

*Integrationsaspekte der Simulation:
Technik, Organisation und Personal*
Gert Zülch & Patricia Stock (Hrsg.)
Karlsruhe, KIT Scientific Publishing 2010

Kennzahlen zur Bewertung logistischer Systeme

Performance Indicators for the Evaluation of Logistics Systems

Gerald Weigert
Technische Universität Dresden,
Institut für Aufbau- und Verbindungstechnik der Elektronik, Dresden (Germany)
gerald.weigert@tu-dresden.de

Oliver Rose
Technische Universität Dresden,
Institut für Angewandte Informatik, Dresden (Germany)
oliver.rose@tu-dresden.de

Pavel Gocev
Fraunhofer IPK/Bereich Unternehmensmanagement, Berlin (Germany)
pavel.gocev@ipk.fraunhofer.de

Gottfried Mayer
BMW AG/Forschungs- und Innovationszentrum, München (Germany)
gottfried.mayer@bmw.de

Abstract: A lot of performance indicators for the evaluation of manufacturing and logistics systems can be found in the literature, industrial instructions as well as in several standards. For the simulation experts the difficulties start when they have to deliver precise values, because a lot of performance indicators are not defined clearly enough or have different meaning, depending of industrial domain. Therefore an open discussion platform is necessary where simulation experts as well as the industrial users collect, exchange and sort their views and experiences. To facilitate this discussion we set up a wiki of terms and performance indicators which can be used to start the process of collecting and fostering terms and their definitions in the area of performance indicators.

1 Motivation

Im Mittelpunkt der folgenden Ausführungen stehen Produktionssysteme, unabhängig von ihrer jeweiligen Ausprägung als einzelne Maschine, Produktionsabteilung oder auch als ganzes Produktionsunternehmen und unabhängig von der jeweiligen Industriebranche. In Produktionssystemen treten viele verschiedene Aspekte in

Erscheinung und miteinander in Wechselwirkung, wie etwa Technologie, Energie, Information oder Kosten. Im Folgenden werden die Produktionssysteme jedoch ausschließlich unter ihrem logistischen Aspekt betrachtet, das heißt, es handelt sich in der Verallgemeinerung um Systeme, in denen einzelne Objekte bewegt, bearbeitet und gelagert werden. Genau das ist der Gegenstand vieler ereignisdiskreter Simulationssysteme, die für eine verlässliche Analyse der Objektbewegungen inzwischen unverzichtbar sind. Die mit den logistischen Parametern in engem Zusammenhang stehenden monetären Kennzahlen wurden bewusst ausgeklammert, da dafür zusätzliche Fachkompetenz erforderlich wäre.

Anders ausgedrückt handelt es sich dabei um den zeitlichen Aspekt der Produktion, der sich z.B. in Kenngrößen wie *Durchsatz*, *Auslastung*, *Bestand* oder *Durchlaufzeit* ausdrückt. Leider existiert ein gut standardisiertes Kennzahlensystem, wie es insbesondere aus der Sicht der Simulationsexperten benötigt wird, bislang noch nicht. Das beginnt mit den Begriffen an sich, die je nach Industriebranche unterschiedlich sein können, und endet schließlich bei der exakten mathematischen Definition. Für die Bewertung des Simulationsmodells, aber auch für die Schlussfolgerungen, die aus den Simulationsexperimenten zu ziehen sind, benötigt man jedoch verlässliche Kennzahlen, insbesondere sollten die Simulationsexperten und ihre Auftraggeber die gleiche Sprache sprechen. Um diesen Bedarf zu befriedigen, wurde 2007 im Rahmen der ASIM Fachgruppe "Produktion und Logistik" zunächst eine Interessengruppe "Begriffe und Kennzahlen" ins Leben gerufen, die ein Jahr später in eine reguläre Arbeitsgruppe umgewandelt wurde. Ziel dieser Arbeitsgruppe kann und soll es nicht sein, neue Kennzahlen zu erfinden, vielmehr geht es darum, die vorhandenen Kennzahlensysteme zu ordnen und zu vergleichen bzw. - falls möglich - auf ihre Wurzeln zurückzuführen. Die Mittel und Methoden sowie die Ergebnisse dieser Arbeit sollen im Folgenden vorgestellt werden. Der Leser sollte jedoch keine endgültige Darstellung und Systematisierung, etwa im Sinne eines Standards, erwarten. Vielmehr geht es darum, das Problembewusstsein zu schärfen und eine geeignete Diskussionsplattform für einen möglichst breiten Teilnehmerkreis, insbesondere Entwickler und Anwender von Simulationssystemen aber auch Praktiker, bereitzustellen.

