

## Engpassanalyse (Theory of Constraints)

Prozesse sind besonders leistungsfähig wenn die Arbeit möglichst gleichmäßig durch die einzelnen Prozessstufen fließt. Jede Störung dieses Flusses führt zu Aufhäufungen von Material oder Arbeitsvorgängen und zu einer weniger effizienten Abarbeitung der Vorgänge. Dieses Bild ist täglich auf unseren Autobahnen zu sehen. Wenn der Verkehr ruhig und ungestört ist, fließen besonders viele Autos durch einen Streckenabschnitt. Tritt eine Störung z.B. durch ein liegengebliebenes Auto auf, stauen sich sofort die Fahrzeuge vor dem Engpass auf und die Geschwindigkeit im Verkehrsfluss sinkt. Nach dem Engpass dünnen sich die Fahrzeuge aus und erlauben z.T. höhere Geschwindigkeiten, was aber sehr vom Fahrzeugtyp abhängt. Die Bilanz ist in jedem Fall negativ, es fließen weniger Fahrzeuge durch diesen gestörten Abschnitt.

Der Amerikanische Wissenschaftler John D.C. Little vom MIT (Massachusetts Institute of Technology) hat eine einfache Gleichung gefunden, die die grundlegenden Zusammenhänge in allen fließenden Prozessen beschreibt → Little's Law.

Das Gesetz gilt für Prozesse mit einer festen Kapazität die ungestört durchlaufen werden. Little's Law ist der mathematische Hintergrund für Lean Flow- Lösungen und Lean Pull- Systeme im Unternehmen.

<b>WIP</b>	TH = Throughput	= Prozessdurchfluss
<b>TH = <math>\frac{WIP}{CT}</math></b>	WIP = Work in Process	= Elemente im Prozess
<b>CT</b>	CT = Cycle Time	= Durchlaufzeit

Kapazität ist die Menge der zur Verfügung stehenden Ressourcen im Prozess. Im Verkehrsbeispiel wäre das die Anzahl der Spuren die eine Straße hat.

Throughput ist die Menge des Durchsatzes also die fertigen Elemente pro Zeiteinheit am Ende des Prozesses. Im Verkehrsbeispiel wären das Autos pro Minute am Ende der betrachteten Strecke.

Work in Process ist die Menge aller im Prozess befindlichen Elemente. Im Verkehrsbeispiel wären das alle Autos die sich in einem Streckenabschnitt befinden.

Cycle Time ist die Zeit, die ein Element benötigt, um den Prozess vollständig zu durchlaufen. Im Verkehrsbeispiel wäre das die Fahrtzeit durch einen Streckenabschnitt.

Effekte, die sich aus der Gleichung ableiten lassen:

<b>TH = <math>\frac{WIP}{CT}</math></b>	<b>CT = <math>\frac{WIP}{TH}</math></b>	<b>WIP = TH x CT</b>
---	---	----------------------

- Throughput (Durchsatz) des Prozesses sinkt je länger die Cycle Time (Durchlaufzeit) der einzelnen Elemente ist.

- Throughput steigt, wenn alle Stationen des Prozesses optimal mit WIP (Vorrat an Elementen) versorgt sind. Allerdings ist Throughput letztlich begrenzt durch die maximale Kapazität des Prozesses.
- Cycle Time (Durchlaufzeit) der Elemente steigt, je mehr Elemente im Prozess stecken.
- Cycle Time fällt wenn der Durchsatz erhöht wird.
- WIP (Elemente im Prozess) steigen an, wenn die Durchlaufzeit des einzelnen Elementes länger wird.
- WIP steigt proportional mit dem Throughput. → Mehr Spuren auf der Autobahn, mehr Durchsatz → mehr Autos in der Strecke.

#### **Konsequenzen für die Prozessoptimierung: Less is More!**

- Wenn in einer Produktentwicklung neue Projekte begonnen werden, verlangsamt sich automatisch die Fertigstellung aller aktiven Projekte. Möchte also ein Unternehmen seine Durchlaufzeiten für Projekte drastisch senken, so muss als erstes die Zahl der aktiven Projekte verringert werden.
- Wenn ein Unternehmen einen schnellen Change Prozess durchlaufen möchte, dann sollten so wenige Change Initiativen wie möglich gestartet werden.
- Wenn ein Unternehmen seine Entscheidungsprozesse beschleunigen möchte, dann sollte die zu bearbeitende Datenmenge pro Entscheidung (WIP) verringert werden. Hier wirken sich moderne Datenmanagement Systeme manchmal als Bremse aus, weil zu viel Information (WIP) in jede Entscheidung einfließt.
- Wenn zuviel WIP in einem Produktionsablauf steckt, sollte man die Cycle Time der Produkte analysieren und verringern und automatisch wird auch WIP korrigiert.

