

Grenzleistungsbestimmung einer Förderanlage durch Simulation

Erschienen: Das Systems Engineering Case-Book,
Verlag Industrielle Organisation von Rainer Züst/Peter Troxler (Hrsg.)
Technica – Nr. 21 Oktober 2002
Verfasser: Veronika Hrdliczka und Peter P. Acél, Dr. sc. techn. ETH

In einem Logistikzentrum kommt es in der Förderanlage am späten Nachmittag zu Staus und ein nicht eruiertbarer »deadlock« (Selbstblockade) blockiert die ganze Anlage. Dies – nach Systems Engineering als »Anstoss« aufzufassen – führt zu einer Vorstudie innerhalb der Firma und zu dem Entschluss, einen externen Berater beizuziehen.

Da man in der folgenden Hauptstudie vermutet, dass der Stau mit der Kapazität der Anlage zusammenhängt, werden Engpässe und Grenzleistung der Anlage untersucht. Das Besondere an dieser hier beschriebenen Aufgabe in Bezug auf die Systems Engineering ist die Einbindung der ereignisorientierten Simulation als Werkzeug in den Problemlösungszyklus. Zusätzlich wird gezeigt, wie die Systems Engineering in der Ingenieurausbildung an der ETH Zürich zum Tragen kommt.

Dieses Beispiel baut grösstenteils auf der Semesterarbeit von André Gisler auf und wurde von Veronika Hrdliczka sowie Peter P. Acél, der die Semesterarbeit betreute, überarbeitet.

Dead Lock! Simulation der Grenzleistung einer Förderanlage

Vom Anstoss zu einer Simulationsaufgabe

Es gibt verschiedenste Möglichkeiten, die einzelnen Komponenten einer Förderanlage aufzubauen bzw. positionieren. Die verschiedenen Varianten und Betriebszustände zu beurteilen, ist entsprechend aufwendig und bedarf einer methodischen Unterstützung. Aufgrund der Anzahl beteiligten Komponenten wird das Erstellen und Beurteilen so komplex, dass es das menschliche Vorstellungsvermögen übersteigt. So entschloss sich daher der Betriebsleiter, gemeinsam mit Peter P. Acél als externem Berater das Werkzeug »Simulation« zur Untersuchung einzusetzen und damit für bestimmte Varianten die Leistungsgrenzen und die Engpässe der Anlage aufzuzeigen. Peter P. Acél ist wie Veronika Hrdliczka Dozent an der ETH Zürich für Simulation in Produktion und Logistik. Die Aufgabe wurde als Semesterarbeit im Studiengang Betriebs- und Produktionswissenschaften an der ETH Zürich dem Studenten André Gisler gestellt. Zur Lösung dieser Arbeit sollte er die Methodik System Engineering anwenden, die zuvor im Rahmen des obligatorischen Unterrichts vermittelt worden war.

Die Simulation unterstützt innerhalb des Problemlösungszyklus vorrangig die Teile Lösungssuche und Auswahl. Sie soll die unterschiedlichen Lösungen und deren Eigenschaften zeigen und die Voraussetzungen schaffen, von den tauglichen Varianten die geeignetsten auszuwählen. Erwartet werden konkrete Vorschläge, wie die »dead locks« künftig vermieden werden können.

SE-Hinweis:

In der vorliegenden Studie geht es um die Ausarbeitung von Detailkonzepten. Die Simulationsaufgabe entspricht also einer Detailstudie. Das Schwergewicht im Rahmen des Problemlösungszyklus liegt auf der Konzeptanalyse und Konzeptsynthese. Die Simulation unterstützt die Analyse von Lösungen und teilweise auch die

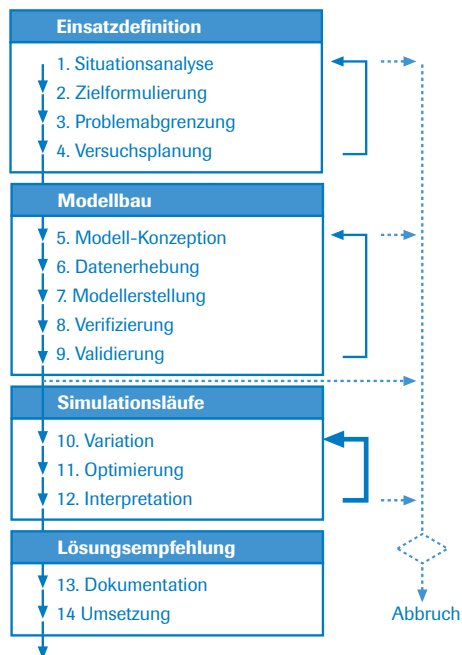


Bild 1 Vorgehen in der Simulationsanwendung

Herleitung zusätzlicher Varianten. Das Vorgehen in der Simulationsanwendung lässt sich in vier Hauptschritte mit mehreren Teilschritten gliedern.

André Gisler hielt sich weitgehend an den Vorgehensraster, der in [Bild 1] dargestellt ist. Im Folgenden werden die einzelnen Schritte beschrieben.

SE-Hinweis:

In den verschiedenen Fachdisziplinen haben sich spezifische Planungsabläufe etabliert. Viele davon haben Ähnlichkeiten mit dem Problemlösungszyklus bzw. sind von diesem abgeleitet worden.

1. Situationsanalyse

Zum Zeitpunkt der Analyse werden im Hochregallager des Verteilungszentrums 30.000 Palettenplätze automatisch verwaltet. Über 1.500 Paletten werden täglich auf dieser Anlage bewegt. Insgesamt sind rund 40 Personen beschäftigt. Das Lager enthält permanent 5.000 verschiedene Artikel mit einem Gesamtgewicht von ca.

