

KONTINUIERLICHE ADAPTION VON LIEFERKETTEN DURCH LEISTUNGSBEWERTUNG UND –STEUERUNG DYNAMISCHER GESCHÄFTSPROZESSE

**Philip Hartmann
Dr. Christoph Laroque**

University Paderborn, Heinz Nixdorf Institute
Fürstenallee 11, 33102 Paderborn, Germany

Phone: +49 (0) 5251 60-6455; Fax: +49 (0) 5251 60-6483

E-mail: philip.hartmann@hni.uni-paderborn.de, christoph.laroque@hni.uni-paderborn.de

Abstract

Today manufacturing companies find themselves in an environment of different disturbances. Due to the globalization of markets and comprehensive information technologies, production has to be able to adapt according to changing business strategies. The production controlling provides the information for an approach with adaptive production processes guaranteeing a balance between financial and performance-oriented objectives. Beside the pure control function, controlling also includes the analysis of differences and their causes. Processes have to be monitored and assessed with regard to the position in the supply chain. The present work aims to develop a method that can be used in designing and planning of production process chains and allows to measure running processes against reference values. In addition to the analysis, the system warns the user against large deviation limited by upper and lower values. So that enough time remains for reaction, the user gets suitable measures for control suggested. The core processes of the supply chain are represented by description models and used to describe the objectives, such as inventory, lead times and costs.

Keywords: business, performance, production, processes, supply chain.

1. EINLEITUNG

Produktionsbereiche finden sich in einem Umfeld unterschiedlicher Störgrößen wieder. Neben inner- und außerbetrieblicher Konkurrenz sowie vielfältiger Informations-technik, muss die Produktion sich auf verändernde Geschäftsstrategien einstellen können. Kürzere Produktlebenszyklen führen außerdem zu einer ansteigenden Komplexität in der Produktion. Die Erhaltung der internen und externen Wettbewerbsfähigkeit der Produktion erhält daher existenzielle Bedeutung (Bauer, 2009.). Eine stärkere Konzentration auf Geschäftsprozesse ist daher unumgänglich. Zu den wichtigsten Geschäftsprozessen eines Industriebetriebes zählen die Logistikprozesse, Leistungsgestaltungsprozesse sowie übergreifende Informations- und Koordinationsprozesse (Wiendahl, 1996.). Um eine hohe Wettbewerbsfähigkeit sicherzustellen, ist neben Strategien der Produktdifferenzierung, der Erfüllung individueller Kundenwünsche und Preisstrategien eine hohe Logistikleistung ein Differenzierungsmerkmal gegenüber Wettbewerbern (Lödding, 2005.). Das Produktionscontrolling liefert hier einen Ansatz Informationen für einen sich optimierenden

Fertigungsprozess bereitzustellen und eine Ausgewogenheit zwischen finanziellen und leistungsorientierten Zielen zu garantieren. Leistungsprozesse sind hinsichtlich ihres Stellenwertes in der Lieferkette zu überwachen und zu beurteilen. Es müssen Abweichungen rechtzeitig erkannt und entsprechende Maßnahmen eingeleitet werden.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, eine Methode zu erarbeiten, die bei der Gestaltung und Planung von Fertigungsprozessketten eingesetzt werden kann. Leistungs- und Kostenkenngrößen sollen zu gleichen Teilen ihren Beitrag leisten. Dadurch soll es ermöglicht werden, laufende Prozesse an Referenzwerten zu bemessen. Neben der laufenden Analyse, führt das Über- bzw. Unterschreiten von Toleranzgrenzen dazu, dass das System den Anwender vor einer zu großen Abweichung warnt. Geeignete Steuerungsmaßnahmen sind gegebenenfalls rechtzeitig genug aufzuzeigen, um Vorbereitungen zu treffen.

Als grundlegendes Konzept ist ein modellbasierter Ansatz gewählt. Die Kernprozesse der Lieferkette werden durch Beschreibungsmodelle abgebildet. Im Wesentlichen wird zur Beschreibung der Ziele wie Bestand, Durchlaufzeiten und Kosten auf die Kennlinientheorie zurückgegriffen. Der erste Teil des Konzeptes befasst sich mit der Modellierung eines Zielsystems. Dieses Zielsystem baut auf Kennlinienmodellen und Kennzahlensystemen auf. Wesentlicher Schwerpunkt ist dabei die Darstellung der Kosten im Kennliniendiagramm. Der zweite Teil des Konzepts zeigt ein Vorgehen auf, mittels dessen die Leistungsbewertung und –steuerung von Prozesslieferketten möglich ist. Diese Methode ist in drei Schritte untergliedert. Den Anfang bildet die Positionierung der Kernprozesse durch die zuvor erarbeiteten Leistungs- und Kostenkennlinien. Eine zielkonforme Gestaltung der Lieferkette ist damit gesichert und als Ergebnis werden Planwerte zur Überwachung generiert. Anschließend wird ein Monitoringsystem vorgestellt, das die Überwachung der tatsächlichen Werte der Lieferkette übernimmt. Warn- und Eingriffsgrenzen dienen dem System, um den Anwender rechtzeitig vor zu großen Abweichungen von den Planwerten zu warnen. Maßnahmen, die eine Plan-/Ist-Abweichung ausregeln, werden untersucht. Abschließen werden die Methoden an einem Beispiel vorgestellt sowie mit konkreten Zahlenbeispielen berechnet, exemplarisch bewertet und die Steuerung der Prozesse erklärt.

2. PROBLEMSTELLUNG

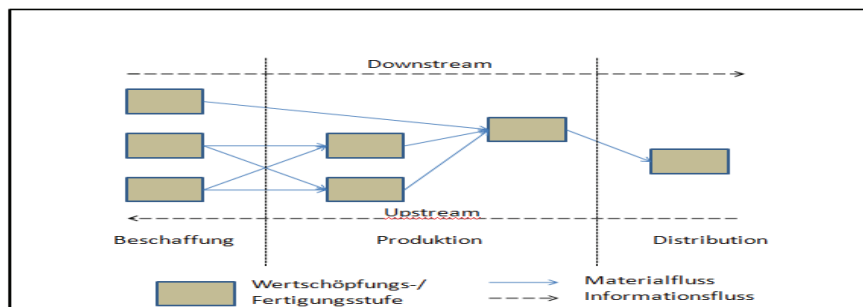
Da es in der Literatur keine einheitliche Begriffsdefinition zum Thema Lieferkette gibt, werden zunächst grundlegende Begriffe definiert und voneinander abgegrenzt. Darauf aufbauend werden Aufgaben und Funktionen der Logistik für eine Lieferkette beschrieben. Anschließend wird ein Zielsystem vorgestellt, das die Problematik einer Vereinbarung von Teilzielen der Logistik verdeutlicht. Die Einteilung von produktionslogistischen Zielen in Ober- und Unterziele soll hier einen ersten Ansatz zur Leistungsbewertung bilden. Um einen Konzeptansatz zur Steuerung von Prozessen zu erarbeiten, werden grundlegende Beschreibungsmodelle vorgestellt, die die Logistikziele in einen Wirkzusammenhang bringen.

