

Kon-Cept

Produktionskennlinienverfahren

Produktionskennlinienverfahren,
Vier-Partner-Modell, Betriebskennlinien
und Optimierungsansätze

Mai 2008

Inhalte

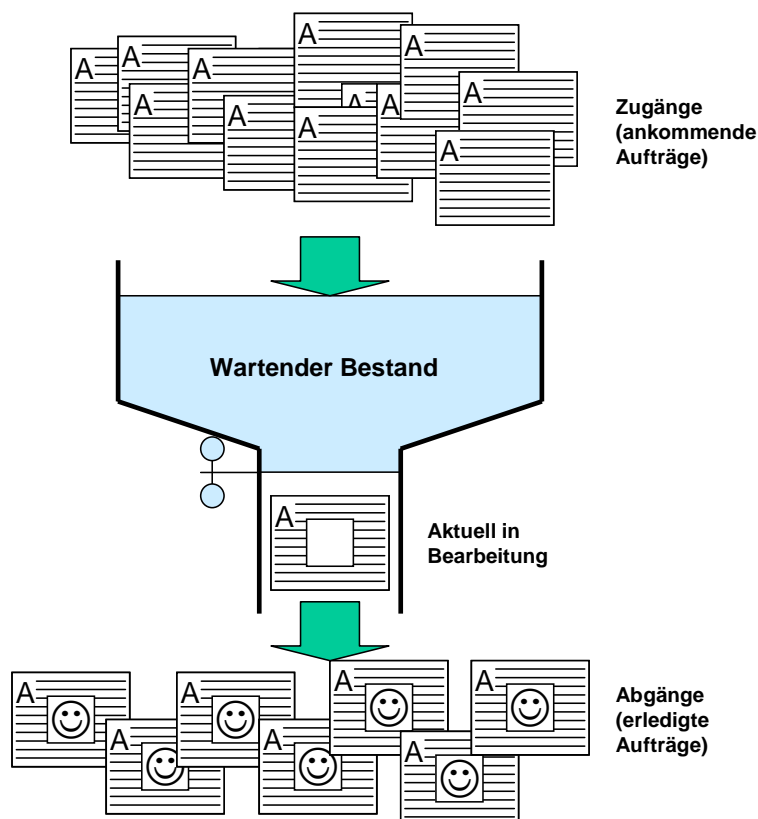
1.	Produktionskennlinienverfahren	3
1.1.	Das Trichtermodell der Fertigung	3
1.2.	Das Durchlaufdiagramm	4
1.3.	Einlastungsbedingte Probleme	6
1.4.	Strukturbedingte Probleme	6
1.5.	Schwankungen von Zu- und Abgängen	7
2.	Das Vier Partner Modell	8
2.1.	Der Partner Mensch	9
2.2.	Engpässe	10
3.	Die Betriebskennlinien	11
3.1.	Grundlegende Überlegungen	11
3.2.	Theoretisches Modell der optimalen Fertigung	12
3.3.	Reale Betriebskennlinien	13
3.4.	Der Arbeitspunkt der Fertigung	14
4.	Die Ermittlung der Betriebskennlinien	16
4.1.	Der Flussfaktor	16
4.2.	Die Auslastung	17
4.3.	Der Variationsfaktor	17
4.4.	Der Bestand	18
5.	Optimierungsansätze	19
5.1.	Maßnahmen zur Erhöhung der Kapazität	20
5.2.	Maßnahmen zur Reduktion von Variationen	21
5.3.	Quantifizierung von Maßnahmen zur Reduktion von Variationen	22
6.	Beispiel eines realen Optimierungsprojekts	26
6.1.	Ausgangssituation	26
6.2.	Zielvorgabe	26
7.	Zusammenfassung	28

1. Produktionskennlinienverfahren

Das Betriebskennlinienverfahren bietet eine einfache und in der Praxis gut anwendbare Methodik für das Assessment der Performance von Fertigungssystemen. Fertigungssysteme sind, wie oben bereits erläutert, komplexe Systeme, die sich einer einfachen algebraischen Analyse entziehen. Das Betriebskennlinienverfahren bietet eine einfache Heuristik, mittels der die Performance einer Fertigung beurteilt werden kann und die direkt die Beurteilung der Auswirkung von Änderungen ermöglicht.

1.1. Das Trichtermodell der Fertigung

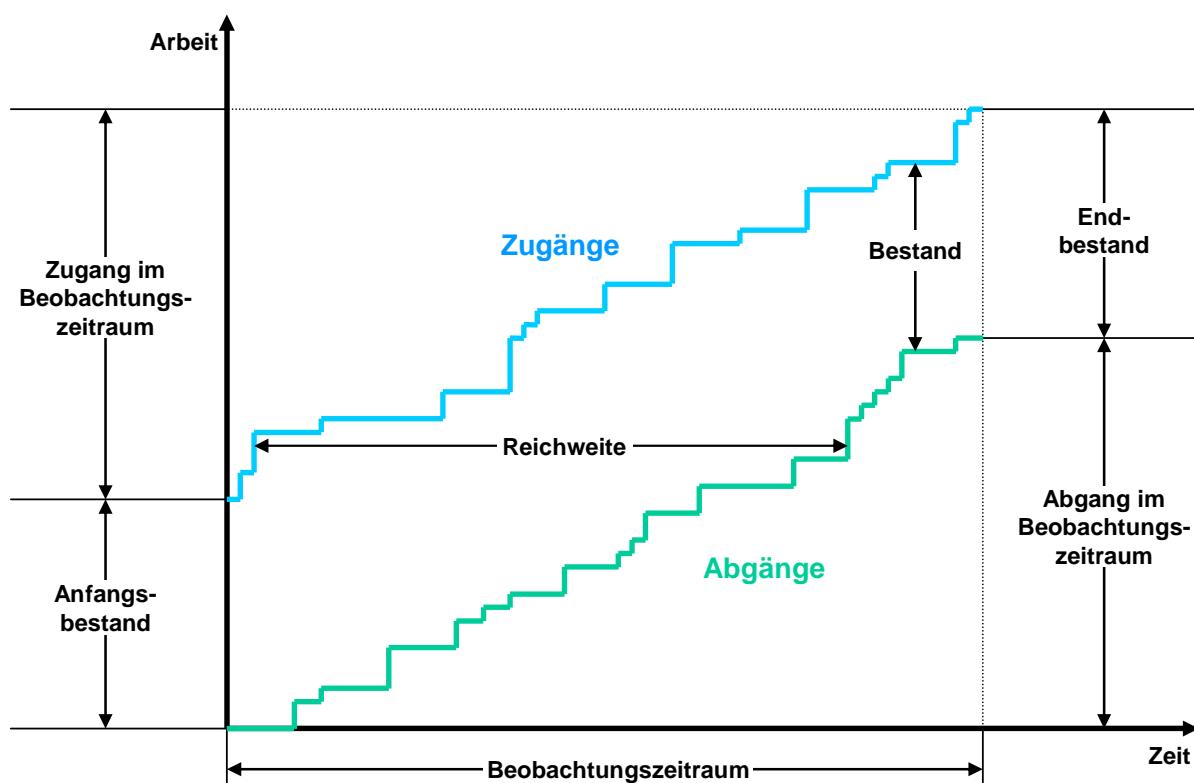
Das Betriebskennlinienmodell fokussiert als Heuristik auf Parameter, die die Performance einer Fertigung global beschreiben und geht hierbei nicht auf die Besonderheiten der Fertigung hinsichtlich technischer oder logistischer Gegebenheiten ein. Der Heuristik liegt das Trichtermodell der Fertigung zugrunde, welches in der folgenden Abbildung dargestellt ist:



Die Fertigung kann in einer sehr vereinfachten Darstellung als ein Trichter aufgefasst werden. Auf der oberen Seite über dem Trichter warten alle für die Fertigung geplanten Aufträge auf ihre Bearbeitung. Im Trichter selbst befinden sich wartender Bestand und Aufträge, welche aktuell in Bearbeitung sind, während unten aus dem Trichter fertige Aufträge herauskommen. Ankommende Aufträge werden auch als Zugang, erledigte Aufträge als Abgang bezeichnet.