12.000 Tonnen. In der ganzen Schweiz werden täglich etwa 500 Kunden auf über 20 Liefer Routen per LKW versorgt, in den Grossräumen Basel und Zürich täglich sogar zweimal. Während der Wareneingang je zur Hälfte per Bahn und LKW abgewickelt wird, erfolgt der Warenausgang zu 99 Prozent per LKW. Der Rest wird per Post verschickt.

Regelmässig kommt es zwischen 16.00 Uhr und 19.00 Uhr zu Staus und somit zum Stillstand der Förderanlage. Die Mitarbeiter an den Kommissionierplätzen müssen warten, obwohl noch Aufträge zu bearbeiten wären. Da mit einer Zunahme von Aufträgen gerechnet wird, muss dieser Missstand unbedingt behoben werden.

Die Aufgabe lautet somit: Der Warenfluss soll auf der bestehenden Förderanlage anhand der erarbeiteten Simulationsvarianten untersucht werden. Verschiedene Varianten und Strategien müssen geprüft werden, um die Leistungsgrenzen der Anlage zu erhöhen. Im Weiteren sollen drei Varianten zur bestehenden Förderanlage erarbeitet werden, wobei jeweils Engpässe in der Förderanlage, Leistungsgrenzen und weitere Potenziale im Hinblick auf die Erhöhung der Leistungsgrenzen gründlich zu untersuchen sind.

Auch allgemeine Aufschlüsse über die Förderanlage erhofft man sich von der Simulation der bestehenden Förderanlage, beispielsweise über die Entstehung von Staus.

1.1 Das System und sein Umfeld

Nach dem SE-Grundsatz »vom Überblick zur Detailbetrachtung« wurde das zu untersuchende System analysiert und in verschiedene Hierarchie-Ebenen eingeteilt. [Bild 2] zeigt als oberste Hierarchie-Ebene das System und sein Umfeld.

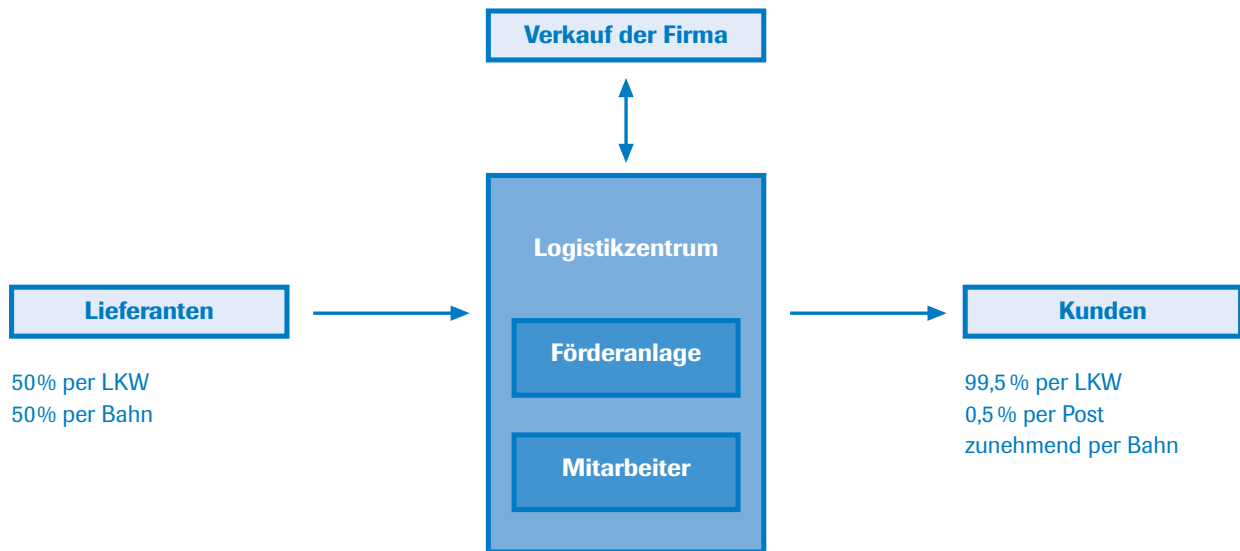


Bild 2 Das System und sein Umfeld

In [Bild 3] wurde auf der nächsttieferen Ebene die Förderanlage innerhalb des Logistikzentrums beschrieben.