2.1. Lieferkette

Gudehus (Gudehus, 2000.) versteht unter einer Lieferkette die Verbindung zwischen einer Liefer- und einer Empfangsstelle, auf der Waren (Güter), Personen und Sendungen verschickt werden. Lieferketten können seiner Ansicht nach verschiedene Aufgaben

erfüllen, woraus verschiedene Betrachtungsweisen resultieren, die wiederum zu unterschiedlichen Bezeichnungen wie Versorgungsketten, Beschaffungsketten, Transportketten, Beförderungsketten oder Entsorgungsketten führen. Allgemein nennt er Lieferketten deshalb auch Logistikketten. Lieferketten existieren demnach sowohl auf überbetrieblicher Ebene (vertikal verbundene Unternehmen), wie auch auf innerbetrieblicher Ebene (horizontale Wertschöpfung). Im Kontext der vorliegenden Arbeit wird der Begriff Lieferkette als innerbetrieblicher Prozess verstanden. Findet innerhalb eines Unternehmensnetzwerkes eine reine Betrachtung der Produktionsprozesse und der damit verbundenen Logistikprozesse statt, spricht man in diesem Zusammenhang von einem Produktionsnetzwerk (Hamady, 2003.). Zur Darstellung von Lieferketten innerhalb produzierender Unternehmen wird die Baumstruktur als häufige Form des Netzwerktyps gewählt. Der Abbildung 1 ist eine vereinfachte Lieferkette zu entnehmen.

Abbildung 1. Skizze einer vereinfachten Lieferkette



Während eine zentrale Produktionssteuerung dem Push Prinzip folgt und den Informationsfluss Downstream lenkt, ist ein System, das auf dem Pull Prinzip basiert, Upstream ausgelegt. Das bedeutet, dass der nachgelagerte Prozess (Senke) seinen Bedarf beim vorherigen Prozess (Quelle) besorgt. Der Markt (Leistungsnachfrage) bestimmt also maßgeblich die Produktionsauslastung (Leistungsangebot) und die Beschaffung von Ressourcen (*make-to-order*).

2.2. Aufgaben und Funktionen der Logistik

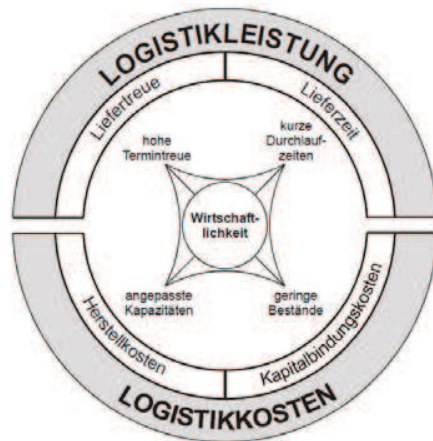
Der Verein Deutscher Ingenieure (kurz VDI) unterteilt die Logistik in die Bereiche Beschaffungs-, Produktions- und Distributionslogistik (VDI 4400-01, 2001.)(VDI 4400-02, 2001.)(VDI 4400-03, 2001.). Generell versteht die Logistik ihre Aufgabe darin, einer wirtschaftlichen Produktion dabei zu helfen, Materialien und Güter beim Verbraucher bzw. am Arbeitsplatz bereit zu stellen und zwar: Die richtigen Materialien und Güter; In der richtigen Menge; Mit der richtigen Qualität; Zur richtigen Zeit; Am richtigen Ort; Zu minimalen Kosten. Dabei übernimmt die Logistik technische, informatische und betriebswirtschaftliche Funktionen, die es ständig zu verbessern gilt (Heinrich, 2009.). Dabei handelt es sich um operative Funktionen für den Materialfluss (Lenken, Transportieren, Lagern, Kommissionieren, Verpacken, Steuern), den Informationsfluss (Erfassen, Speichern, Übertragen, Verarbeiten, Ausgeben) und auch Führungsfunktionen (Planen, Bewerten, Entscheiden, Kontrollieren, Überwachen).

Die Logistik spielt eine wichtige Rolle bzgl. des Untersuchungsgegenstandes dieser Arbeit. Die Führungsfunktion der Logistik überschneidet sich mit der Leistungsbewertung und -steuerung sowie Adaption von Geschäftsprozessen. Wie sich im nächsten Abschnitt zeigen sind logistische Kennzahlen grundlegendes Mittel zur Leistungsbewertung.

2.3. Zielgrößen der Logistik

Die Abbildung 2 zeigt ein Zielsystem der Logistik. Es lässt sich in die Oberziele Logistikleistungen und Logistikkosten unterteilen. Die logistische Leistungsfähigkeit eines Produktionsunternehmens zeichnet sich durch die termin- und mengengerechte Erfüllung der Kundenaufträge aus, die als Liefertreue bezeichnet wird. Kurze Lieferzeiten sind ein weiterer entscheidender Erfolgsfaktor (Reinsch, 2003.).

Abbildung 2. Zielsystem der Logistik



Quelle: Wiendahl, 2010.

Die Logistikkosten lassen sich wiederum auch in zwei Hauptgruppen einteilen. Die erste Gruppe sind Kosten, die durch die Logistikprozesse an sich induziert werden. Dazu zählen hauptsächlich Bestände, also Kapitalbindungskosten. Die zweite Kostengruppe entsteht durch die Produktion selbst. Gemeint sind damit Prozess- bzw. Herstellkosten. Da in diesem System Zielkonflikte auftreten können, ist es die Aufgabe der Logistik sich entsprechend zu positionieren. Als „Dilemma der Logistik“ wird in diesem Zusammenhang der Zielkonflikt zwischen niedrigen Bestandskosten einerseits und einer hohen Termin- und Mengentreue andererseits verstanden (Reinsch, 2003.).

3. STAND DER TECHNIK

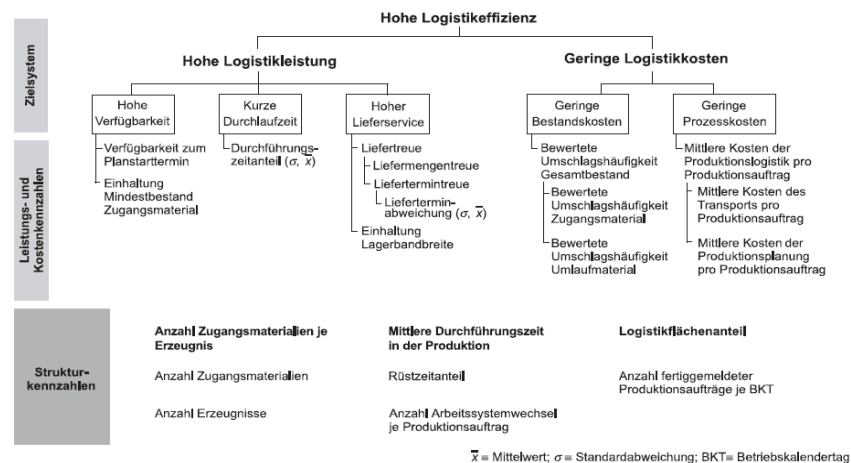
In diesem Abschnitt werden aktuelle Verfahren und Modelle aufgezeigt. Zu diesem Zweck wird zunächst ein Kennzahlensystem vorgestellt, dass die in Abschnitt 2.3 erläuterten Zielgrößen der Logistik in einen Zusammenhang bringt und mit wichtigen Kennzahlen verknüpft. Aufbauend auf Modellen zur Beschreibung von

Produktionsprozessen, wird abschließend ein Modell erörtert, das die Konfiguration einer Fertigungssteuerung unter Rücksichtnahme der Einhaltung logistischer Zielgrößen beschreibt.