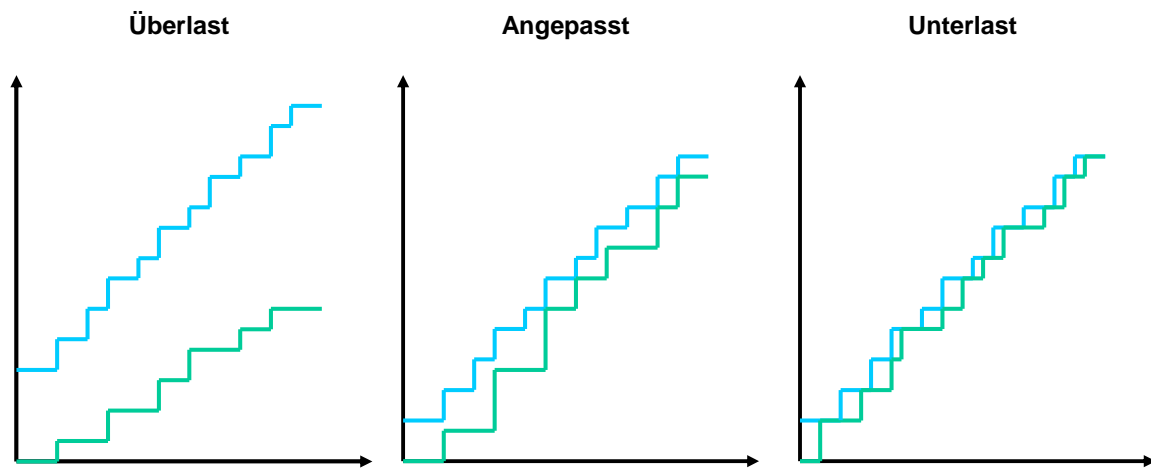
1.2. Das Durchlaufdiagramm

Auf Basis des Trichtermodells ist es möglich, ein Durchlaufdiagramm zu erstellen, indem die Veränderungen der Zugänge und der Abgänge über der Zeit aufgezeichnet werden. Die Erstellung von Durchlaufdiagrammen kann in Form von Berichten aus Daten, welche im Produktionssystem gespeichert sind, erfolgen. Folgende Abbildung zeigt ein Beispiel für ein Durchlaufdiagramm:



Zu Beginn des Beobachtungszeitraums besteht in der Fertigung ein bestimmter Anfangsbestand. Dieser kann durch eine Inventur oder auf Basis von Daten im Produktionssystem ermittelt werden. Ebenso ergibt sich am Ende des Beobachtungszeitraums ein Endbestand von Aufträgen in der Fertigung. Üblicherweise korreliert der Bestand in der Fertigung mit der Durchlaufzeit. Die Bedeutung dieses Parameters wird weiter unten beschrieben.

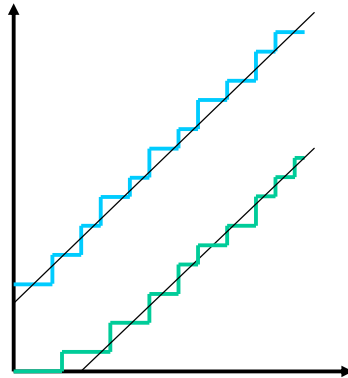
Aus dem Durchlaufdiagramm kann bereits auf die Lastsituation in der Fertigung geschlossen werden, wie folgende Abbildung zeigt:



Wenn die Zugänge stärker steigen, als die Abgänge, so ist die Fertigung überlastet. Wenn auf der anderen Seite der Bestand immer wieder auf Null sinkt (Zugang = Abgang), dann ist die Fertigung nicht ausgelastet. Anzustreben ist ein Arbeitspunkt im angepassten Bereich, wie in der Mitte dargestellt, in der der Bestand an der Linie abgesehen von temporären Schwankungen konstant bleibt.

1.3. Einlastungsbedingte Probleme

Folgende Abbildung zeigt das Durchlaufdiagramm im Fall einlastungsbedingter Probleme:

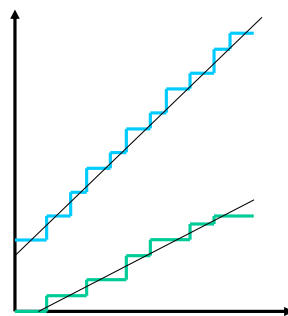


Die Fertigung wird weder über- noch unterlastet. Dies ist dadurch erkennbar, dass die Zugangs- und Abgangskennlinien weitgehend parallel verlaufen. Der Bestand in der Linie ist allerdings zu hoch. Dieses Problem ist bedingt durch die Einlastung. Typische Maßnahmen zur Lösung solcher Probleme sind:

- Redimensionierung von Puffern und Sicherheitsbeständen
- Zeitlich beschränkte Maßnahmen zur Kapazitätsanpassung (z.B. Sonderschichten, flexible Arbeitszeitmodelle)
- Zeitlich beschränkte Anpassung der Einlastung (z.B. Sonderaktion des Marketings zum Abbau von Ladenhütern)

1.4. Strukturbedingte Probleme

Die Einlastung von Aufträgen und die Leistung der Fertigung sind nicht aufeinander abgestimmt. Dies ist daraus zu erkennen, dass die Zugangs- und die Abgangskennlinien nicht parallel verlaufen. Folgende Abbildung zeigt dies:

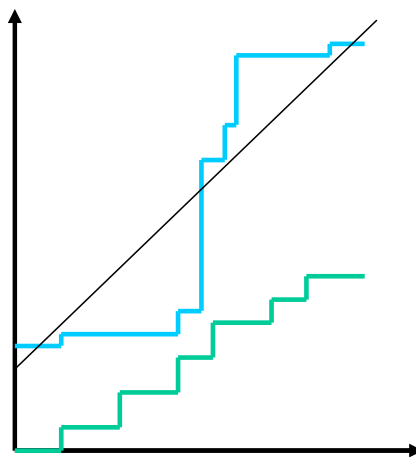


Strukturbedingten Problemen kann man nicht durch kurzfristige Maßnahmen zur Bestandsangleichung, wie etwa Überstunden oder Sonderschichten beikommen. Wirksam sind hier nur langfristige Maßnahmen, wie z.B.:

- Änderung der Losgrößenstrategie
- Kapazitätsanpassung (z.B. Einstellen zusätzlicher Mitarbeiter, Investition in neue Maschinen)
- Anpassung der Einlastung (z.B. veränderte Preisstrategie, Anpassung des Produktportfolios, Adressierung anderer Märkte)

1.5. Schwankungen von Zu- und Abgängen

Folgende Abbildung zeigt ein typisches Bild, welches sich bei schwankenden Zu- und Abgängen ergibt:

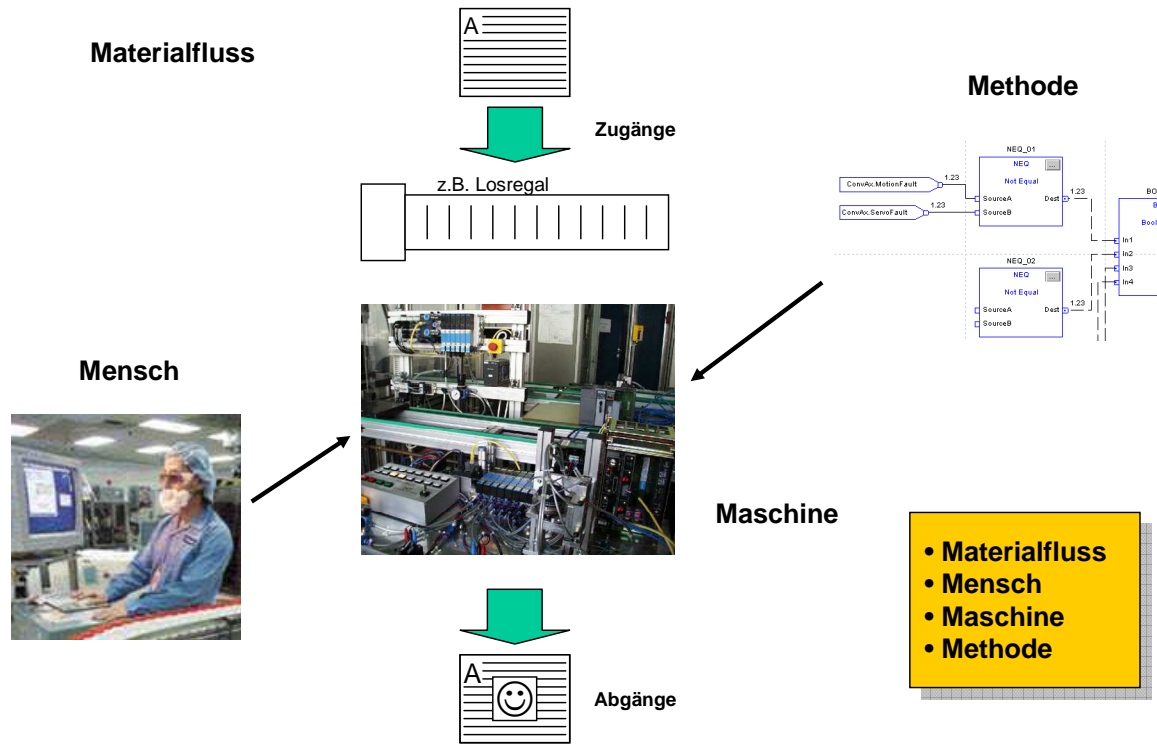


Zu und / oder Abgänge verlaufen sehr ungleichmäßig, was zu erheblichen Variationen in der Fertigung führt. Hier müssen Maßnahmen zur Glättung der Zu- und / oder Abgänge ergriffen werden. Mögliche Maßnahmen sind:

- Glättung der Fertigungsleistung (z.B. Veränderung der Wartungsintervalle, Reorganisation der Schichtmodelle, Verringerung von Losgrößen und Pufferlagern)
- Glättung des Zuflusses (z.B. Reduktion der Einschleusungsintervalle, Reduktion der Produkt- und Variantenvielfalt innerhalb der Fertigungslinie durch Segmentierung der Fertigung)