Förderanlage

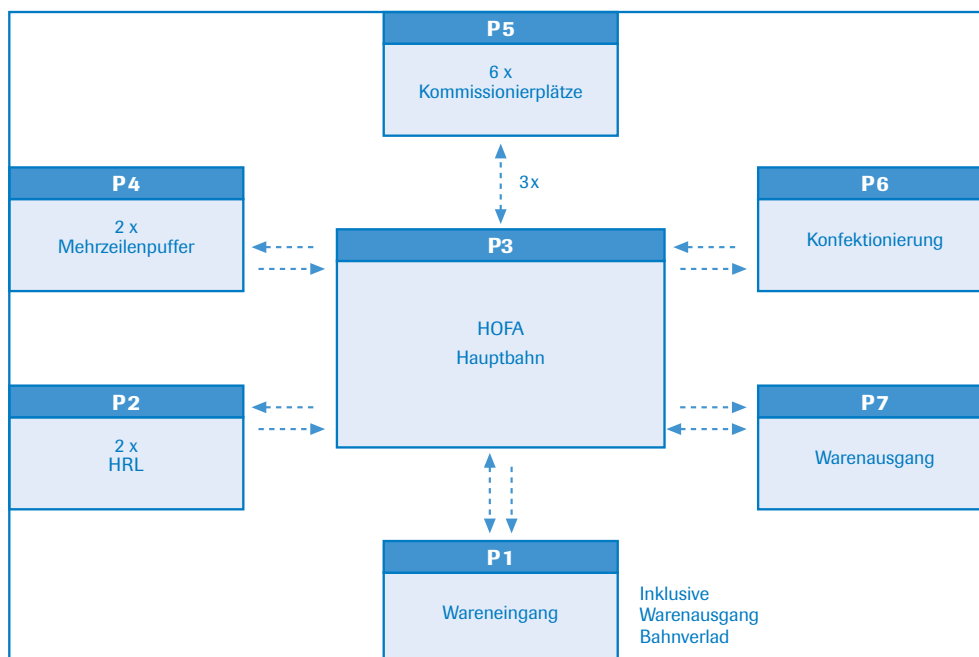


Bild 3 Systemebene »Förderanlage«

SE-Hinweis:

Die Modellbildung erfordert weitgehende Abstraktion der Realität. Modelle dienen dazu, die wichtigsten Untersuchungsgegenstände zu spezifizieren, in unserem Beispiel die einzelnen Komponenten der Förderanlage und deren Beziehungen zueinander. Gleichzeitig unterstützen Modelle die Kommunikation zwischen Projektteam und Auftraggebern.

1.2 Einflussgrößen-Analyse

In einem nächsten Schritt wurden die Einflussgrößen auf die Förderanlage bestimmt. Das Palettenfördersystem besteht aus den Modulen

- Förderanlage (1)
- Verschiebewagen (2)
- Regalbediengeräte im Hochregallager (3)
- Vertikalförderer (4)
- Kommissionierplätze (5)

Die Einordnung dieser Module in das Fördersystem wird mit Hilfe des folgenden Planes gezeigt [Bild 4], Zahlen gemäss obiger Nummerierung:

Konfektionierung

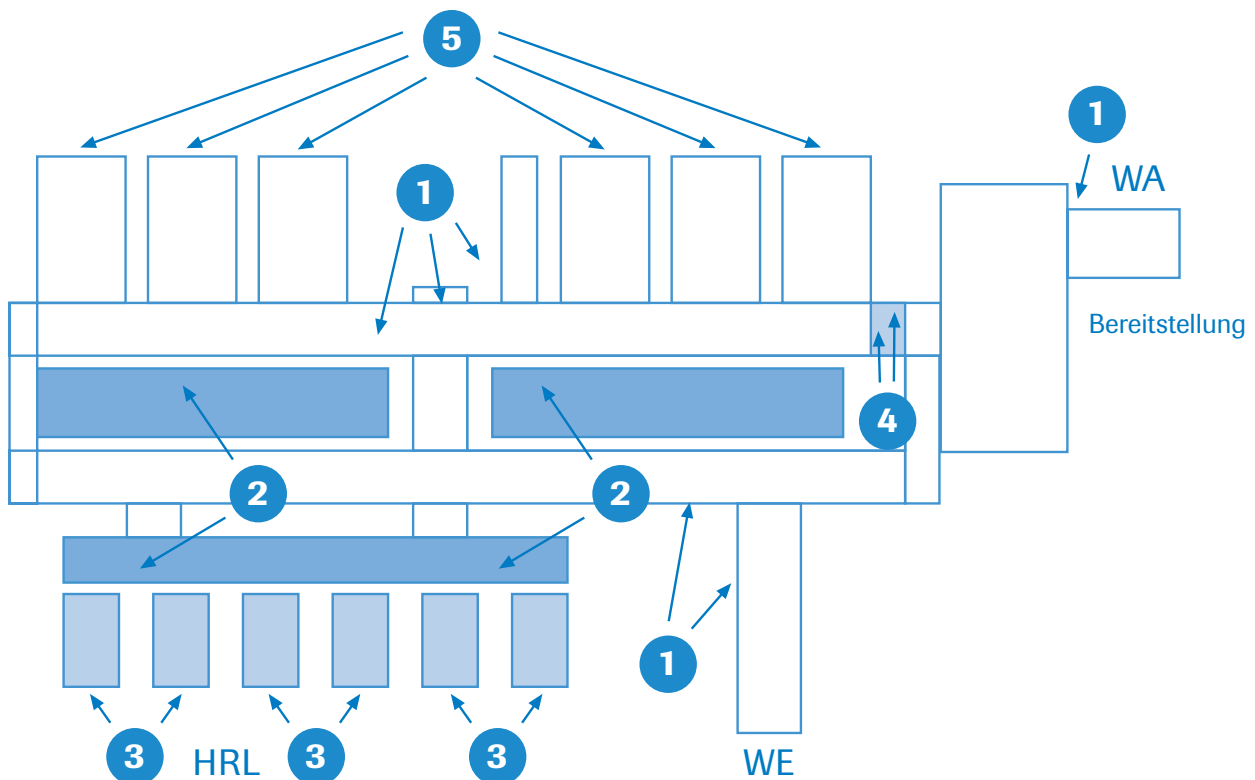


Bild 4 Module im Fördersystem

Die Förderanlage besteht dabei aus folgenden Elementen:

- Rollenbahnen, um Paletten in Längsrichtung zu transportieren
- Kettenförderer zum Transport in Querrichtung
- Lifttische für den Übergang der Paletten von einem Kettenförderer auf eine Rollenbahn oder umgekehrt

Die Palettenverfolgung wird mit einer speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS) durchgeführt. Das gesamte Fördersystem ist dafür in kleine Teile, sogenannte Zonen eingeteilt.