3.1. Kennzahlensystem zur Bewertung der Logistik

Das Logistikkennzahlensystem der VDI-Richtlinie 4000-1 (vgl. VDI 4400-01, 2001.) wurde durch das Projekt LogiBest entwickelt. Bei der Entwicklung des Systems wurde darauf Wert gelegt einheitliche Kennzahlen zu finden, die einen Vergleich zwischen Unternehmen möglich machen (vgl. LOGIBEST, 2011). Aus diesem Grund wurde auch auf Kennzahlen aus anderen betroffenen Unternehmensbereichen, wie z. B. finanzwirtschaftliche oder technologische Kennzahlen (wie z. B. Ausschuss, Auslastung, Nutzungsgrad etc.) verzichtet (Reinsch, 2003.). Die Kennzahlen orientieren sich an einem prozessorientierten Ansatz, wobei die drei Bereiche (Beschaffung, Produktion und Distribution) getrennt betrachtet werden. Damit wird die komplette logistische Lieferkette abgedeckt. Als oberstes Ziel steht immer eine effiziente Logistikleistung (vgl. Abb. 3). Eine effiziente Logistikleistung setzt sich hierbei aus einer hohen Logistikleistung und geringen Logistikkosten zusammen. Diesen beiden Teilzielen sind die wichtigsten Kennzahlen zugeordnet. Das Kennzahlensystem zeichnet sich durch eine hohe Anzahl an Kennzahlen aus, sowie einem hohen Detaillierungsgrad dieser Kennzahlen. Es gibt eindeutige Berechnungsvorschriften sowie Angaben, welche Messdaten erhoben werden müssen und wie sie sich voneinander abgrenzen.

Abbildung 3. Produktionslogistische Kennzahlen nach VDI 4400:

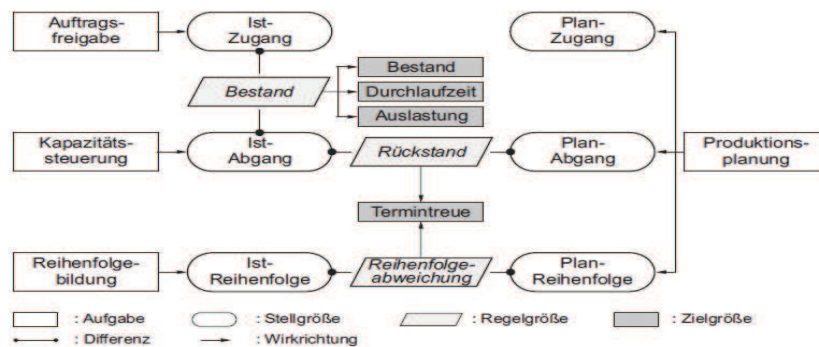


3.2 Modellansatz für eine Fertigungssteuerung

(Lödding, 2005.) beschreibt ein Modell, das zur Gestaltung einer Fertigungssteuerung herangezogen werden kann (Nyhuis, 2008.). Dieses Modell verfolgt die Steuerung der logistischen Zielgrößen durch Stell- und Regelgrößen. Es werden produktionslogistische Kennzahlen wie die Durchlaufzeit, Auslastung, Termintreue und Bestand verwendet, um

Prozesse aufeinander abzustimmen. Aus dem Modell lässt sich ein Kennzahlensystem herleiten, das in Kombination mit dem logistischen Zielsystem zur Adaption dynamischer Geschäftsprozesse herangezogen werden kann. Das Modell besteht im Wesentlichen aus vier Elementen, der Aufgaben der Fertigungssteuerung und Produktionsplanung, den Stellgrößen, den Regelgrößen und den Zielgrößen. Das Regelungsprinzip, basiert auf der Idee, dass die logistischen Zielgrößen wie Bestand, Durchlaufzeit, Auslastung und Termintreue über die Auftragsfreigabe, eine Kapazitätssteuerung und eine Reihenfolgebildung gesteuert werden können. Aufgrund von Störgrößen, wie z. B. Kundennachfragen, Wettbewerb, Maschinenausfall etc., kann es jedoch zu Abweichungen zwischen Ist- und Plangrößen kommen. Hier setzen die Regelgrößen Bestand, Rückstand und Reihenfolgeabweichung ein, damit die Zielgrößen ihre Soll- Werte und Toleranzbereiche nicht verlassen.

Abbildung 4. Modellansatz einer Fertigungssteuerung



Quelle: Nach Nyhuis (2008.), in Anlehnung an Lödding (2005.).

4. ZU LEISTENDE ARBEIT

Zunächst ist ein Modell zu erarbeiten, das die Zielgrößen, Leistung und Kosten der Logistik miteinander verbindet. Ausgehend von den Beschreibungsmodellen, die zur Erläuterung der logistischen Leistungsfähigkeit herangezogen wurden, muss dafür auf der einen Seite der Zusammenhang zwischen den logistischen Zielgrößen, die das VDI-Kennzahlensystem liefert und den Kennzahlen, die die Beschreibungsmodelle liefern, hergestellt werden. Wichtige Berechnungsvorschriften sind zu identifizieren in ihrem Kontext zu beschreiben. Auf der anderen Seite muss ein Weg skizziert werden, um Bestands- und Prozesskosten mit in die Beschreibungsmodelle einzubeziehen. Es muss eine Übersicht der Grunddaten zusammengestellt werden, die für eine Berechnung der Kennlinien notwendig sind. Dabei ist zu klären, welchen Einfluss die zugrundeliegenden Daten auf die Prozessbeherrschung haben. Möglichkeiten die Leistungsfähigkeit einer Lieferkette durch geeignete Hebelgrößen zu erhöhen, sind in diesem Zusammenhang zu skizzieren. Des Weiteren ist eine möglichst anwenderfreundliche Methode zu entwerfen, um den Verlauf der Prozesse beobachten zu können. Regelkarten, die ursprünglich ihren Einsatz im Qualitätsmanagement fanden, sind auf die Kenngrößen des Konzepts zu übertragen. Im letzten Teil sind gemäß dem Modell der Fertigungssteuerung geeignete

Verfahren zu identifizieren. In Anlehnung an das Monitoring müssen dann die Kennzahlen vorgestellt werden, die es gilt zu überwachen.

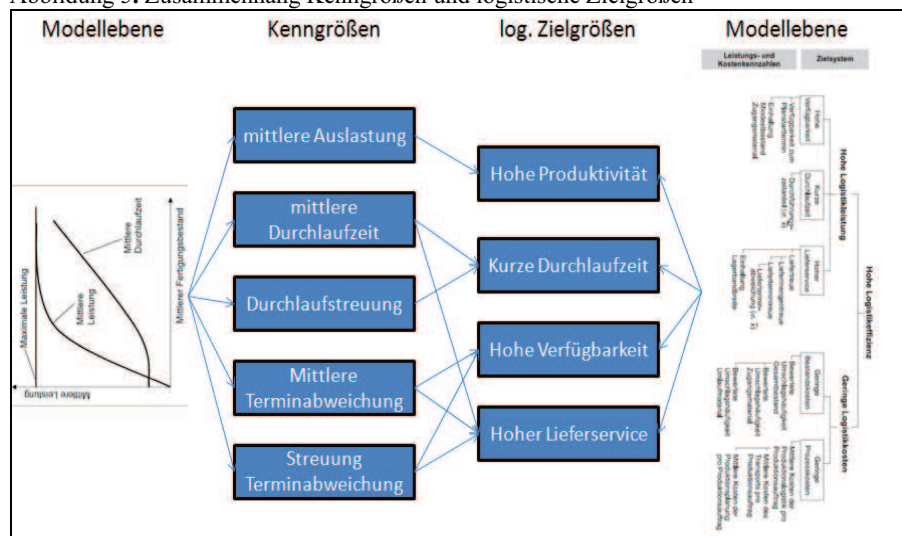
5. KONZEPTION

Unternehmen versuchen den Zielvorgaben der strategischen Zielplanung sich am Markt und gegenüber dem Kunden im Vergleich zur Konkurrenz zu differenzieren. Entsprechend beeinflussen im Bereich der Produktionslogistik die Logistikleistung und die Logistikkosten die Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens. Dabei wird versucht, mit möglichst geringen Kosten einen möglichst hohen Ertrag zu erzielen. In den folgenden Abschnitten wird ein Zielgrößensystem für die beiden Bereiche Logistikleistung und Logistikkosten entworfen, um diese Teilzielsysteme zusammenzuführen.