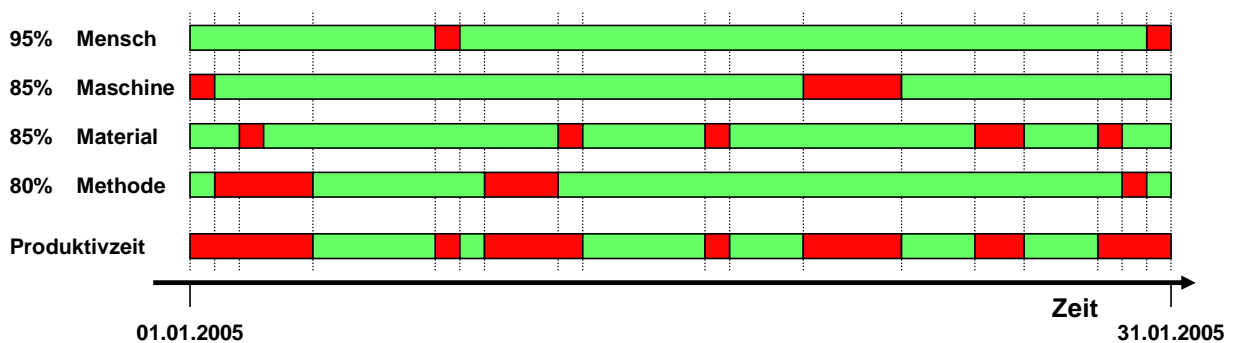
2. Das Vier Partner Modell

Folgende Abbildung illustriert das Vier Partner Modell:



Für den Betrieb einer Fertigung müssen stets vier verschiedene Produktionspartner bereitstehen, nämlich Mensch, Maschine, Material und Methode. Wenn einer der Produktionspartner nicht verfügbar ist, so kommt es zum Stillstand der Fertigung.

Je besser die vier Produktionspartner in ihren Verfügbarkeiten aufeinander synchronisiert sind, umso höher ist die Gesamtverfügbarkeit der Fertigung. Folgende Abbildung zeigt ein einfaches Beispiel zu dieser Überlegung:



Wenn die Verfügbarkeiten der vier Produktionspartner nicht aufeinander abgestimmt sind, so ergibt sich die Gesamtverfügbarkeit aus dem Produkt der Verfügbarkeiten der einzelnen Produktionspartner. Die Produktivzeit errechnet sich für das Monat also zu:

$$\begin{aligned}\text{Produktivzeit} &= 31 \text{ Tage} * (0,95 * 0,85 * 0,85 * 0,80) \\ &= 17 \text{ Tage}\end{aligned}$$

Bei einer optimalen Synchronisation der Produktionspartner ergibt sich die Gesamtverfügbarkeit als Minimum der Verfügbarkeiten der einzelnen Produktionspartner. Die Produktivzeit errechnet sich nun zu:

$$\begin{aligned}\text{Produktivzeit} &= 31 \text{ Tage} * \min(0,95 ; 0,85 ; 0,85 ; 0,80) \\ &= 25 \text{ Tage}\end{aligned}$$

Die Erhöhung der Verfügbarkeit der Fertigung hat einen direkten Einfluss auf den Durchsatz der Fertigung, denn der Durchsatz errechnet sich zu:

$$\text{Durchsatz} = \frac{\text{Gesamtzeit} \cdot \text{Verfügbarkeit}}{\text{Taktzeit}}$$

2.1. Der Partner Mensch

Die Erhöhung der Verfügbarkeit des Partners Mensch bedarf besonderer Maßnahmen, die sich von den technischen Maßnahmen, welche helfen können, die Verfügbarkeit von Maschinen zu verbessern, unterscheiden. Beispiele für Maßnahmen zur Erhöhung der Verfügbarkeit des Partners Mensch sind:

Gute Koordination von Pausen- und Übergabezeiten, sowie dienstlich bedingter Abwesenheiten

Flexibler Einsatz von Springern zum Ausgleich von Fluktuationen der Belastung einzelner Maschinen sowie für Ausfallszeiten von Mitarbeitern

Senkung der krankheitsbedingten Ausfälle durch gesundes, motivierendes Klima

Schaffung eines Bewusstseins für ungünstige Situationen, Verdeutlichung der Notwendigkeit, die Produktionspartner aufeinander abzustimmen (z.B. Zeiten für Schulung, Pausen etc. auf Zeiten verlegen, in denen Maschinen ohnehin wegen Wartung stillstehen)

Motivierte und informierte Mitarbeiter sind die beste Voraussetzung für den optimalen Betrieb der Fertigung. Investitionen in die Motivation, Ausbildung und Zufriedenheit von Mitarbeitern sind daher nicht als soziales Engagement zu verstehen, sondern helfen, deren Verfügbarkeit zu erhöhen. Diese Aufwende rechnen sich daher relativ schnell und sind ebenso zu betrachten, wie Investitionen in Maschinen, die Wertschöpfungskette oder neue Fertigungsmethoden.

2.2. Engpässe

Engpassmaschinen erfordern besondere Maßnahmen, da sich deren Verfügbarkeit direkt auf die Verfügbarkeit der Fertigung auswirkt. Produktionsleitsysteme können jederzeit zur Ermittlung von Engpässen in der Fertigung herangezogen werden, wobei sich je nach Struktur der Fertigung zwei Kriterien für die Beurteilung von Engpässen eignen:

Wartender Bestand – In Fertigungen, die keine Linienstruktur aufweisen, wie z.B. Teilefertigung oder mechanische Fertigung, können Engpassmaschinen anhand der Menge des wartenden Bestandes vor der Maschine (Länge der Warteschlange) ermittelt werden.

Taktzeit – In Fertigungen mit Linienstruktur bilden jene Stationen Engpässe, deren Bearbeitungszeit knapp an der Taktzeit liegt. Dies wird sofort klar, wenn man bedenkt, dass eine Station, die knapp an der Taktzeit liegt, wesentlich längere Zeit benötigt, den Ausfall eines Taktes wieder aufzuholen, als eine Station mit Taktzeitreserven.

Verfügbarkeit – In Fertigungen mit starrer Kopplung (z.B. Schubplattform) ist die Verfügbarkeit der Station (Gesamtverfügbarkeit) das Kriterium für die Auswahl von Engpässen.

Engpässe können nur durch langfristige Maßnahmen erfolgreich beseitigt werden, welche sich oftmals nicht rechnen (z.B. Anschaffung einer zweiten Maschine). In vielen Fällen wird man also mit Engpassmaschinen leben müssen. Dennoch kommt eine Reihe von Maßnahmen in Betracht, die helfen, die Verfügbarkeit von Engpassmaschinen zu erhöhen. Beispiele sind:

An der Engpassmaschine darf der Materialfluss niemals abreißen (Materialverfügbarkeit von 100% z.B. durch Vorhalten von Puffern)

An einer Engpassmaschine müssen jederzeit Bediener bereitstehen (Personalverfügbarkeit 100% z.B. durch Springer oder Aushilfe durch Bediener anderer Maschinen)

Minimierung geplanter und ungeplanter Stillstände durch maximale Wartungsabdeckung (z.B. Nacht- und Wochenendbereitschaft, Serviceverträge)

Verstärkte Maßnahmen zur Erhöhung der Produktionsgeschwindigkeit (z.B. Optimierung der Steuerprogramme, des Fertigungsprozesses oder Minimierung von Rüstzeiten)

3. Die Betriebskennlinien

Auf Basis der nun vorgestellten Modelle sollen nun schrittweise die Betriebskennlinien entwickelt werden, indem zunächst ein Modell für die optimale Fertigung, welche in der Realität nicht existiert, entwickelt werden soll. Dieses Modell wird dann verallgemeinert, bis es auf reale Fertigungen angewendet werden kann.

3.1. Grundlegende Überlegungen

Das Betriebskennlinienmodell geht von der Überlegung aus, dass folgende Maßnahmen zu einer Erhöhung der Fertigungsleistung führen:

Erhöhung der Verfügbarkeiten der Fertigungspartner

(Mensch, Maschine, Material, Methode)

z.B. Erhöhung der Kapazitäten durch Einstellen von Personal oder Ankauf von Maschinen

Verminderung von Rüstzeiten

Vereinfachung von Verfahren

Reduktion der Variationen (Schwankungen) der einzelnen Verfügbarkeiten im Zeitverlauf

Optimierung des Personalmanagements

Verbesserte Instandhaltungsstrategie

Glättung des Materialflusses

Steigerung des Synchronisationsgrades – Reduktion der Variationen der Synchronisation der einzelnen Partner im Zeitablauf