SE-Hinweis:

Als »weitere Einflussgrössen« auf das System »Förderanlage« müssen die Mengen – im zeitlichen Verlauf – sowie die einzelnen Zeiten erfasst werden, um zu einer vertiefteren Kenntnis über die Förderanlage zu gelangen. Es interessiert nicht der statische Zustand, sondern der zeitliche, dynamische Verlauf und die dabei auftretenden Zustände.

Die Transportgeschwindigkeit der Förderanlage beträgt 0,25 m/sek. Täglich werden ca. 300 – 400 Paletten bzw. ca. 120 – 180 Tonnen Material ein- und ausgelagert. In der Kommissionierung werden täglich 20 – 25 Tonnen Material gerüstet.

Die Förderanlage wird morgens gestartet und beginnt mit dem morgendlichen Wareneingang. Die meisten Mitarbeiter beginnen ihre Arbeit zwischen 8.00 Uhr und 14.00 Uhr.

Ein Arbeitstag endet im Zeitabschnitt im Durchschnitt

- Für die Kommissionierung um 19.00 Uhr
- Für die Konfektionierung um 19.45 Uhr
- Für die Bereitstellung um 20.30 Uhr

Die Menge der Auftragseingänge wird auch bezüglich Periodizität untersucht. Über das ganze Jahr zeigen sich keine allzu grossen Schwankungen. Innerhalb eines Tages treten hingegen grössere Schwankungen auf. [\[Bild 5\]](#)

Auftragseingänge pro Stunde

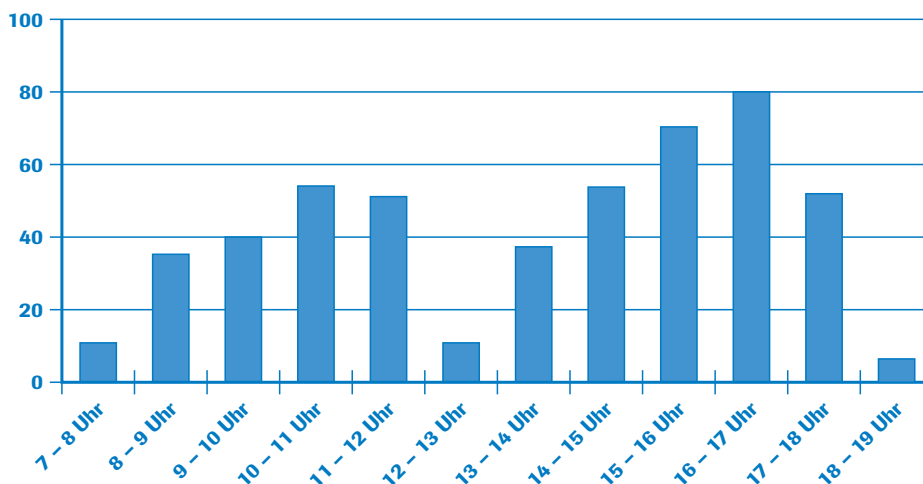


Bild 5 Auftragseingänge pro Stunde (Beispieltag)

Im Weiteren sind die unterschiedlichen Wege des Warenflusses der verschiedenen Aufträge zu untersuchen. Repräsentanten, die stellvertretend für die Vielzahl der Aufträge verwendet werden können, werden in der Folge bestimmt und von den zuständigen Verantwortlichen für richtig befunden. Bei der Simulation der Anlage werden nur diese Repräsentanten verwendet.

1.3 Stärken-Schwächen- und Chancen-Gefahren-Analyse

Die Ergebnisse der Stärken-Schwächen- und Chancen-Gefahren-Analyse sind in den folgenden Abbildungen [Bild 6] bis [Bild 9] dargestellt:

SE-Hinweis:

Für die Beschaffung »weiterer, problemorientierter Informationen« ist es nötig sowohl Schwachstellen aufzuzeigen wie Bereiche, die zufriedenstellend funktionieren. Dazu eignet sich eine Stärken-Schwächen-Analyse für die Beurteilung des Ist-Zustandes und eine Chancen-Gefahren-Analyse für die Beurteilung der zukünftigen Trends und Veränderungen.

Stärken	Ursachen und Gründe
Information an den Kommissionierplätzen	Jeder Platz hat über Bildschirm und Tastatur Zugang zum Leitsystem der Förderanlage. Die Anzahl noch vorhandener Aufträge ist darüber stets abrufbar. Ausserdem lassen sich die eigenen Leistungsdaten mit denjenigen der anderen Mitarbeiter vergleichen.
Übersichtlichkeit	Die Förderanlage befindet sich in einem grossen, offenen Raum. Jeder einzelne Mitarbeiter kann die gesamte Förderanlage überblicken und erkennt damit Staus, Störungen, etc. sofort.
Störungsbehebung	Störungen (z.B. über den Palettengrundriss hinaus verschobene Palette, losgerissene Stretch-Folie) werden sofort automatisch gemeldet und können behoben werden.
Arbeitssicherheit, Unfallrisiko	Sinnvolle Sicherheitsvorkehrungen garantieren eine hohe Arbeitssicherheit für alle Mitarbeiter. Das Unfallrisiko bleibt dadurch sehr gering.