5.1. Modellierung von Zielgrößen

Ausgangspunkt für die Modellierung von Zielgrößen sind ein Produktionskennlinien Diagramm und das Zielsystem der Produktionslogistik nach VDI 4400. Die Produktionskennlinien auf der einen Seite liefern logistische Kenngrößen für eine Arbeitsstation (wie z. B. mittlere Auslastung, Durchlaufzeit, Streuung der Durchlaufzeit). Um die Kenngrößen zu komplettieren, werden aus dem Durchlaufdiagramm die Kenngrößen mittlere Terminabweichung und Streuung der Terminabweichung hinzugenommen. Auf der anderen Seite der logistischen Zielgrößen sind die Ziele hoher Lieferservice, hohe Verfügbarkeit, sowie kurze Durchlaufzeiten abgebildet. Ein weiteres Ziel ist die hohe Produktivität der Fertigung, die direkt mit der Kenngröße mittlere Auslastung zusammenhängt (vgl. Abb. 4).

Abbildung 5. Zusammenhang Kenngrößen und logistische Zielgrößen



Die mittlere Auslastung berechnet sich aus der mittleren Leistung, abhängig vom Betriebs-punkt und der maximalen Leistung des Arbeitssystems:

$$Am(t) = \frac{Lm(t)}{Lmax} * 100$$

mit: $A_m(t)$ mittlere Auslastung [%];
 $L_m(t)$ mittlere Leistung [Std./BKT]
 L_{max} maximal mögliche Leistung [Std.]
 t Laufvariable ($0 < t < 1$)

Die mittlere Durchlaufzeit ergibt sich unter Einhaltung der FIFO-Regel aus den Produktions-kennlinien wie folgt:

$$ZDLm(t) = Rm(t) - ZDFm * ZDFv^2$$

mit $ZDLm(t)$ mittlere Durchlaufzeit [BKT]
 $Rm(t)$ mittlere Reichweite [Std./BKT]
 $ZDFm$ mittlere Durchführungszeit [BKT]
 $ZDFv$ Variationskoeffizient der Durchführungszeit
 t Laufvariable ($0 < t < 1$)

Falls die FIFO Regel nicht eingesetzt wird, sondern beispielsweise die KOZ oder LOZ Regel, wird die Formel für die Durchlaufzeit um einen Korrekturfaktor erweitert. Dieser Faktor ist abhängig vom Reihenfolgeverfahren und wurde für die entsprechenden Verfahren aus Simulationsuntersuchungen abgeleitet (Nyhuis & Wiendahl, 1999.).

5.2. Zielgröße Logistikkosten

Wird ein Kundenauftrag in der Fertigung freigegeben, müssen alle Ausgaben die im Zusammenhang mit der Produktion stehen, vorfinanziert werden. Dazu zählen Rohmaterial ebenso wie Ausgaben und Kosten, die bei Wertschöpfungsprozessen entstehen (Stein & Voith, 2011.). Daher führt die Betrachtung der Logistikkosten auf eine separate Untersuchung der Bestands- und der Prozesskosten zurück. Diese beiden Kostenbereiche werden im Folgenden näher untersucht und Berechnungsvorschriften aufgestellt, um die Logistikkosten mit der Logistikleistung vergleichbar zu machen.

5.2.1. Bestandskostenbetrachtung

Grundsätzlich gibt es zwei unterschiedliche Ansätze der Interpretation von Bestandskosten im Sinne von Kapitalbindungskosten. Ein Ansatz besagt, dass durch das Aufnehmen von Fremdkapital zur Finanzierung der Fertigung Kosten in Form von Fremdkapitalkosten entstehen. Der andere führt die entstehenden Kosten auf die Ursache zurück, dass durch das Vorfinanzieren mit Eigenkapital der Umfang von Investitionstätigkeiten am Kapitalmarkt abnimmt und Opportunitätskosten entstehen.

Um den Wert des Auftragsbestandes zu bestimmen, wird eine Bewertung des Lagerbestandes durchgeführt. Prinzipiell müssen dazu alle Güter zu ihren Anschaffungspreisen bewertet werden. Damit ergibt sich der Wert des Auftragsbestandes wie folgt:

$$W(B) = MK + WK$$

mit	W(B)	Auftragsabhängiger Wertbestand [GE]
	MK	Materialkosten [GE]
	WK	Wertschöpfungskosten [GE]

wobei die vereinfachten Herstellkosten nach VDI 4400 sich berechnen zu:

$$\text{Herstellkosten} = \frac{\text{Herstellkosten Abgangsmaterial} + \text{Herstellkosten Zugangsmaterial}}{2}$$

Ab dem Zeitpunkt, wo für Rohmaterial Kapital aufgewendet wird, entstehen Kapitalbindungs-kosten bis zu dem Zeitpunkt, wo ein Zahlungseingang für die Fertigerzeugnisse eingeht. Das bedeutet, dass die Höhe der Bestandskosten mit der Zeitspanne zwischen Bezahlung des Rohmaterials und dem Zahlungseingang für das Fertigerzeugnis zunimmt. Daher ist es wichtig für das Modell, diese beiden Zeitpunkte genau zu definieren.

$$T_{kb} = t_2 - t_1$$

mit	T_{kb}	Kapitalbindungsdauer [BKT]
	t_1	Zeitpunkt der Auszahlung für Rohmaterial [BKT]
	t_2	Zeitpunkt der Eingangszahlung des Fertigerzeugnis [BKT]

Wird der Wert des Auftragsbestandes nach Anschaffungskosten und Herstellkosten getrennt, so müssen für die beiden Wertgrößen eigene Kapitalbindungsdauern herangezogen werden. Eine einheitliche Kapitalbindungsdauer würde nach Bewertungsgrundlage der Anschaffungskosten die Herstellkosten zu hoch bewerten. Umgekehrt wären die Kosten für die Anschaffung nach Dauer der Herstellkosten zu niedrig angesetzt.

5.2.2. Prozesskostenbetrachtung

Um die Prozesskosten der Fertigung aufzuschlüsseln, ist die Prozesskostenrechnung als Teil der Kosten- und Leistungsrechnung ein hilfreiches Instrument, verursachungsgerecht die Kosten zuzuordnen.