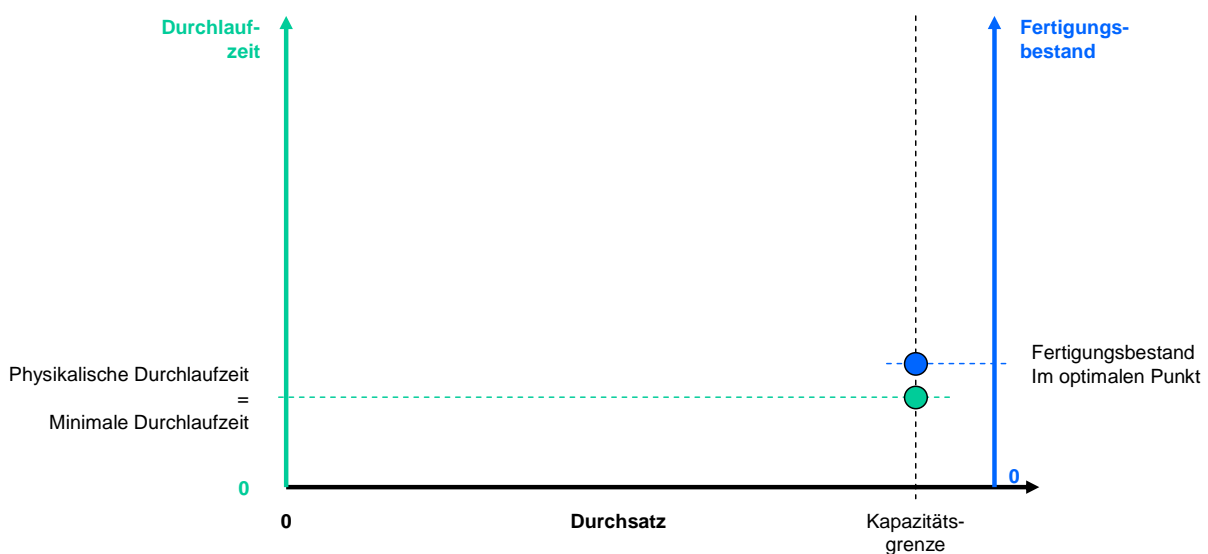
Glättung der Einschleusung

Flussglättung auf Ebene der Partner

Terminierung von Verwaltungstätigkeiten auf Stillstandszeiten

3.2. Theoretisches Modell der optimalen Fertigung

Zunächst soll in einem Modell eine theoretische Fertigung betrachtet werden, in welcher keinerlei Störeinflüsse existieren. In dieser optimalen Fertigung sind alle Produktionspartner optimal synchronisiert und zu 100% verfügbar. Die wesentlichsten Parameter für die Beurteilung des Arbeitspunktes dieser Fertigung sind die Durchlaufzeit bezogen auf den Durchsatz und der Bestand bezogen auf den Durchsatz. Hiermit ergibt sich folgende Darstellung:



Die physikalische Durchlaufzeit ist die optimale Durchlaufzeit durch eine Fertigung, die dann erreicht wird, wenn kein Teil an einer Station auf seine Bearbeitung oder auf den Weitertransport zur nächsten Station warten muss. Sie entspricht also der Summe aus allen Bearbeitungs- und Transportzeiten und kann auf folgende Weise ermittelt werden:

Wenn eine leere Fertigung vorliegt, in der kein Bestand vorhanden ist (z.B. Situation beim Hochfahren nach dem Urlaub, wenn die Fertigung zuvor leergefahren wurde), so kann die Durchlaufzeit des ersten Teils, welcher eingesteuert wird, ermittelt werden. Da der erste Teil noch an keiner Stelle warten muss, ist die gemessene Durchlaufzeit sehr nahe an der physikalischen Durchlaufzeit.

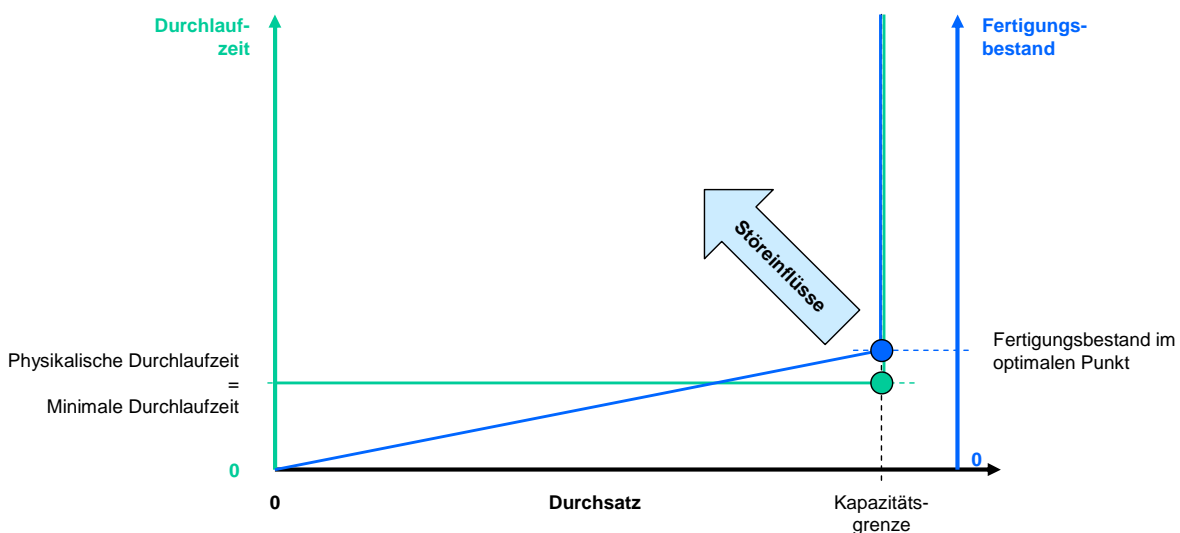
Wenn keine leere Fertigung hergestellt werden kann, so kann die Durchlaufzeit auch auf Basis von Planunterlagen der Prozessentwicklung abgeschätzt werden.

Da in unserem Fall eine ideale Fertigung vorliegt, ist die Durchlaufzeit gleich der physikalischen Durchlaufzeit und damit unabhängig vom Durchsatz immer konstant.

Der Durchsatz selbst kann nur zwischen 0% und der Kapazitätsgrenze liegen, diese aber nicht überschreiten. Der maximale Durchsatz ist durch den oben angegebenen Zusammenhang begrenzt (Durchsatz = Gesamtzeit / Taktzeit).

Der Fertigungsbestand kann in der optimalen Fertigung beliebige Werte annehmen, ist aber in der Praxis durch die vorhandene Stellfläche und die vorhandenen Plätze in den einzelnen Puffern begrenzt.

Wenn unsere optimale Fertigung aus dem Stillstand bis zur Kapazitätsgrenze hochgefahren wird, so ergibt sich folgendes Bild:



Die Durchlaufzeit bleibt bis zum Erreichen der Kapazitätsgrenze konstant, während der Bestand in der Fertigung linear zunimmt. Diese lineare Zunahme ist recht einfach zu erklären, da mit jedem Takt ein neuer Teil oder eine neue Charge zum Bestand hinzukommt, bis alle Stationen belegt sind.

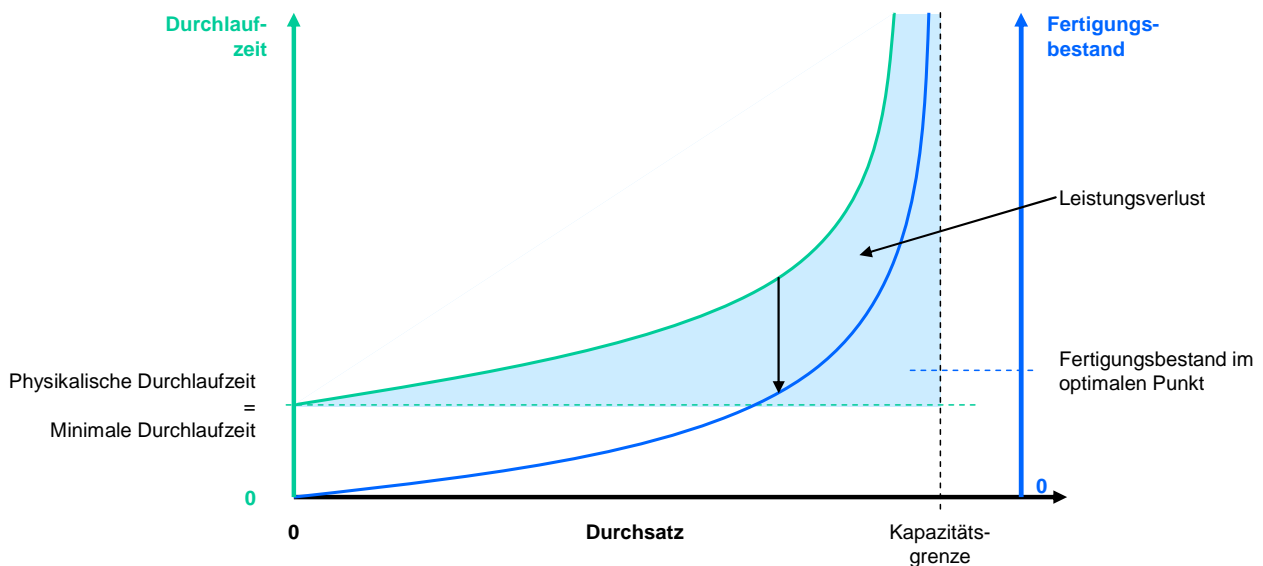
3.3. Reale Betriebskennlinien

Wenn man vom Modell einer optimalen Fertigung abgeht und Störeinflüsse berücksichtigt, so wirken sich Störungen in zwei Weisen aus:

Erhöhung der Durchlaufzeit – Störungen führen dazu, dass Teile in der Fertigung warten müssen, bis sie an einer Station bearbeitet oder zur nächsten Station gefördert werden. Dies führt zu einer Erhöhung der Durchlaufzeit, die umso größer wird, je mehr sich der Durchsatz der Kapazitätsgrenze nähert-

Erhöhung des Bestandes – Dadurch dass vermehrt Teile in der Fertigung warten müssen, erhöht sich deren Gesamtanzahl und damit der Bestand. Diese Erhöhung korreliert ebenfalls mit dem Durchsatz.