#### **Beispiel für die Wirkung von Little's Law**

*In einem Technologieunternehmen sollten die Entwicklungsabläufe verbessert werden. Problem war eine zu lange Durchlaufzeit bis zur Fertigstellung eines neuen Produktes. Natürlich waren die Eckdaten des Entwicklungsprozesses bekannt. Eine Produktentwicklung benötigte im Mittel 24 Monate und pro Jahr wurden etwa 5 neue Produkte fertig. Gleichzeitig waren auf der Projektliste etwa 35 aktive Projekte verzeichnet. Als man diese Werte zur Probe in die Formel von Little's Law eingab, zeigte sich aber eine große Abweichung zur Realität:*

$$CT = WIP / TH \rightarrow 35 / 5 \rightarrow 7 \text{ Jahre}$$

*Nach der Formel würde ein Projekt 7 Jahre benötigen, was aber eindeutig bei den fertigen Projekten widerlegbar war. Was war falsch?*

*Die 5 fertigen Projekte waren eindeutig vorhanden, die Laufzeit der fertigen Projekte war definitiv 24 Monate also 2 Jahre. Setzt man diese Werte als bekannte Größen ein, so ergibt sich:*

**WIP = TH • CT → 5 • 2 → 10 aktive Projekte in der Bearbeitung**

*Die Liste der 35 aktiven Projekte war nicht real. Es konnten gar nicht mehr als 10 aktive Projekte vorhanden sein. 25 der aufgeführten Projektthemen waren „Schläfer“ also Themen die auf der Liste mitgeschleift wurden ohne wirklich bearbeitet zu werden. Wenn ein solcher „Schläfer“ jemals aktiviert, bearbeitet und beendet wird, dürfte er eine Durchlaufzeit haben, die weit jenseits von 2 Jahren liegt. Die Liste der aktiven Projekte wurde entsprechend bereinigt.*

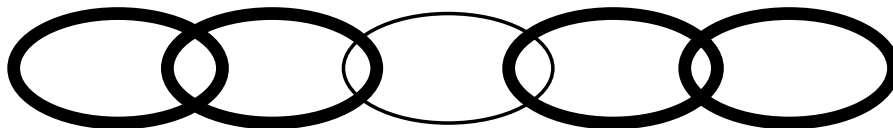
*Die nächste Frage war: Wie verändert sich die Durchlaufzeit CT, wenn man WIP also die Anzahl der aktiven, parallelen Projekte verringert? Bei einer Reduktion der aktiven Projekte von 10 auf 8 ergibt sich für die Durchlaufzeit:*

**CT = WIP / TH → 8 / 5 → 1,6 Jahre**

*Little’s Law gibt eine verblüffende Antwort. Wenn man die Anzahl der aktiven Projekte von 10 auf 8 verringert bekommt man immer noch 5 fertige Produkte pro Jahr, aber die Laufzeit der einzelnen Entwicklung beträgt nur noch 1,6 Jahre statt bisher 2. Damit würde das Unternehmen umso flexibler auf den Markt reagieren können, je weniger aktive Projekte im System vorhanden sind. Die übliche Reaktion auf neue Marktanforderungen ist jedoch genau entgegengesetzt. Der Markt fordert etwas Neues, und das Unternehmen startet zusätzliche Entwicklungsprojekte.*

**Die übliche Reaktion auf neue Anforderungen ist eine NEGATIVSPIRALE**

Die Engpasstheorie und Engpassanalyse wurde von Eliyahu M. Goldratt entwickelt und unter dem Namen „Theory of Constraints“ (TOC) bekannt. Sie baut auf Little’s Law auf, betrachtet dann aber den Umstand, dass in einer Prozesskette immer Glieder existieren die weniger Kapazität haben als der Rest der Kette. Hier greift wieder das Bild von der Baustelle auf der Autobahn mit all den bekannten Verkehrseffekten. Will man den Durchfluss und damit die Effizienz eines Prozesses verbessern, dann sollte man die Engpässe identifizieren und daran arbeiten.