Zunächst müssen die zu untersuchenden Prozesse festgelegt werden (Posluschny, 2009). Grundsätzlich kann man im Bereich der Fertigung die Prozesse *Produzieren/Prüfen*, *Transportieren* und *Lagern* unterscheiden (Kerner, 2002.). In dieser Arbeit wird beispielhaft der Fokus auf den Prozess Produzieren/Prüfen gerichtet. Als wesentliche Teilprozesse der Fertigung werden das Rüsten und die Bearbeitung selbst angesehen. Da es i.d.R. aus dem Bereich der Arbeitszeitplanung zu den Teilprozessen Rüsten und Bearbeiten genügend Zeitangaben zu den jeweiligen Rüst- und Einzelzeitangaben gibt, werden diese beiden Teilprozesse als Kostentreiber gesetzt. Kostentreiber sind innerhalb der Prozesskostenrechnung eine Maßgröße, die die Gesamtkosten einer Kostenstelle antreiben.

Tabelle 1. Zuordnung von Kostentreibern einer Kostenstelle

Kostenstelle Material		
Hauptprozess	Teilprozess	Kostentreiber
Auftragsabwicklung	Bestellung	Zahl der Aufträge
	Eingangslogistik	Zahl der Aufträge

Quelle: Posluschny, 2009.

Der Tabelle 1 ist die Kostenstellenbetrachtung für die Position Material zu entnehmen. Für die Teilprozesse Bestellung und Eingangslogistik, die den Hauptprozess der Auftragsabwicklung ausmachen, sind die Zahl der Aufträge entscheidender Kostentreiber. Nach dem Prinzip lassen sich die Kostentreiber für die Prozesskosten wie folgt aufstellen (vgl. Tab. 2).

Tabelle 2. Zuordnung von Kostentreibern zum Prozess Produzieren

Kostenstelle: Fertigung		
Hauptprozess	Teilprozess	Kostentreiber
Produzieren	Rüsten	Zeitanteil Rüsten
	Bearbeiten	Zeitanteil Bearbeiten

Im vorliegenden Fall treiben somit die Rüst- und Bearbeitungszeitanteile die Kosten für den Prozess Produzieren nach oben. Für diese beiden Teilprozesse müssen Prozesskostensätze ermittelt werden. Betrachten wir zuerst den Teilprozess Rüsten, entstehen an dieser Stelle Kosten durch das Personal in Form von Fertigungslöhnen für die Durchführung des Rüstvorgangs, sowie Sachmittelkosten aufgrund verbrauchter Hilfs- und Betriebsmittel. Somit ergibt sich folgende Formel für die Prozesskosten durch Rüstvorgänge (Kerner, 2002.):

$$PKS_R = \frac{(K_{Lohn} + K_{Sach})}{T_{Plan}}$$

mit K_{Lohn} Kosten für Personal [€]
 K_{Sach} Kosten für Hilfs- und Betriebsmittel [€]
 T_{Plan} Planstundenzahl pro Jahr [Std.]

Die Anwendung dieser Formel setzt voraus, dass die Kapazitäten immer ausreichend ausgelegt sind und durch Rüstvorgänge das Produktionsprogramm nicht beeinträchtigt wird. Können nämlich Aufträge aufgrund hoher Rüstzeitanteile nicht gefertigt werden, entfallen dem Unternehmen aufgrund dieser nicht gefertigten Aufträge Opportunitätskosten, die in Höhe des Deckungsbeitrages angesetzt werden müssen. Dieser Fall sei hier nicht mit in Betracht gezogen.

Auf die Bearbeitungskosten wirkt die Bearbeitungszeit kostentreibend. Diese Zeit setzt sich aus der Zeit pro Bearbeitungsvorgang und der Zahl an Bearbeitungsvorgängen

zusammen. Zu unterscheiden sind an dieser Stelle fixe und variable Kosten für den Bearbeitungsprozess. Fixe Kosten setzen sich aus den Abschreibungen und den Zinsen für das Anlagevermögen einerseits und den Personalkosten für Gehaltsempfänger andererseits zusammen. Zu den variablen Kosten zählen Personalkosten für Lohnempfänger, sowie Energie-, Werkzeug-, Hilfs- und Betriebsstoffkosten. Folgende Gleichungen für die flexiblen und variablen Prozesskostensätze der Bearbeitung lassen sich festhalten (vgl. Kerner, 2002.):

$$PKS_{B,fix} = \frac{K_{pers,fix} + K_{Sach,fix}}{T_{plan}}$$

$$PKS_{B,var} = \frac{K_{pers,var} + K_{Sach,var}}{T_{plan}}$$

mit	$K_{pers,fix}$	Gehaltskosten [€]
	$K_{pers,var}$	Lohnkosten [€]
	K_{Sach}	Sachmittelkosten [€]
	$PKS_{B,fix}$	Prozesskostensatz Bearbeiten fix [€/Std.]
	$PKS_{B,var}$	Prozesskostensatz Bearbeiten variabel [€/Std.]
	T_{plan}	Planstundenzahl pro Jahr [Std.].

5.3. Leistungsbewertung und -steuerung

Im Folgenden ist die Leistungsbewertung und -steuerung einzelner Prozesse der Lieferkette Gegenstand näherer Betrachtung. Bevor Prozesse bewertet und gesteuert werden könne, müssen zunächst Planwerte geschaffen werden. Zu diesem Zweck wird die logistische Positionierung von Prozessen durchgeführt. Die tatsächlichen Werte gilt es durch ein Monitoringsystem zu überwachen. Ist- und Planwerte werden miteinander verglichen und Abweichungen erkannt. Bei großen Abweichungen kommen Steuerungsprozesse zum Einsatz.

Für die Berechnung der Produktionskennlinien werden die für den Planungszeitraum zu fertigenden Aufträge benötigt. Diese aus der Auftragserzeugung hervorgehenden Daten dienen als Ausgangspunkt. Tabelle 4 zeigt eine Liste mit solchen Aufträgen, die gefertigt werden müssen. Unter Anwendung der Gleichung und der Voraussetzung, dass die mittlere Transportzeit zwischen zwei Arbeitsvorgängen so gering ist, dass sie nicht betrachtet werden braucht, kann der ideale Mindestbestand für die Auftragsliste wie folgt bestimmt werden.

$$BI_{min} = \frac{\sum_{i=1}^n (ZAU_i \times ZAU_i)}{\sum_{i=1}^n ZAU_i} = \frac{1190}{158} = 7,53 \text{ Std.}$$

Tabelle 3. Planungszeitraum bezogene Liste mit Aufträgen für eine Arbeitsstation

Nr.	ZAU	Nr.	ZAU	Nr.	ZAU	Nr.	ZAU	Nr.	ZAU
1	2	7	4	13	7	19	12	25	4
2	4	8	8	14	11	20	3	26	2
3	1	9	11	15	3	21	1	27	11
4	6	10	1	16	5	22	4	28	9
5	5	11	9	17	5	23	1	29	2
6	3	12	5	18	8	24	10	30	1

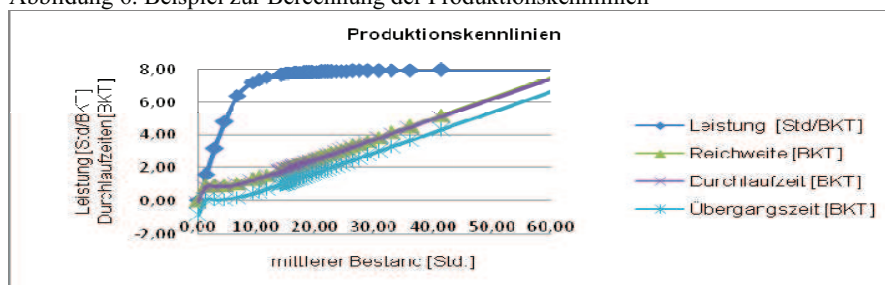
ZAU: Auftragszeit

Quelle: Löffding, 2005.