Bild 6 Stärken

Schwächen	Ursachen und Gründe
Höheniveau der Förderanlage	Da die Palettenbeförderung vom Wareneingang bis zum Warenausgang nicht auf demselben Höheniveau verläuft, werden an zwei Übergängen Vertikalförderer, bzw. Lifte benötigt.
Regelmässigkeit der zu bearbeitenden Aufträge	Der Arbeitsvorrat an zu bearbeitenden Aufträgen verteilt sich sehr ungleich über den ganzen Tag. Die meisten Auftragseingänge sind zwischen 16.00 Uhr und 18.00 Uhr zu verzeichnen.
Staubehebung	Wenn die Förderanlage wegen Stau zum Stillstand kommt und sich selbst blockiert (deadlock), wird relativ viel Zeit benötigt, um den Stau aufzulösen und nachher wieder die gewohnte Fördergeschwindigkeit zu erreichen.

Bild 7 Schwächen

Im Rahmen der Zukunftsanalyse wird untersucht, welche Veränderungen sich im Umfeld, vor allem Kunden und Lieferanten, abspielen und welche Wirkung diese Veränderungen auf das System selbst haben könnten.

SE-Hinweis:

Während die Stärken-Schwächen-Analyse sich mit dem Ist-Zustand auseinandersetzt, geht es bei der Chancen-Gefahren-Analyse um die Beurteilung möglicher Trends im Umfeld und wie sich diese auf das bestehende System »Förderanlage« auswirken. Dabei wird das System als unverändert dargestellt, d.h. es dürfen keine Lösungen hineinprojiziert werden. Lösungen bzw. Lösungsideen werden erst später in der Lösungssuche entwickelt. Es ist daher zweckmässig, im Rahmen von Chancen-Gefahren-Analysen explizit die prognostizierten Veränderungen im Umfeld zu nennen.

In den folgenden zwei Abbildungen [Bild 8] und [Bild 9] sind die wesentlichen Erkenntnisse aus der Zukunftsanalyse zusammengefasst.

Trend im Umfeld	Begründung
Transporte in weiter entfernte Regionen, (Westschweiz, Tessin, Ostschweiz) werden per Bahn ausgeführt.	Bahnanschluss besteht bereits. Zudem löst der Bahntransport nicht nur das Problem des Nachfahrverbotes für LKWs, sondern ermöglicht auch einen beträchtlichen Zeitgewinn sowie Einsparungen, weil die Schwerverkehrsabgabe entfällt.
Veränderte Lagerstrategie der Kunden. Diese reduzieren ihre Lager. Um aber trotzdem stets lieferbereit zu sein, fordern sie tägliche Lieferungen.	Die Firma verfügt bereits über die nötigen Hilfsmittel, um tägliche Lieferungen zu gewährleisten.

Bild 8 Chancen

Trend im Umfeld	Begründung
Zunahme von Kleinaufträgen	Erhöht sich die Anzahl der im Umlauf befindlichen Paletten, werden im Ist-Zustand mit dem bestehenden Abarbeitungskonzept weitere Staus verursacht.
Zunahme defekter Paletten	Bereits fehlerhafte Paletten sollten zwar erst gar nicht in den Warenumlauf gelangen. Tritt aber ein Defekt während des Transportes auf der Förderanlage auf, führt dies unweigerlich zu Störungen und damit zum Stillstand.
Zunahme des abendlichen Auftragseinganges	Die »Stosszeiten« auf der Förderanlage werden damit erstens verlängert, und zweitens werden noch mehr Staus entstehen.

Bild 9 Gefahren

2. Zielformulierung für die Simulation

Bei der Diskussion mit den Projektbeteiligten wird klar, dass für die folgenden vier Aufgaben der Einsatz der Simulation sinnvoll wäre, wobei die Punkte 3 und 4 nicht Bestandteil der vorliegenden Arbeit sind:

1. Bewertung unterschiedlicher Layout-Varianten
2. Dimensionierung von Lagern, Puffern und Pufferstrecken
3. Test verschiedener Arbeitsmodelle
4. Betrachtung von Störungen und deren Auswirkungen

Im vorliegenden Projekt sind mit Hilfe der Simulation folgende Fragen zu beantworten:

- Wo liegen Leistungsgrenzen und Engpässe der Förderanlage bei einem vorgegebenen Auftrags-Mix? Diese Situation soll an drei Layout-Varianten betrachtet werden.
- Wie und in welchen zeitlichen Abschnitten sollen die Paletten für den Warenausgang zum Bahnanschluss transportiert werden?
- Wo sind weitere Potenziale im Hinblick auf die Erhöhung der Leistungsgrenzen?

Auf eine detaillierte Wiedergabe der einzelnen Ziele wird hier aus Platzgründen verzichtet. Im Folgenden wird die eigentliche Simulationsarbeit, die ja den Schwerpunkt der Studie bildet, vorgestellt.

3. Problemabgrenzung

Aus [Bild 3] ist ersichtlich, wo die Systemgrenzen für das System Förderanlage angenommen werden. Die für die Simulation notwendigen Quellen(System-Input) und Senken (System-Output) sind darin festgehalten.

Der Detaillierungsgrad im Modell endet bei den einzelnen Förderelementen. Von diesen Elementen werden jeweils die Länge der Strecke und die Geschwindigkeit der darauf transportierten Paletten zur Modellerstellung benötigt (vgl. auch Kapitel 6: Datenerhebung).