Zusammenfassend bedeutet dies, dass Störeinflüsse die idealen Betriebskennlinien nach links oben und damit weg vom Optimum drängen. Dies führt zu folgendem Bild der realen Betriebskennlinien:



Die Fläche im Diagramm, welche zwischen der optimalen Betriebskennlinie und der realen Betriebskennlinie liegt, wird als Leistungsverlust bezeichnet.

Es ist wichtig, festzuhalten, dass sich die Kennlinien an der Kapazitätsgrenze asymptotisch verhalten. Dies bedeutet, dass die Kapazität einer Fertigung eine theoretische Größe ist und von einer realen Fertigung niemals erreicht werden kann. Der Begriff der Kapazität wird in vielen Betrieben und Publikationen fälschlich für tatsächlich erreichte oder geplante Produktionszahlen verwendet.

3.4. Der Arbeitspunkt der Fertigung

Da nun die reale Betriebskennlinie vorliegt, stellt sich die Frage nach dem optimalen Arbeitspunkt, in dem die Fertigung betrieben werden soll. Der optimale Arbeitspunkt ist abhängig vom Einzelfall und der Situation des Unternehmens. Folgende Einflussfaktoren sind für die Auswahl des optimalen Arbeitspunktes ausschlaggebend:

Wie ist die Auftragslage?

Zugänge, Belastung - Je mehr das Unternehmen sich vom Verkäufer- in einen Käufermarkt bewegt, desto schlechter steuerbar werden die Zugänge.

Je feiner die Taktung der Einschleusung, desto besser

Welche Lieferzeiten fordert der Markt?

Kurze Lieferzeiten erfordern kurze Durchlaufzeiten

Konstante Lieferzeiten erforderlich geringe Variationen

Welche Lieferzeit hält die Änderungen und Risiken in Grenzen?

Durchlaufzeit

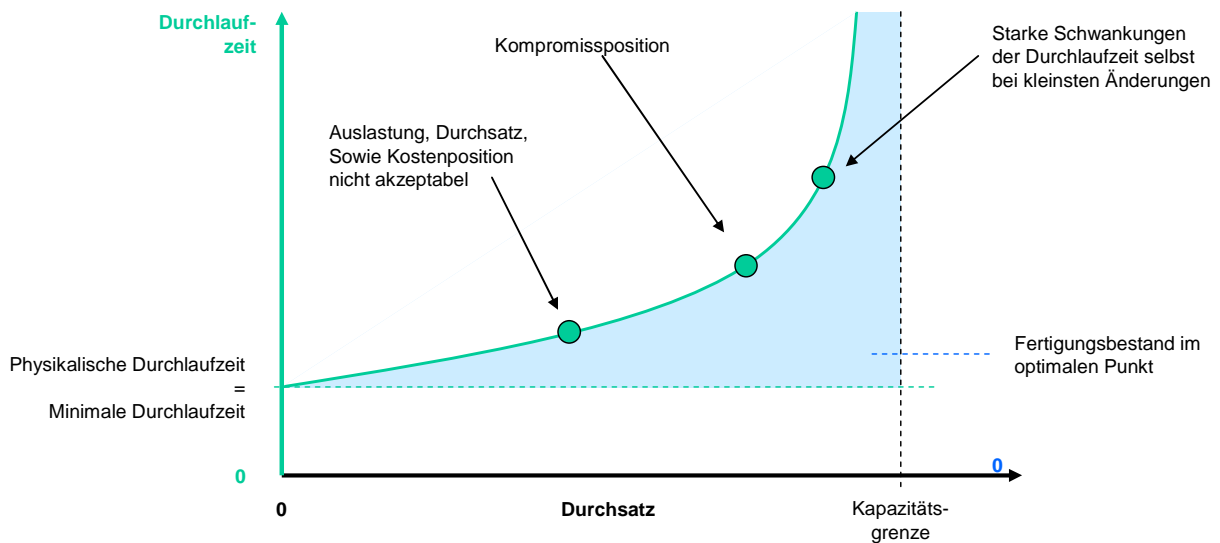
Wie kapital- bzw. personalintensiv ist die Fertigung?

Je Ressourcenintensiver eine Fertigung ist, desto höher muss die erzielte Volumendegression werden. Hiermit muss auch die Auslastung und damit der Durchsatz steigen.

Welche Kostenposition verlangt der Markt? (Volumendegression)

Auslastung

Folgende Abbildung zeigt die Situation in der Betriebskennlinie:



4. Die Ermittlung der Betriebskennlinien

Der Vorteil am Betriebskennlinienverfahren ist, dass die Betriebskennlinien auf einfache Weise ermittelt werden können. Hierfür sind zunächst einige Größen zu definieren.

4.1. Der Flussfaktor

Der Flussfaktor (FF) entspricht dem Verhältnis der tatsächlich benötigten Durchlaufzeit (DLZ) inkl. Liege- und Wartezeiten zur minimalen physikalischen Durchlaufzeit (PDLZ).

Hiermit errechnet sich der Flussfaktor nach folgender Formel:

$$FF = \frac{DLZ}{PDLZ}$$

Die Ermittlung der physikalischen Durchlaufzeit wurde oben bereits erläutert. Die tatsächliche Durchlaufzeit sollte dann ermittelt werden, wenn sich die Fertigung im eingeschwungenen Zustand befindet, also weder in einer Anlauf- noch in einer Auslaufphase. Die Voraussetzung für die korrekte Ermittlung der Durchlaufzeit ist, dass sich ein stabiler Bestand in der Fertigung gebildet hat.

Die Durchlaufzeit kann auf einfache Weise gemessen werden, indem ein Teil, welcher in die Fertigung eingeschleust wird, gekennzeichnet wird. Aus der Differenz der Zeit, zu der der Teil die Fertigung verlässt und der Zeit, zu der der Teil eingeschleust wurde, kann die Durchlaufzeit errechnet werden.

Im Falle der optimalen Fertigung ist die Durchlaufzeit gleich der physikalischen Durchlaufzeit und der Flussfaktor gleich 1. In der Praxis liegt der Flussfaktor meist bei 2 – 3 oft aber auch höher. Je höher der Flussfaktor wird, desto höher sind die unproduktiven Wartezeitanteile.

4.2. Die Auslastung

Die Auslastung (AL) ist der Quotient aus Durchsatz pro Zeiteinheit (DPZ) und Kapazität (KAPA). Sie ergibt sich zu:

$$AL = \frac{DPZ}{KAPA} \quad 0 \leq AL \leq 1$$

Im Optimalfall ist die Auslastung $AL = 1$. Dieser Wert kann in der Praxis allerdings nicht erreicht werden.

Der Durchsatz pro Zeiteinheit kann durch Einsatz einer Stoppuhr und Abzählen der Teile sehr einfach ermittelt werden. Die Kapazität wird oft fälschlicherweise mit dem Durchsatz verwechselt, kann allerdings nicht durch Messung in der Fertigung bestimmt werden.

4.3. Der Variationsfaktor

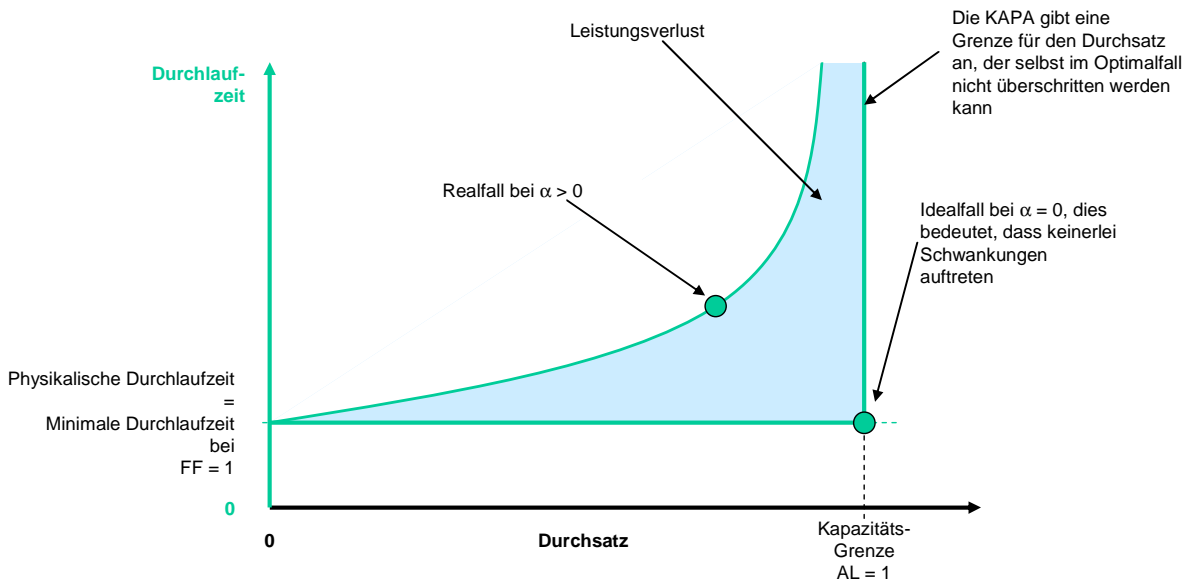
Der Variationsfaktor α modelliert Schwankungen im Produktionssystem, die von Änderungen in den Verfügbarkeiten der Produktionspartner herrühren und ergibt sich zu:

$$FF = \alpha \frac{AL}{1 - AL} + 1 \quad 0 \leq AL \leq 1, \alpha > 0$$

Im Optimalfall gilt $\alpha = 1$.