Teil der Produktions- und Kapazitätsplanung ist die Festlegung der maximal möglichen Leistung einer Arbeitsstation bzw. eines Prozesses. Dabei sind die Anzahl an Arbeitsplätzen und die Anzahl an Arbeitsstunden pro BKT für die Berechnung ausschlaggebend. Die theoretische Leistungsgrenze liegt höher als die tatsächliche Leistungsgrenze. Wird die maximale Leistung erhöht, verkürzt sich der mittlere Durchführungs- und Durchlaufzeitanteil. Die Abgangsleistung eines Arbeitssystems wird erhöht.

Sind genügend Informationen vorhanden, lässt sich die Kennlinie für die mittlere Leistung erstellen. Wurde die Leistungskennlinie berechnet lässt die Reichweite eines Prozesses berechnen. Sie gibt darüber Auskunft, wie lange das Arbeitssystem noch mit Arbeit versorgt ist und eingesetzt werden kann, um Vorbereitungszeiten für nachfolgende Aufträge zu bilden. Die Übergangzeitkennlinie steht für die mittlere Übergangszeit als Differenz zwischen der mittleren Durchlauf- und Durchführungszeit. Mit der mittleren Durchlaufzeit sind dann alle Produktionskennlinien dann ermittelt (vgl. Abb. 6).

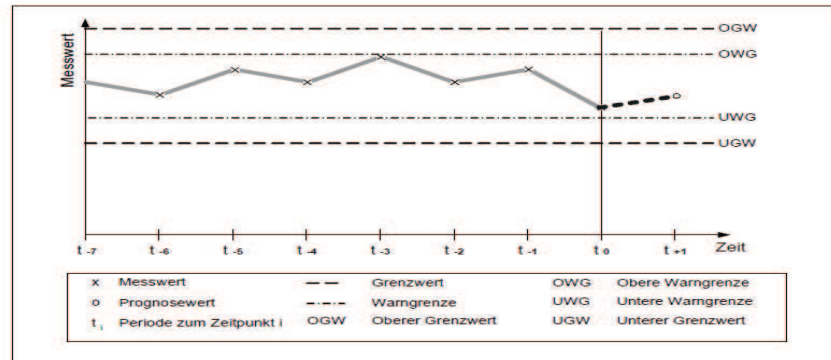
Abbildung 6. Beispiel zur Berechnung der Produktionskennlinien



Als Monitoring wird der zeitliche Verlauf einer Kennzahl verstanden. Dabei kann grafisch ermittelt werden, ob sich die Kennzahl von ihrem Sollwert entfernt bzw. einen zulässigen Grenzwert überschreitet. Beispiel für einen zeitlichen Verlauf von Kennlinien sind (Jodlbauer, 2008): zeitlicher Verlauf des Lagerbestandes; zeitlicher Verlauf der mittleren gewichteten; Durchlaufzeit; zeitlicher Verlauf der mittleren gewichteten Auftragsbearbeitungszeit; zeitlicher Verlauf der Liefertreue oder durchschnittlichen Verspätung; zeitlicher Verlauf der Ausschussrate, Nacharbeitsrate oder Reklamationsrate; zeitlicher Verlauf der angefallenen Kosten für Zusatzkapazitäten (Überstunden, Zusatzschicht, etc.) pro Woche. Ein logistisches Monitoringsystem soll bei der Bewertung

von Kennzahlen helfen, diese in bestimmten Abständen zu messen und grafisch darzustellen. Weichen die gemessenen Werte von ihrem Toleranzbereich ab, wird das vom Monitoringsystem erkannt und dem Anwender sichtbar gemacht. Weichen die Ist- Werte aus ihrem zulässigen Toleranzbereich ab, müssen Gegenmaßnahmen eingeleitet werden. Je nachdem wie stark die Abweichung der gemessenen Werte vom Toleranzbereich ist, müssen entsprechende Empfehlungen zur Gegensteuerung aufgezeigt werden (vgl. Abb. 7).

Abbildung 7. Exemplarischer Kennzahlenverlauf eines Lieferkettenelements



Quelle: Reinsch, 2003.

In der Praxis haben sich Entscheidungstabellen für eine Kapazitätssteuerung bewährt. Exemplarisch ist eine solche Entscheidungstabelle der LufthansaTechnik Logistik GmbH (LTL) aus Hamburg in Tabelle 7 angegeben. Im Beispiel wird zweimal täglich die noch offene Anzahl an Bestandsaufträgen gemessen. Um 10 Uhr morgens beträgt der gemessene Bestand 132 Aufträge. Daraus ergibt sich eine Plan- Ist- Differenz von 4 Stunden, die aufgeholt werden müssen, um die Termintreue zu gewährleisten. Maßnahmen leiten sich aus der Kapazitätsflexibilität des Unternehmens ab. Im vorliegenden Fall müssen die Früh- und Mittelschicht 2 Stunden verlängert werden. Der Einsatz von Springern und Leihkräften wird ebenfalls geprüft und kann vorbereitet werden (vgl. Abb. 8).

Abbildung 8. Entscheidungstabelle für Kapazitätssteuerung bei der LTL

Differenz zwischen planmäßigem und tatsächlichem Arbeitsvorrat in Dienst- bzw. Schichtstunden	Gemessener Bestand in Anzahl Positionen	Auswirkungen Frühdienst/ Frühschicht	Auswirkungen Mitteldienst/ Mittelschicht	Auswirkungen Spätdienst/ Spätschicht	weitere abzuleitende Maßnahmen
- 5 h oder weniger	0-5	--	--	--	Verstärkte Nutzung von Gleittagen
- 4 h	-20	--	--	o	o
- 3 h	-35	--	-	o	o
- 2 h	-50	--	o	o	o
- 1 h	-65	-	o	o	o
0 h	-80	o	o	o	o
+ 1 h	-95	+	o	o	o
+ 2 h	-110	++	o	o	Prüfen Einsatz von Springern und Leihkräften
+ 3 h	-125	++	+	o	
+ 4 h	-140	++	++	o	
+ 5 h oder mehr	140-	++	++	+	

* : Verlängerung Dienst/Schicht um 1,0 h o : keine Maßnahmen
 - : Verkürzung Dienst/Schicht um 1,0 h

Quelle: Breithaupt & Panten, 2002.