4. Versuchsplanung

Die Simulation ist nicht selbstoptimierend, sondern unterstützt durch eine Reihe von Experimenten die Auswahl einer Variante, die den Zielen am nächsten kommt. Vor der Modellkonzeption müssen jedoch die Daten festgelegt werden, deren Variation verschiedene zu betrachtende Varianten des Modells ergeben. Es ist notwendig, das experimentelle Vorgehen im Voraus durch eine Versuchsplanung explizit festzulegen. Eine Versuchsmatrix wurde hierzu erstellt und ist gemäss folgender Matrix strukturiert [Bild 10].

	Variante A	Variante B	Variante C
Fall 1			
Fall 2			
Fall 3			

Bild 10 Schematische Darstellung einer Versuchsmatrix

Die drei verschiedenen Varianten in [Bild 10] beziehen sich auf Veränderungen im Layout der Förderanlage und die drei unterschiedlichen Fälle untersuchen die Auswirkungen von verschiedenen Belastungen für jeweils eine Variante. Die Anzahl Varianten multipliziert mit der Anzahl Fälle ergibt die Zahl der nötigen Versuche.

In der Versuchsplanung wird folgender Rahmen festgelegt:

- Die Variante A zeigt den Ist-Zustand auf und überprüft das Modell.
- Variante B berücksichtigt Veränderungen im Wareneingang, z.B. eine Verlängerung der Förderanlage als Verbindung zum neuen Bahnanschluss.
- Variante C geht von möglichen Veränderungen im Warenausgang aus, z.B. die Auswirkungen von zwei Liften statt einem.
- Im Fall 1 (Ist-Zustand) geht man von 900 kommissionierten Auftragspositionen pro Tag aus, die wiederum rund 500 Aufträgen entsprechen. Rund 300 Paletten werden pro Tag eingelagert. 90% der Eingänge werden auf nicht firmenkonformen Paletten angeliefert und müssen daher umgelagert werden.
- Der Fall 2 befasst sich mit einer Zunahme von Kleinmengen um 30% bezüglich Fall 1.
- Der Fall 3 berücksichtigt eine Zunahme von Kleinmengen um 30% sowie eine Zunahme von Grossmengen um 20% gegenüber Fall 1.

5. Modellkonzeption

Das Gesamtsystem mit seinen Elementen und Strukturen wurde in der Form von Prozessen und Flüssen modelliert. Anschliessend wurde das System stufenweise in Subsysteme oder zum Teil sogar einzelne Prozesse aufgelöst. Für die Simulation muss das Modell so abstrakt wie möglich und so detailliert wie nötig erstellt werden. [1]

Die Modellierung wird meistens mit Hilfe einer Software – im konkreten Fall war es Easy-Case – vorgenommen, welche es erlaubt, Systeme, Subsysteme oder Prozesse aufzuzeichnen und diese durch Waren- und Informationsflüsse zu verbinden. Anhand dieser strukturbezogenen Betrachtungsweise wird das System »Förderanlage« erfasst und analysiert.

SE-Hinweis:

Der anfangs festgelegte Projektplan sieht nach der Modell-Konzeption den ersten Meilenstein, d.h. eine Zwischenpräsentation mit dem Auftraggeber vor. Insbesondere soll an dieser Sitzung erreicht werden, dass der Auftraggeber die Situation und Schlussfolgerungen teilt, wie sie im Rahmen der Situationsanalyse erarbeitet worden sind, und dass er insbesondere die Modellkonzeption als zweckmässig erachtet.

6. Datenerhebung

Die Datenerhebung ist der zeitaufwändigste Schritt innerhalb der Simulationsstudie. Trotz der vorangehenden Festlegung auf bestimmte Einflussgrössen werden bei der Datenerhebung immer wieder Mängel an den zur Verfügung gestellten Daten festgestellt.

Die für den Modellbau nötigen Daten werden auf verschiedene Arten beschafft:

- Elemente der Förderanlage werden mittels Messband ausgemessen,
- Paletten werden begleitet sowie Transport- und Schaltzeiten mittels Stoppuhr festgehalten,
- Mitarbeiter werden bezüglich Geschwindigkeiten, Vortrittsregelungen und Transportstrategien der Anlagen befragt und
- die Dokumentation der Förderanlage wird beigezogen.

SE-Hinweis:

Um die Resultate nachvollziehen zu können, sind die Annahmen wie auch die Verfahren, wie wo was gemessen wurde, festzuhalten. Damit wird sichergestellt, dass nachfolgende Studien oder auch Rückfragen im Projekt selbst beantwortet werden können.

Als weiterer Schritt werden noch die Eintrittszeiten der Repräsentanten in das System ermittelt [Bild 11]

Nr.	Repräsentant	Eintrittszeit ins System
1	Wareneingang	8.00 – 16.00 Uhr
2	Leerpaletten vom Wareneingang	8.00 – 15.00 Uhr
3	Leerpaletten vom Warenausgang	8.00 – 18.00 Uhr
4	...	

Bild 11 Eintrittszeitenfenster der Repräsentanten

Die hierbei gesammelten Daten werden nach einer umfangreichen Bereinigung als Input-Daten für das Simulationsmodell benützt. Die Eintrittszeiten der einzelnen Paletten sind im Modell negativ-exponentiell verteilt. Diese Verteilung ist zur Abbildung von Zeiten zwischen unabhängigen Ereignissen geeignet.[2]

7. Modellerstellung

Die Modellerstellung wurde mit dem Softwarepaket Simple++, Version 5.0 (neu eM-Plant) durchgeführt. Bei der Modellerstellung wird auf Kundenwunsch darauf geachtet, dass die Struktur dem Layout der realen Anlage entspricht. Ebenso werden die einzelnen Elemente in Form und Farbe den wirklichen Förderelementen angepasst. Die einzelnen Paletten stellen Repräsentanten von Aufträgen abhängig von ihrem Weg durch das System.