FF, AL und α beschreiben die Lage der Betriebskennlinie. In der Realität kann eine 100% Auslastung nicht erreicht werden, da dies mit unendlich großen Wartezeiten und unendlich hohem Bestand in der Linie verbunden wäre.

Dies bedeutet für die Betriebskennlinie:



Der Leistungsverlust wird von der Fertigung, aber auch von der steuernden Einheit (Fertigungssteuerung) bestimmt, welche die Einsteuerung von Aufträgen in die Fertigung und die Steuerung der Logistik vornimmt.

Als Faustregel gilt: **Je tiefer die Betriebskennlinie liegt, desto besser.**

4.4. Der Bestand

Der aktuelle Fertigungsbestand (WIP) kann aus der Durchlaufzeit (DLZ) und den Durchsatz (DPZ) berechnet werden, wie folgende Formel zeigt:

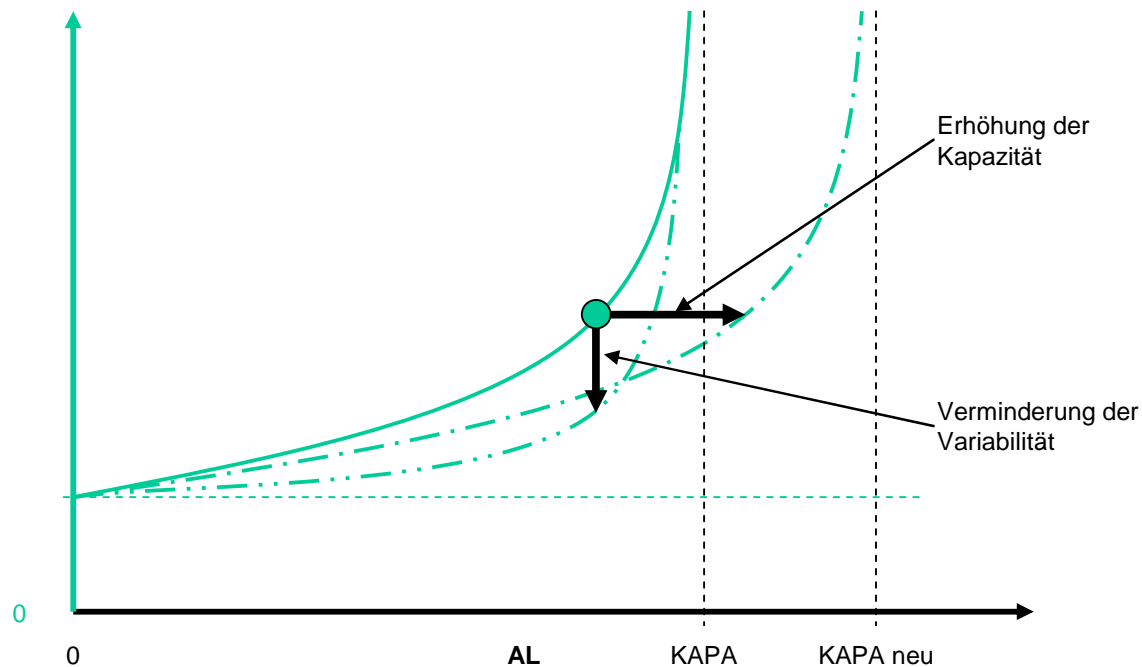
$$WIP = DLZ \cdot DPZ \quad WIP = \alpha \frac{DPZ}{\frac{KAPA}{DPZ} - 1} \cdot PDLZ + DPZ \cdot PDLZ$$

Die rechte Formel gibt die Kennlinie für den Fertigungsbestand an, der aus Variationsfaktor α , Durchsatz (DPZ), Kapazität (KAPA) und physikalischer Durchlaufzeit (PDLZ) errechnet wird.

Der aktuelle Fertigungsbestand kann durch abzählen des Bestandes in der Linie, also durch eine Inventur ermittelt werden.

5. Optimierungsansätze

Folgende Abbildung zeigt die möglichen Optimierungsansätze für Fertigungsbetriebe aus der Sichtweise des Betriebskennlinienverfahrens:



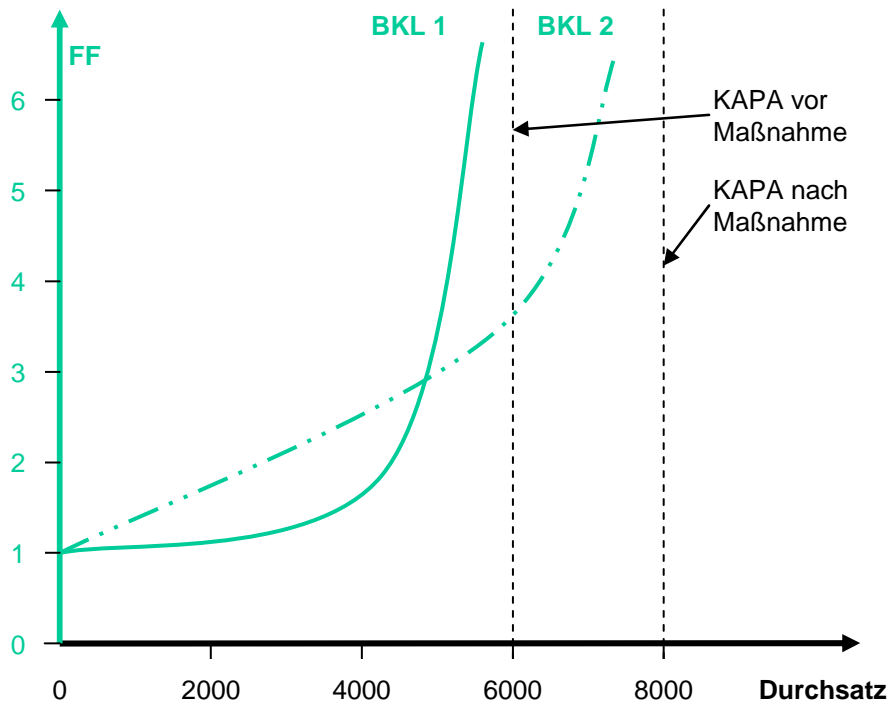
Die Verschiebung des Arbeitspunktes auf der bestehenden Betriebskennlinie bringt keine wirkliche Optimierung. Verbesserungen können nur durch eine Verschiebung der Kennlinie selbst erreicht werden, wobei grundsätzlich zwei verschiedene Optimierungsmöglichkeiten bestehen:

Verringerung der Variabilität – Dies bedeutet eine Verschiebung der Betriebskennlinie nach unten, da die Leistungsverluste verringert werden. Mögliche Maßnahmen wären eine Glättung der Einsteuerung oder eine Verbesserung der Qualitätsrate.

Erhöhung der Kapazität – Dies bewirkt eine Spreizung der Betriebskennlinie nach rechts. Eine mögliche Maßnahme in diesem Bereich wäre z.B. die Anschaffung neuer Maschinen.

In der Praxis ergibt sich immer eine Reihe von Rückwirkungen, sodass die Änderung eines Parameters (z.B. Durchlaufzeit) immer Rückwirkungen auf andere (z.B. Bestand) hat. In einer Optimierungsphase müssen die Änderungen der zusammenhängenden Parameter temporär nicht immer korrelieren.

Zudem sind mögliche Optimierungen immer im Zusammenhang mit dem Arbeitspunkt, in dem die Fertigung betrieben wird zu sehen, wie folgende Abbildung zeigt:



Wenn sich die alte und die neue Betriebskennlinie, die sich nach einer Optimierung ergibt, nicht schneiden, so ist immer die tiefer liegende Kennlinie zu bevorzugen. Im oben gezeigten Fall schneiden sich die Kennlinien und die Beurteilung, ob eine Optimierung eine Verbesserung bringt, ist zusätzlich vom angestrebten oder erreichten Arbeitspunkt auf der Kennlinie abhängig.

5.1. Maßnahmen zur Erhöhung der Kapazität

Um die Kapazität der Fertigung zu erhöhen gibt es prinzipiell vier verschiedene Ansätze, die hier kurz beschrieben werden sollen.