5.4. Integration in den Gesamtprozess

Die Abbildung 9 zeigt die Integration des Konzeptes in den Gesamtprozess in 6 Einzelschritte. Begonnen wird damit, dass Kenngrößen für eine geeignete Starteinstellung gewählt werden. Ergebnis ist die Erstellung von Kosten- und Leistungskennlinien. Diese bilden im zweiten Schritt das Hauptwerkzeug für eine Positionierung der Lieferkette. Struktur- und betriebspunktabhängige Größen bilden die Grundlage für die Berechnung von Zielgrößen der Lieferkette. Optimierungsmaßnahmen sind darauffolgend durchzuführen, um sich wirtschaftlich und leistungsorientiert zu positionieren. Als Werkzeuge dienen dafür, neben Kosten- und Leistungskennlinien, Durchlaufdiagramme der einzelnen Arbeitsstationen. Eine Anpassung der Abgangsleistung der Prozesse kann durch entsprechende Maßnahmen durchgeführt werden. Aus einer optimalen Positionierung lassen sich im vierten Schritt Planwerte erstellen. Dazu ist die abgehende Anzahl an Aufträgen eines Prozesses je BKT zu bestimmen. Das Durchlaufdiagramm hilft bei der Bestimmung dieser Werte. Als Ergebnis werden so Planwerte für ein Monitoring-System aufgestellt. Das Monitoring nutzt die Regelkartentechnik, um eine Abweichung der tatsächlichen Werte zu messen. Planwerte dienen als Ausgangsbasis, um Warn- und Eingriffsgrenzen zu definieren. Ziel des Monitoring ist es den Rückstand der geplanten Fertigungsaufträge zu messen und zu visualisieren. Abschließend bildet eine Rückstandsregelung Maßnahmen zur Gegensteuerung. Handlungsweisen werden aufgrund der Kapazitätsflexibilität und der Abweichungen bestimmt.

Abbildung 9. Integration in den Gesamtprozess

Schritte	Werkzeuge	Kenngrößen	Ergebnis
Starteinstellungen wählen		-Produktionszeitraum -Anzahl Produktionsteile -Anzahl Aufträge -Anzahl Losgrößen -Bearbeitungs-+ Rüstzeit -PKS Bearbeiten (fix, variabel) -PKS Rüsten -Bestandskosten	- Kosten- und Leistungskennlinien
logist. Positionierung	- Kosten- und Leistungskennlinien	- Struktur- und betriebspunktabhängige Größen	- Zielgrößen einer Lieferkette - Anzahl an Conwip Karten
Optimierung	- Kosten- und Leistungskennlinien - Durchlaufdiagramm - Maßnahmen zur Steigerung der Logistikleistung	- Struktur- und betriebspunktabhängige Größen	- Zielgrößen einer Lieferkette - Anzahl an Conwip Karten
Planwerte erstellen	- Durchlaufdiagramm	- Abgehende Anzahl an Aufträgen pro Arbeitsstation je BKT	- Planwerte für Monitoring
Monitoring	- Regelkarte	- Planwerte - Warn- und Eingriffsgrenzen	- Rückstandsmessung
Rückstandsregelung	- Rückstandsmessung - Kapazitätsflexibilität	- Abweichung kumulierter Plan- Ist- Auftragsabgang	- Auswahl geeigneter Gegenmaßnahmen zur Ausregelung des Rückstands

6. VALIDIERUNG

Die Grundlage zur Validierung des Verfahrens bildet eine Anwendung auf Basis von Microsoft Excel. Zunächst sind die Grundfunktionen Gegenstand näherer Betrachtung. Die Anwendung besteht insgesamt auf 9 Tabellenblättern: Start; Versuchstabelle; Aufträge; Produktionskennlinien; Kostenkennlinien; Hilfsblatt; Durchlaufdiagramm; Streuung und Kapazitätssteuerung.

6.1. Starteinstellungen

Zu Anfang sind die Starteinstellungen zu den Aufträgen (vgl. Abb. 10, blau) sowie die Bearbeitungs- und Rüstzeiten (vgl. Abb. 10, grün) an den jeweiligen Arbeitsstationen einzustellen. Die Eingangswerte für die Kosten (oranges Feld) sind ebenfalls im Blatt „Versuchstabelle“ zu erkennen. Für das Szenario sieht man, dass die Auftragsliste 20 Positionen besitzt. Im grünen Feld sind die unterschiedlichen Werte der mittleren Losgröße zu erkennen. Die Werte des Tabellenblatts werden aus Tabellenbezügen berechnet, die auf den Gleichungen aus den Kapiteln zuvor aufbauen.

Abbildung 10. Microsoft Excel-Anwendung

Auftragsnummer	Losgröße [Stk.]	AS1		AS2		AS3	
		ZAU [Std.]	ZDF [BKT]	ZAU [Std.]	ZDF [BKT]	ZAU [Std.]	ZDF [BKT]
1	200	3,83	0,24	5,75	0,36	10,33	0,65
2	150	3,00	0,19	4,50	0,28	7,83	0,49
3	30	1,00	0,06	1,50	0,09	1,83	0,11
4	70	1,67	0,10	2,50	0,16	3,83	0,24
5	80	1,83	0,11	2,75	0,17	4,33	0,27
6	300	5,50	0,34	8,25	0,52	15,33	0,96
7	200	3,83	0,24	5,75	0,36	10,33	0,65
8	100	2,17	0,14	3,25	0,20	5,33	0,33
9	130	2,67	0,17	4,00	0,25	6,83	0,43
10	222	4,20	0,26	6,30	0,39	11,43	0,71
11	300	5,50	0,34	8,25	0,52	15,33	0,96
12	145	2,92	0,18	4,38	0,27	7,58	0,47
13	168	3,30	0,21	4,95	0,31	8,73	0,55
14	123	2,55	0,16	3,83	0,24	6,48	0,41
15	240	4,50	0,28	6,75	0,42	12,33	0,77
16	198	3,80	0,24	5,70	0,36	10,23	0,64
17	213	4,05	0,25	6,08	0,38	10,98	0,69
18	99	2,15	0,13	3,23	0,20	5,28	0,33
19	154	3,07	0,19	4,60	0,29	8,03	0,50
20	198	3,80	0,24	5,70	0,36	10,23	0,64
Summe	3320,00	65,33	4,08	98,00	6,13	172,67	10,79

Ausgangsdaten		Ausgangsjahr:	2010	berechne Kennwerte
		Arbeitstage:	42	
		Gesamtarbeitsstunden:	672	
		Losgröße		
		min.:	30	
		max.:	300	

PP-Daten		Arbeitsstation 1	Arbeitsstation 2	Arbeitsstation 3
		Umax	16	16
		Bearbeitungszeit [Min.]	1	1,5
		Rüstzeit [Min.]	30	45
Fertigungszeiten	ZAU	min [Std.]	1,00	1,50
		max [Std.]	5,50	8,25
	ZDF	min [Std.]	0,06	0,09
		max [Std.]	0,34	0,52

Auftragsabhängige Größen		20,00		
Anzahl Aufträge		166,00		
Mittlere Losgröße:				
Bimin:		3,71	5,56	10,14
ZAUm:		3,27	4,90	8,63
ZDFm:		0,20	0,31	0,54
Standardabweichung (ZAU):		1,20	1,80	3,61
Variationskoeffizient (ZAU):		0,37	0,37	0,42
Prozessfähigkeit* (ZAU):		0,23	0,23	0,20
Standardabweichung (ZDF):		0,08	0,11	0,23
Variationskoeffizient (ZDFm):		0,37	0,37	0,42

Kostendaten			
Rohmaterialkosten [€/Stk.]		15	15
Wertschöpfungskosten [€/Stk.]		1,5	3
Herstellkosten [€/Stk.]		22,5	45
Rüsten	Sachkosten (€/Vorgang)	30	30
	Lohnkosten (€/Vorgang)	20	20
	Planstundenzahl	60	60
Bearbeiten	Sachkosten, fix	30.000	40.000
	Personal, fix	60.000	70.000
	Planstundenzahl	250	300
	Sachkosten, var	50.000	75.000
	Personal, var	30.000	55.000
	Planstundenzahl	400	675
Prozesskostensatz			
Rüsten [€]		0,83	0,83
Bearbeiten, fix [€]		360,00	366,67
Bearbeiten, var [€]		200,00	192,59
Werte Bestandskostenrechnung			
mittlerer Wert des Auftragsbestands (€/Std.)		74.700,00	149.400,00
Zinssatz (%)		7,00	7,00