8. Verifikation

Zur Verifizierung wird die Basisvariante A mit den Belastungen von Fall 1 verwendet, denn diese Kombination stellt den Ist-Zustand dar. Bezüglich der Richtigkeit der Vortritte und der Einhaltung der Wege werden bereits die einzelnen Module (Netzwerk, Kommissionierplätze, Hochregallager, Förderanlage etc.) untersucht, bevor die Gesamtlösung (Variante A) existiert:

- Anhand statischer Rechnung werden die Minimalwerte der Durchlaufzeiten (DLZ) errechnet und mit experimentellen Messungen verglichen. Die dabei erhaltenen Resultate weisen nur vernachlässigbar kleine Abweichungen auf.
- Die DLZ-Maximalwerte werden qualitativ überprüft. Die erreichten Werte werden einer Plausibilitätsüberlegung unterzogen.
- Eine weitere Kontrollgrösse stellt den Zeitpunkt dar, an welchem die letzte Palette die Förderanlage verlässt. Dieser Feierabendzeitpunkt entsprach immer ungefähr den wirklichen Zeiten.
- Die automatischen Fehlermeldungen der Simulationssoftware tragen dazu bei, allfällige semantische und syntaktische Fehler rasch zu beheben. Mittels Animation konnte dann zum Teil überprüft werden, ob sich das Modell wie beabsichtigt verhält.
- Auch die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse muss gewährleistet sein.
- Die Engpasselemente des Systems werden ebenfalls im Detail kontrolliert.
- Nach einigen Testläufen stellte sich heraus, dass fünf statt drei Laufwiederholungen (bzw. Versuche) pro Variante und Fall nötig sind, um sinnvolle statistische Daten zu erhalten.

SE-Hinweis:

Der einmal festgelegte Versuchsrahmen stellt nicht eine starre Leitlinie dar, sondern ist eine Arbeitshypothese, die mit fortschreitender Erkenntnis zu modifizieren ist. Auch hier wird wieder ersichtlich, dass es sich beim Problemlösungszyklus – wie der Name sagt – um ein in festen Abschnitten zyklisches Vorgehen handelt, bei dem die Inhalte sukzessive erarbeitet werden.

Im Weiteren gilt es einen Rahmen für die Simulation festzulegen:

- Das System startet jeden Morgen leer.
- Die Simulationszeit beträgt jeweils einen Arbeitstag und endet, wenn alle Aufträge ausgeführt sind.
- Anschliessend werden die statistischen Daten errechnet und ersichtlich gemacht.

9. Validierung

Mittels Validierung wird überprüft, ob das Modell die Wirklichkeit genügend genau abbildet.

Die Validierung wird anhand des fertigen Simulationsmodells durchgeführt. Im Beisein der beteiligten Mitarbeiter der Firma werden die Struktur des Modells und die Input- und Output-Grössen überprüft und die Bewilligung des Auftraggebers zur Fortsetzung eingeholt. Dabei werden unter anderem die erreichten Durchlaufzeiten für Minimal-, Maximal- und Mittelwerte von den Firmenbeteiligten für richtig befunden. Einige Vortrittsregeln erweisen sich als falsch und müssen noch angepasst werden. Durch diese Anpassung der Vortrittsregeln werden aber die Durchlaufzeit und weitere Grössen nicht wesentlich verändert.

SE-Hinweis:

Im Projektablauf ist hier ein weiterer Meilensteinentscheid vorgesehen. Danach werden die eigentlichen Simulationsabläufe durchgeführt.

Die Simulationsläufe werden im Anschluss mit dem überprüften und bewilligten Modell durchgeführt.

10. Simulationsläufe

Der Vorgehensabschnitt »Simulationsläufe« beinhaltet die Teilschritte »Variation«, »Optimierung« und »Interpretation« [Bild 1] Da in der vorliegenden Fragestellung die Leistungsgrenzen der Förderanlage interessieren, werden nur der erste und dritte Teilschritt, nämlich die Variation und die Interpretation, durchgeführt.

Bei der Variation handelt es sich um Simulationsläufe mit den in der Versuchsmatrix festgelegten Kombinationen. Bei der Interpretation wurden die Ergebnisse beurteilt. [3]

Gemäss den formulierten Regeln und anhand der gesammelten Informationen werden für alle drei Fälle die Mengen und Zeiten der ausgewählten Repräsentanten zusammengestellt. Zusätzlich werden die Extrema der einzelnen Belastungen bestimmt.

Die Verteilung der Auftragseingänge pro Stunde, wie sie in der Analyse des Systems »Förderanlage« erhoben worden sind, kann aus softwaretechnischen Gründen nicht explizit übernommen werden, sondern muss mit Hilfe der genannten, negativ-exponentiellen Verteilung nachgebildet werden (vgl. Kapitel 6. Datenerhebung). Daher treten während des Simulationslaufes Staus nicht immer nur zwischen 15 und 17 Uhr auf, wie in der Realität, sondern verteilt über den ganzen Tag. Die Summe der untersuchten Durchlaufzeiten verhält sich aber in beiden Fällen gleich.