Erhöhung der für die Produktion zur Verfügung stehenden Zeit

- Neues Schichtmodell

- Flexible Arbeitszeitmodelle

- Reduktion der Nacharbeit

- Erhöhung der Losgrößen zur Vermeidung leerstehender Chargen in einer Maschine während der Bearbeitung

Erhöhung der Produktionsgeschwindigkeit

Technische Verbesserung der Maschinen zur Verringerung der Anlagenbelegungszeit

Verringerung der Zeiten für Be- und Entladung der Maschinen

Einsparung oder Verkürzung von Arbeitsgängen

Erhöhung der Verfügbarkeit von Partnern (speziell Engpasspartner)

Bessere Personalorganisation, Springermodell, Pausenregelung

Technische Maßnahmen an Maschinen zur Verbesserung der Laufzeit

Optimierung des Materialflusses, sodass an Maschinen Material immer verfügbar ist

Technische und organisatorische Maßnahmen zur Verbesserung der Verfügbarkeit der Methode

Erhöhung der Anzahl eines Partners (speziell Engpasspartner)

Einstellung oder Qualifizierung von Personal

Zukauf von Maschinen, höhere Bearbeitungsgeschwindigkeit

Erhöhung der Einlastung, sodass sich mehr Material in der Linie befindet

5.2. Maßnahmen zur Reduktion von Variationen

Hier sollen kurz mögliche Maßnahmen zur Verringerung der Schwankungseinflüsse auf die verschiedenen Produktionspartner diskutiert werden:

Mensch

Bessere Organisation der Anwesenheiten

Reduktion manueller Bearbeitungen

Verkürzung von Wegen zwischen Arbeitsplätzen

Qualifizierung

Motivation

Material

Reduktion von Losgrößen (Vermeidung langer Wartezeiten in der Linie)

Gleichmäßige Einlastung von Aufträgen

Abgestimmtes Kapazitätsprofil, sodass Wartezeiten auf Grund fehlenden Materials vermieden werden

Transportwegverkürzung

Maschine

Optimierte Instandhaltungsstrategie zur Vermeidung längerer Ausfälle

Verlagerung von Stillstandszeiten in Zeiten geringer Auslastung (z.B. Pausen)

Methode

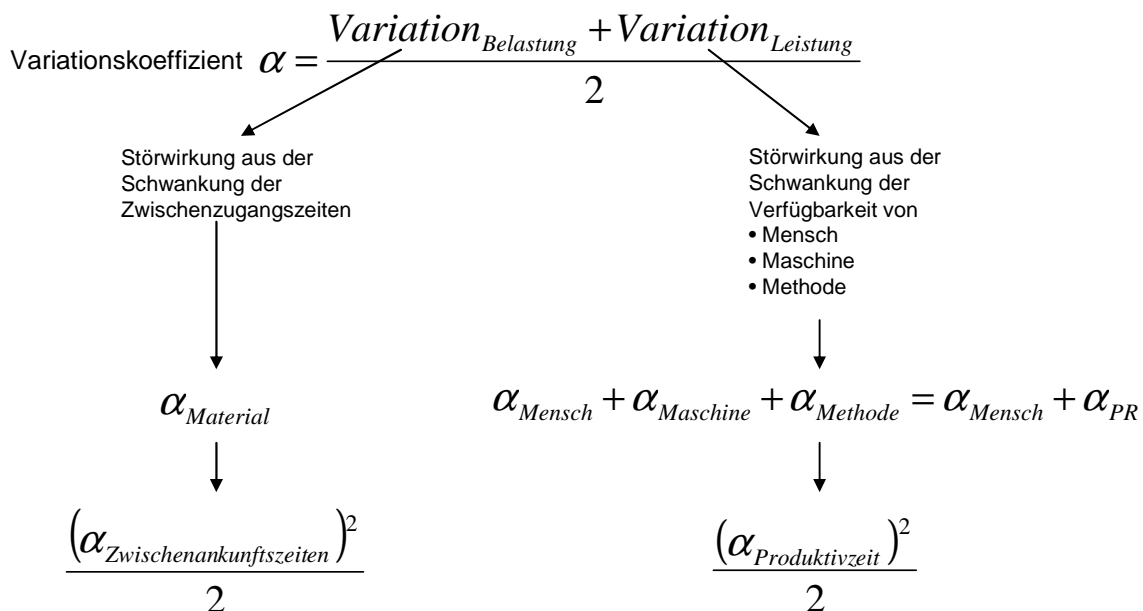
Gute Abstimmung mit der Entwicklung

Effiziente und schleifenfreie Vorgehensweisen (z.B. für manuelle Arbeitsschritte an einem Werkstück)

5.3. Quantifizierung von Maßnahmen zur Reduktion von Variationen

Variationen werden durch den Variationsfaktor α beschrieben. Die gute Nachricht ist, dass das Modell der Betriebskennlinien überbestimmt ist und daher α im Normalfall aus anderen Messwerten errechnet werden kann. Oft kann man auch recht gut mit der Annahme $\alpha = 1$ für grobe Abschätzungen der Situation leben.

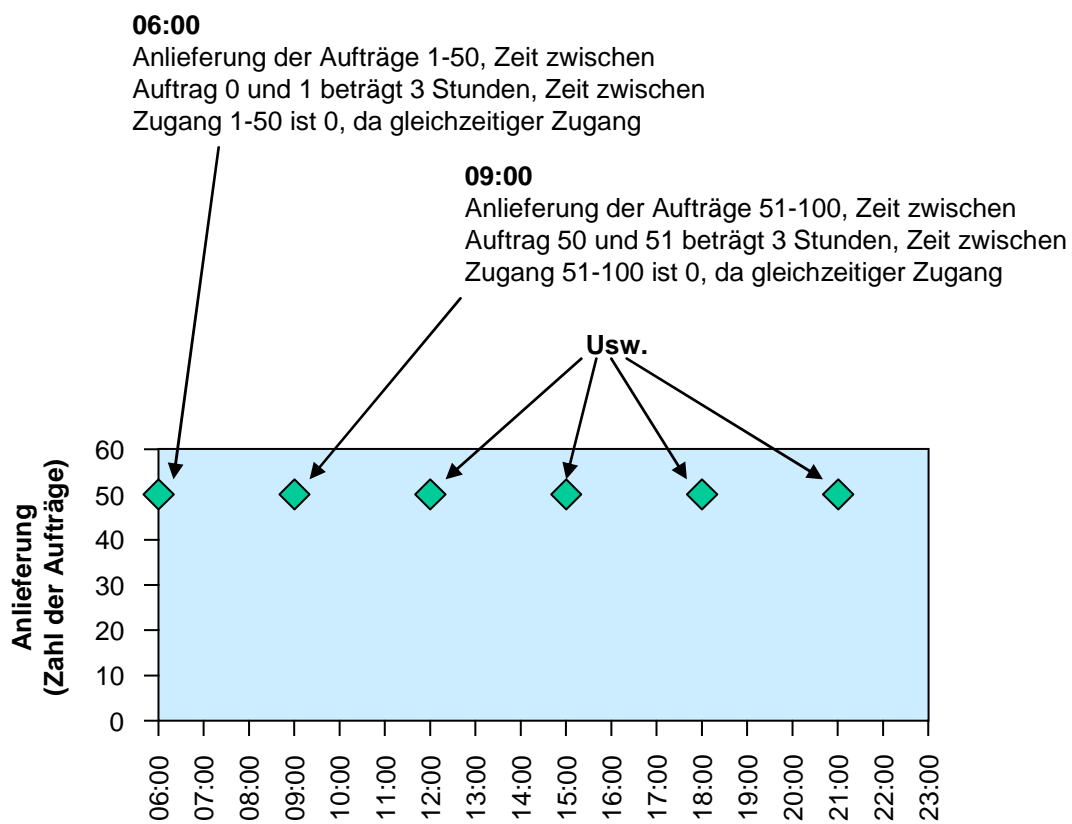
Folgendes Beispiel zur rechnerischen Ermittlung von α zeigt, dass die genaue Bestimmung des Variationskoeffizienten durch direkte Messung und Rechnung sehr schwierig und in der Praxis oft unmöglich ist. Folgende Abbildung führt die Ermittlung von α auf zwei Quellen für Variationen in der Fertigung zurück:



Je nach Situation können zu den hier betrachteten weitere Störgrößen hinzukommen, die im Regelfall nicht relevant sind. Beispiele sind: Nacharbeiten, unterschiedlich lange Bearbeitungszeiten, Verwürfe, besonders eilige Vorzugslose etc.

In einem stark vereinfachenden Beispiel sollen die Schwankungen am Materialfluss am Beispiel einer Maschine errechnet werden. Die Schwankungen sollen ausschließlich durch Schwankungen im Materialfluss hervorgerufen werden. Alle anderen Schwankungseinflüsse auf das Material werden vernachlässigt.