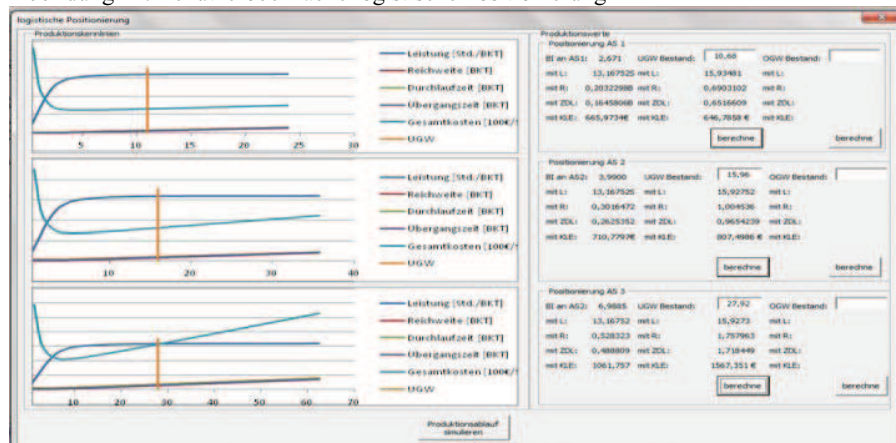
Im nächsten Schritt müssen die Produktions- und Kostenkennlinien erstellt werden. Dabei hilft eine grafische Oberfläche, welche über das Tabellenblatt „Start“ erreicht werden kann. Nachfolgende Abbildung zeigt die vollständig ausgefüllte Oberfläche für Szenario B, bevor die Berechnung der Produktionskennlinien durchgeführt werden kann. In der linken Listbox „Auftragsfeld“ sind in die Aufträge für Szenario B (siehe Anhang) hinterlegt. Im Frame Produktionsplanung sind zwei Listboxen für die idealen Mindestbestände und die maximale Leistung an den Arbeitssystemen (AS) 1,2 und 3 zu erkennen. Arbeitssystem 1 entspricht im Beispiel dem Prozess „Stanzen“, Arbeitssystem 2 dem Prozess „Schleifen“ und Arbeitssystem 3 dem Prozess „Oberfläche behandeln“. Es sind die entsprechenden Werte für Szenario B in Abbildung 30 zu erkennen.

Abbildung 11. Eingabefelder der Benutzeroberfläche

6.2. Berechnung Produktionskennlinien

Wurden im Schritt zuvor die notwendigen Starteinstellungen gewählt, kann durch den Button „logistische Positionierung“ die Berechnung der Produktionskennlinien und Strukturkenn-größen der Prozesse anfangen. Die Abbildung 12 zeigt die Oberfläche. Für jede Arbeitsstation ist ein eigenes Produktionskennlinien- Diagramm zu erkennen. Rechts davon sind in erster Spalte die Kennwerte für den idealen Mindestbestand abzulesen.

Abbildung 12. Benutzeroberfläche logistische Positionierung



7. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

In dieser Arbeit wurde ein Verfahren zu leistungsorientierten Bewertung und Steuerung und Bewertung von Lieferketten vorgestellt. Das Konzept ermöglicht eine zielkonforme Positionierung von Lieferketten und eine entsprechende Generierung von Kennwerten. Letzteres wird dem laufenden Prozess zugrunde gelegt und, bei einer zu großen Abweichung, steuernde Maßnahmen eingeleitet. Regelnd wird in die Lieferkette durch eine Rückstandssteuerung eingegriffen. Schwerpunkt der entwickelten Methodik ist die Betrachtung unternehmensinterner linearer Lieferketten. Für eine Ausweitung auf unternehmensübergreifende komplexe Lieferkettenstrukturen wäre eine Untersuchung der Zielgrößen zur Abstimmung notwendig. Reich zeigt bspw. eine Methode auf, wie mit dem House of Quality logistische Prozesse einer unternehmensübergreifenden Lieferkette beurteilt werden können (vgl. Reinsch, 2003.). Erweitern ließe sich das Modell durch weitere bestandsorientierte Auftragsfreigabeverfahren, die einen arbeitssystemspezifischen Belastungsabgleich durchführen. Dadurch kann eine ggf. detailliertere Bestandslenkung erreicht werden. Außerdem wären neben der reinen FIFO eine Untersuchung weitere Auftragsreihenfolgeverfahren denkbar. Zudem lässt sich eine Modellverfeinerung erreichen, indem in das aufgezeigte Kostenmodell die Aufwände für die PPS mit einbezogen werden.

LITERATUR

1. Kaluza, B. & Blecker, T. P.: Erfolgsfaktor Flexibilität: Strategien und Konzepte für wandlungsfähige Unternehmen, Erich Schmidt Verlag GmbH & Co., Berlin, 2005.
2. Bauer, J.: Produktionscontrolling, GWV Fachverlage, Wiesbaden, 2005.
3. Breithaupt, J.W.; Panten, M.: Maximierung der Termintreue durch Produktionsregelung. Industrie Management, 18 (2002) 2, S. 25-28.
4. Gudehus, T.: Logistik 2: Netzwerke, Systeme und Lieferketten, Springer, Berlin, 2000.

5. Hamady, M.: Ein Ansatz zur Gestaltung des operativen Fertigungsmanagements innerhalb der Lieferkette, Dissertation, Paderborn, 2003.
6. Kerner, A.: Modellbasierte Beurteilung der Logistikleistung von Prozessketten, Dissertation, Hannover, 2002.
7. Lödging, H.: Verfahren der Fertigungssteuerung, Springer, Berlin, 2005.
8. LOGIBEST : Benchmarking in Produktionsunternehmen, Abruf: August, 2011.
9. Heinrich, M.: Transport- und Lagerlogistik, Vieweg + Teubner Verlag, Wiesbaden, 2009.
10. Jodlbauer: Produktionsoptimierung, Springer, Berlin, 2008.
11. Nyhuis, P.; Wiendahl, H. P.: Logistische Kennlinien, Springer, Berlin, 1999.
12. Nyhuis, P.: Beiträge zu einer Theorie der Logistik, Springer, Berlin, 2008.
13. Posluschny, P.: Kostenrechnung leicht gemacht, Redline, München, 2009.
14. Reinsch, S. : Kennzahlenbasierte Positionierung der Logistik von Lieferketten, Dissertation, Hannover, 2003.
15. Stein, B.; Voith, C.: Modell zur Losgrößenoptimierung am Beispiel der Blechteilindustrie für Automobilzulieferer, 2011.
[http://www.hawaw.de/fileadmin/user_upload/Aktuelles/Veroeffentlichungen/wen-diskussionspapier11.pdf , Abruf: Oktober 2011.].
16. VDI 4400-01: Logistikkennzahlen für die Beschaffung, Beuther, Berlin, 2001.
17. VDI 4400-02: Logistikkennzahlen für die Produktion, Beuther, Berlin, 2001.
18. VDI 4400-03: Logistikkennzahlen für die Distribution, Beuther, Berlin, 2001.
19. Wiendahl, H.-P.: Betriebsorganisation für Ingenieure, Hanser, München, 2010.