10.1 Sensitivitätsanalyse

Jede Versuchskombination wird mit fünf leicht veränderten Input-Werten simuliert. Diese leichte Veränderung wird durch die Variation der Bearbeitungszeit erreicht. Zum Beispiel erhält eine Bearbeitungszeit abwechselnd folgende Zeiten: 2:50 (Versuch 1), 2:55 (Versuch 2), 3:00 (Versuch 3), 3:05 (Versuch 4), 3:10 (Versuch 5). Wenn mit den angegebenen Zeiten ein »deadlock« entsteht, d. h. wenn die Förderanlage sich selber vollständig blockiert, wird die Bearbeitungszeit um nur eine Sekunde verändert und die Simulation erneut durchgeführt. Insgesamt kommt es dreimal zu einem »deadlock«.

SE-Hinweis:

Bei der Analyse und Beurteilung unterschiedlicher Handlungsoptionen - oder wie hier unterschiedliche Betriebszustände - empfiehlt es sich, auch Sensitivitätsanalysen durchzuführen. Dabei muss festgestellt werden, inwieweit das Resultat von den getroffenen Annahmen abhängt.

10.2 Versuchsdurchführung und Interpretation der Ergebnisse

Die Menge der jeweiligen Repräsentanten werden pro Fall vorgegeben, ebenso die Bearbeitungszeiten der einzelnen Kommissionierplätze. Zweck dieser Arbeit ist es, Erkenntnisse zu sammeln, wie sich verschiedene Belastungen bei den Ausbauvarianten auf die Förderanlage auswirken. Deshalb werden die Bearbeitungszeiten der Kommissionierplätze bzw. die Arbeitsgeschwindigkeit der Mitarbeiter nicht verändert, obwohl die Kommissionierung nicht immer konstant arbeitet. Die verschiedenen Varianten führen zu Erkenntnissen, die interpretiert und weiterverarbeitet werden können.

SE-Hinweis:

Die Beurteilung hat nicht den Zweck, die Eignung einer Lösung im Einzelnen zu bewerten. Vielmehr soll sie Erkenntnisse liefern, welche von mehreren in Frage kommenden Varianten im Quervergleich die bessere ist und vor allem weshalb. Hier können sich dann wieder Anhaltspunkte ergeben für weitere Versuche, also ein weiterer Verbesserungszyklus.

11. Lösungsempfehlung und Dokumentation

Die Ergebnisse wurden in schriftlicher Form sowie auf Datenträger zur Verfügung gestellt. Diagramme, CAD-Zeichnungen und Fotos ergänzten den Bericht. Die Resultate waren im Wesentlichen:

- Die Grenzleistung der Anlage ist bei einer bestimmten Anzahl Mitarbeiter erreicht.
- Ein zusätzlicher personeller Einsatz auf der bestehenden Anlage lohnt sich nicht.
- Die bestehende Anlage ist einer Mehrbelastung von 50 Prozent nicht gewachsen.
- Der Engpass der Anlage liegt derzeit im Wareneingang.
- Bei der Behebung des Engpasses im Wareneingang werden die Einlagerungen ins Hochregallager den nächsten Engpass darstellen.

Weitere Verbesserungsmöglichkeiten konnten aufgezeigt werden. Zu diesem Zweck wurde vorgeschlagen, weitere Simulationen durchzuführen.

SE-Hinweis:

Die Schlusspräsentation ist Kontrolle und »Manöverkritik«. Im vorliegenden Beispiel wurden die Resultate und Erkenntnisse dem Auftraggeber, den Beteiligten sowie den betreuenden Dozenten vorgestellt. Hier wurde unter anderem festgestellt, inwiefern das Projektziel erreicht wurde, welche zusätzlichen Erkenntnisse gewonnen wurden und welche zusätzlichen Arbeiten noch zu leisten sind.

12. Ausblick

André Gisler, Studierender an der Abteilung für Betriebs- und Produktionswissenschaften an der ETH Zürich, schaffte es, in der vorgegebenen Zeit von 10 Wochen, bzw. 300 Stunden, eine schwierige Aufgabe zu lösen. Er zeigte systematisch die Mängel und Ursachen wie auch Verbesserungsmöglichkeiten an der bestehenden Anlage auf. Die Resultate seiner Semesterarbeit fasst er in einem Bericht mit Beilagenteil zusammen und übergab diese dem Auftraggeber wie auch den betreuenden Dozenten.

Die Arbeit wurde sowohl vom Auftraggeber als auch von dem betreuenden Dozenten als ausgezeichnet beurteilt. Die zielgerichtete Umsetzung der Systems Engineering wie auch die kompetente Anwendung und Umsetzung der Simulation wurden als besonders positiv hervorgehoben.

Literatur

- [1] ACEL, Peter P.: Methode zur Durchführung betrieblicher Simulationen - Effiziente Optimierung der diskreten Simulation. Diss. ETH Nr. 11 459. Zürich: 1996.
- [2] AESOP GmbH: SIMPLE++ 5.0, Reference Manual. 1. Auflage. Stuttgart: Mai 1998.
- [3] HABERFELLNER / NAGEL / BECKER / BÜCHEL / von MASSOW SYSTEMS ENGINEERING Methodik und Praxis, 9. Auflage Hrsg. W:F: Daenzer / F. Huber, Orell Füssli Verlag, Zürich für Verlag Industrielle Organisation, Zürich, 1997 ISBN 3-85743-986-6
- [4] HRDLICZKA, Veronika; ACEL, Peter P.: Simulation in Produktion und Logistik - Vorlesungsunterlagen. Departement Betriebs- und Produktionswissenschaften der ETH Zürich. Zürich: 1999.
- [5] ZÜST, Rainer: Systems Engineering. Lehrschrift, BWI/ETH, Zürich Zürich, Oktober 1996.