**Bild:** Jede Kette ist nur so stark wie ihr schwächstes Glied

Der Durchsatz (Throughput) einer Prozesskette wird einzig bestimmt durch die Kapazität des Engpasses. Will man den existierenden Prozess möglichst optimal ausnutzen, muss die gesamte Steuerung darauf zielen, den Engpass möglichst optimal zu bedienen. Alle anderen Prozessschritte sollten der Kapazität des Engpasses untergeordnet werden, weil sonst dort zu viel WIP entsteht. Dazu zählt dann auch die Regel, dass es besser ist einen Prozessteil nicht voll auszulasten als WIP zu produzieren.

Das Konzept der TOC - Prozessverbesserung:

1. Identifizieren des Engpasses
2. Kapazität des Engpasses maximal ausnutzen
3. Alle anderen Prozesse auf den Engpass ausrichten
4. Den Engpass erweitern und die Kapazität steigern
5. Den nächsten Engpass suchen und die Schleife wiederholen

Die Identifikation des Engpasses geschieht über eine Analyse des Material- oder Auftragsflusses. Wie beim Straßenverkehr staut sich WIP vor dem Engpass auf und nach dem Engpass liegen nicht voll ausgelastete Prozessstrecken. Dies entspricht der relativ freien Stecke am Ende einer Baustelle.

Die Engpassanalyse begrenzt sich nicht nur auf das einfache Modell einer linearen Prozesskette. Auch in vernetzten Prozessen lassen sich Engpässe identifizieren, Zusammenhänge aufklären (Cause & Effect) und Systeme anschließend optimieren.

### **Optimierung des Prozessflusses**

Kommen wir noch einmal auf das Verkehrsbeispiel zurück. Simulationen von Verkehrsstrecken haben gezeigt, dass die beste Geschwindigkeit in einem dichten Verkehrsfluss bei etwa 80 km/h liegt. Würden alle Teilnehmer sich bemühen, diese Geschwindigkeit konstant zu halten, wäre der größte Durchsatz erreicht. Die Realität sieht jedoch anders aus, der Verkehr fließt nicht gleichförmig dahin wie ein ruhiger Fluss. Es gibt vielmehr ständige Wechsel der Geschwindigkeit und das Bemühen auf jedem Streckenabschnitt die maximal mögliche Geschwindigkeit zu fahren. Der Energieeinsatz ist auf diese Weise viel höher als beim gleichförmigen Fließen und der Durchsatz ist gleichzeitig geringer. Der gleiche Effekt existiert in den Unternehmensprozessen.

**Je gleichförmiger der Arbeitsablauf in der Prozesskette gestaltet werden kann, desto effizienter der Prozess.**

Die Grundgeschwindigkeit des Arbeitsflusses wird dabei vom schwächsten Glied in der Kette bestimmt. Der Prozess wird auf diese Weise für den besten Durchfluss ausbalanciert. Jede Abweichung von dieser Grundgeschwindigkeit führt zu Staus oder Lücken im Prozessablauf.

**Fluktuationen in Prozessen addieren sich immer zum Negativen hin auf**

- Wenn nur ein einzelner unabhängiger Prozessschritt vorhanden wäre, ließe sich ein eventuell entstandener Rückstand leicht durch einen höheren Arbeitseinsatz wieder vollständig aufholen.
- In einer Prozesskette ist es für jedes Glied unbegrenzt möglich den Ablauf zu verlangsamen oder sogar zu stoppen. Der Negativeffekt ist nicht begrenzt.

- Wenn nach aufgetretenen Störungen in der Prozesskette der Rückstand aufgeholt werden soll, so geht das nur begrenzt. Ein Prozessschritt kann nur in dem Maße beschleunigt Elemente abarbeiten wie es vom davor liegenden Schritt mit Elementen versorgt wird. Der eine ist hier vom anderen abhängig und die insgesamt erreichbare Beschleunigung ist sehr begrenzt. Der Positiveffekt ist stark begrenzt.

Egal ob in der Industrie oder in Dienstleistungsbereichen. Die Volumensteuerung der Prozesse sollte möglichst nach dem Prinzip des gleichförmigen Flusses aufgebaut sein. Sprunghafte Änderungen müssen die Grenzkapazität des schwächsten Gliedes berücksichtigen.