In unserem Beispiel gehen wir davon aus, dass ein LKW alle drei Stunden eine Charge von 50 Aufträgen für die Maschine anliefert, wobei die Lieferungen um 06:00, also zu Beginn des Produktionstages starten und bis zum Ende des Produktionstages gehen. Als weitere Vereinfachung nehmen wir an, dass alle LKW absolut pünktlich sind und nicht durch eine Panne oder durch Verkehrsbehinderungen verspätet eintreffen. Hiermit ergibt sich folgendes Bild:



Zunächst wollen wir die Varianz der Zwischenzugangszeiten des Materials ermitteln:

$$VAR[x] = \sigma_x^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2$$

$$VAR[x] = \frac{6 \cdot (3 - 0,06)^2 + 294 \cdot (0 - 0,06)^2}{300}$$

$$VAR[x] = \frac{51,86 + 1,06}{300} = 0,18$$

Die Standardabweichung der Zwischenzugangszeiten ergibt sich zu:

$$STABW[x] = \sqrt{VAR[x]} \cdot \sigma_x = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$$

$$STABW[x] = \sqrt{0,18} = 0,42$$

Hiermit kann der Variationskoeffizient der Zwischenzugangszeiten ermittelt werden:

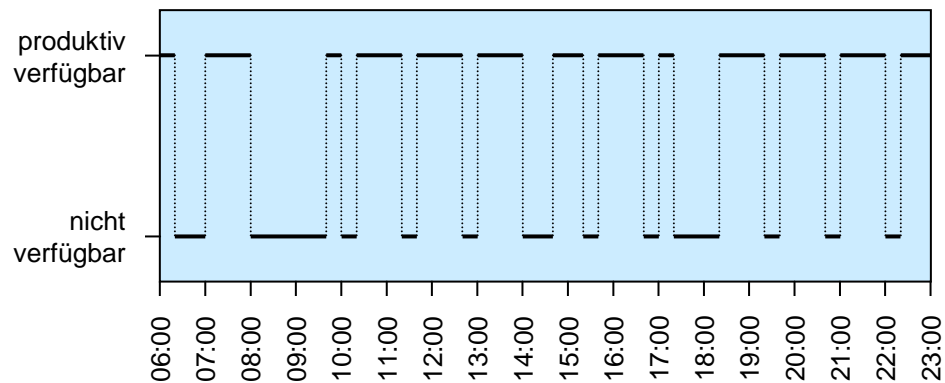
$$VK_{ZZ} = \frac{STABW[x]}{\bar{x}} = \frac{0,42}{0,06} = 7$$

Hiermit kann der Anteil des Variationsfaktors, der sich aus den Schwankungen der Materialzuflüsse ergibt, errechnet werden:

$$\alpha_{Material} = \frac{(VK_{ZZ})^2}{2} = \frac{7^2}{2} = 24,5$$

Nun soll der Anteil des Variationsfaktors, der sich aus der Maschinenverfügbarkeit ergibt, errechnet werden. Zur Vereinfachung nehmen wir an, dass alle anderen Produktionspartner zu 100% verfügbar sind.

Aus dem erweiterten Basismodell für Arbeitsstationen in der Produktionsleittechnik, welches oben beschrieben wurde, soll hier alleine die Bitinformation, die Anlagenfehler anzeigt betrachtet werden. Alle anderen Einflüsse inklusive Pausen werden vernachlässigt.



Folgende Abbildung zeigt den Verlauf des Fehlerstatus über den Produktionstag:

Hieraus ergibt sich, dass die Maschine zu 9,5h produktiv verfügbar ist. Die Summe der Stehzeiten beträgt 5,5h, die Anlagenbelegungszeit 2h. Dies ergibt eine Verfügbarkeit von 63%.

Aus diesen Angaben kann der Anteil am Variationskoeffizienten, der aus der Maschinenverfügbarkeit folgt, errechnet werden:

$$\alpha_{PR} = \frac{V \cdot (1-V) \cdot \text{mittlere Ausfallszeit}}{\text{Anlagenbelegungszeit}}$$

$$\alpha_{PR} = \frac{0,63 \cdot (1-0,63) \cdot 2,4}{2}$$

$$\alpha_{PR} = 0,47$$

Dieses Beispiel wurde an Quelle: Betriebskennlinien Buch angelehnt.

6. Beispiel eines realen Optimierungsprojekts

Dieses Beispiel wurde aus Quelle: Betriebskennlinien Buch übernommen.

6.1. Ausgangssituation

Zum Assessment der Ausgangssituation wurde eine Betriebskennlinienanalyse durchgeführt, wobei zunächst folgende Werte gemessen wurden:

Durchlaufzeit DLZ = 60 Tage

Physikalische Durchlaufzeit PDLZ laut Spezifikation = 12 Tage

Durchsatz DPZ = 4.000 Produkte pro Tag

Auslastung AL im Mittel = 66 %

Hieraus wurden folgende Werte errechnet:

Flussfaktor FF = $DLZ / PDLZ = 60 / 12 = 5$

Kapazität KAPA = $DPZ / AL = 4.000 / 0,66 = 6.061$ Produkte pro Tag

Variationsfaktor $\alpha = (FF - 1) \times ((1 - AL) / AL) =$
 $(5 - 1) \times ((1 - 0,66) / 0,66) = 2$

6.2. Zielvorgabe

Mit dem Management wurden folgende Zielvorgaben vereinbart:

Durchlaufzeit „Halbe“, daher DLZ = 30 Tage

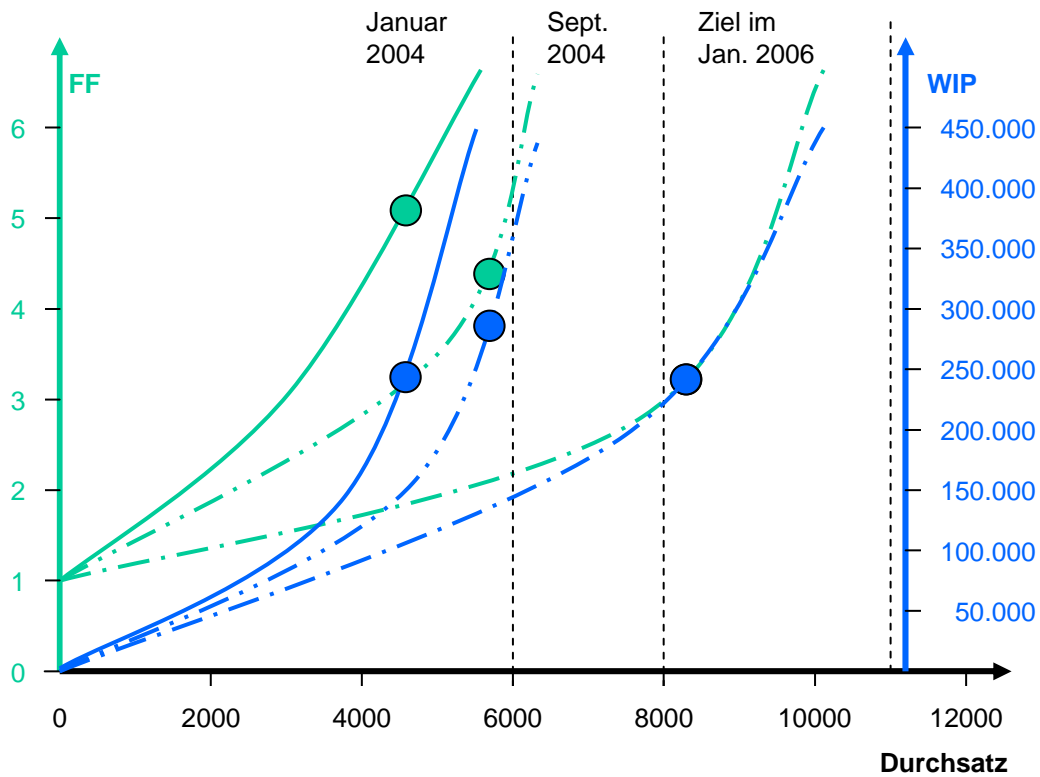
Durch technische Verbesserungen Senkung der physikalischen Durchlaufzeit PDLZ = 10 Tage

Erhöhung der Anzahl der pro Tag gefertigten Produkte um mehr als das Doppelte, daher Durchsatz DPZ = 8.500 pro Tag

Erhöhung der Auslastung der Fertigung auf AL = 76 %

Auf Basis dieser Festlegungen kann eine weitere Betriebskennlinie erstellt werden, welche die Situation bei Erreichen der Zielvorgaben darstellt.

Folgende Abbildung zeigt die Entwicklung in drei Schritten, während die mit dem Management festgelegten Verbesserungen umgesetzt wurden:



Hier ist zu erkennen, dass die verschiedenen Kennzahlen immer im Zusammenhang gesehen werden müssen. Verbesserungen der Durchlaufzeit können nur mit vorübergehenden Erhöhungen des Bestandes erkauft werden. Das Management sollte im Vorhinein auf solche Effekte aufmerksam gemacht werden, damit auf Grund erhöhter Nervosität das Projekt nicht vorzeitig zu Grabe getragen wird.

7. Zusammenfassung

Das Betriebskennlinienverfahren ist eine allgemein einsetzbare, sehr einfache aber aussagekräftige Heuristik für die Beurteilung der Performance von Fertigungsanlagen. Zusätzlich können Verbesserungsmaßnahmen geplant und verfolgt werden. Anstatt viele verschiedene Parameter im Detail zu verfolgen, bietet dieses Verfahren einige aussagekräftige und einfache Benchmarks.