]	Teile/Tag	Teile/Jahr	Prozent vom ganzen Ausstoss [%]	Deckungs-Beitrag pro Jahr [kCHF]	Durschn. DLZ [Tage] [Stunde] [Min.] [Sek.]			
7002	8	12	4	25.368	6342	39.24%	25368		3	32	43
7003	12	22	10	21.156	5289	32.73%	52890		3	3	10
7004	19	28	9	18.12	4530	28.03%	40770		2	41	21
					16161				3	8	38
					Summe:		119028				
Änderung im Ausstoss [%]:			100.01%		Fixkosten:		-18600				
Änderung in der DLZ [%]:			-99.87%		Bilanz:		100428				
Massnahmen: 2.5 Schicht + FFS + RTL + 3A-Fräsmasch.					Masnahme-kosten		- 560				
Einlaufzeit [Tage]:			50		Gesamt-bilanz:		99868				
Simulationslaufzeit [Tage]			300								



Begründung I.

1. Verbesserung der 3-Achs Fräsmaschine:

- Hohe Auslastung in Ist-Situation
- Eingangspuffer oft geblockt
- -> Engpass
- Kürzere Bearbeitungszeit ist nötig
- Verbesserung reicht, keine zusätzliche Maschine notwendig.



ETH

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

IWF

Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigung
Institute of Machine Tools and Manufacturing

Begründung II.

2. Einführung eines zusätzlichen FTS:

- Die Ausgangspuffer sind in der Ist-Situation oft voll, was die Maschinen blockiert
- Schnelleren Abtransport der Teile würde damit ermöglicht

3. 2.5 Schicht-Betrieb

- Durch längere Arbeitszeit könnte die Produktion bei der 3-A Fräsmaschine verdoppelt werden. Somit wäre keine zusätzliche 3-Achs Fräsmaschine nötig -> günstigere Lösung

Keine weiteren Massnahmen sind für die Erhöhung der Produktivität nötig.



ETH

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

IWF

Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigung
Institute of Machine Tools and Manufacturing

Begründung III.

4. Teilausstoss aus dem RTL ändern:

- Weil zu viele Teile vom Lager ausgeliefert werden, müssen die Zwischenankunftsintervalle erhöht werden.
- Bei genauer Einstellung des Teil-Mixes können die Entsorgungsgebühren der übrigen Teile reduziert werden.



ETH

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

IWF

Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigung
Institute of Machine Tools and Manufacturing

Empfohlene Literatur

- Acél P. 2007: „Betriebliche Simulation von Produktionsanlagen“, Vorlesungsunterlagen IWF ETH, Zürich
- Acél P., Hrdliczka V. 1996: „Simulation in der Produktion“, Vorlesungsunterlagen BWI ETH, Zürich
- VDI Richtlinie 3633-Blatt 1
- Handbuch von eM-Plant



ETH

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

IWF

Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigung
Institute of Machine Tools and Manufacturing