2 Vorhandene Definitionen

Um einen Überblick über die Definitionen von Kennzahlen und Begriffen im Umfeld der Arbeitsgruppe zu erhalten, wurde recherchiert, welche Richtlinien, Vorschriften usw. bereits vorhanden sind. Die Anzahl der im Anschluss aufgeführten Sammlung, die keinen Anspruch auf Vollständigkeit erhebt, verdeutlicht das Problem: Es gibt für viele Bereiche spezifische Definitionen, es fehlt aber an einer allgemein gültigen Definition von Kennzahlen und Begriffen im Umfeld der Simulation in Produktion und Logistik.

Eine wichtige Quelle sind die VDI-Richtlinien, hier vor allem die Nummern 3649 (Anwendung der Verfügbarkeitsrechnung in Förder- und Lagersystemen), 3423 (Verfügbarkeit von Maschinen und Anlagen - Begriffe, Definitionen, Zeiterfassung und Berechnung), 2525 (Praxisorientierte Logistikkennzahlen für kleine und mittelständische Unternehmen), 2689 (Leitfaden für Materialflussuntersuchungen), 2689 (Leitfaden für Materialflussuntersuchungen) und 2893 (Auswahl und Bildung von

Kennzahlen für die Instandhaltung). Weitere Informationen findet man in den VDI-Richtlinien 4400, Blatt 1 bis 3 (Logistikkennzahlen für Beschaffung, Produktion und Distribution) sowie in der VDI-Richtlinie 4490 (Operative Logistikkennzahlen von Wareneingang bis Versand). Im Bereich Halbleiterproduktion wird der Standard durch die SEMI (Semiconductor Equipment and Materials International) gesetzt. Wichtig in diesem Zusammenhang sind: E10-0304 (Specification for Definition and Measurement of Equipment Reliability, Availability, and Maintainability), E105-0701 (Provisional Specification for CIM Framework Scheduling Component) und E124-1103 (Provisional Guide for Definition and Calculation of Overall Factory Efficiency and other Associated Factory-Level Productivity Metrics).

Industrieverbände wie der VDA (Verband der Automobilindustrie) und der VDMA (Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbauer) haben eigene Richtlinien entwickelt wie z.B. VDMA 66412 (Manufacturing Execution Systems – Kennzahlen). Für die Verpackungsindustrie z.B. gibt es eine eigene DIN (8743, Verpackungsmaschinen – Begriffe für Verpackungsmaschinen und Verpackungsanlagen, Zeitbegriffe, Kenngrößen, Nachweise). Daneben gibt es ein Kennzahlensystem der AWF-Arbeitsgemeinschaften für Vitale Unternehmensentwicklung und nicht zu vergessen die Kennzahlen des REFA-Verbandes, der sich traditionell mit der Zeiterfassung in Produktion und Logistik befasst und zweifellos eine wichtige Instanz auf diesem Gebiet darstellt.

Ebenso zahlreich ist die Literatur zu diesem Gebiet. Für den Praktiker bietet sich hier z.B. an MEINBERG und TOPOLEWSKI (1995), DANGELMAIER und WARNECKE (1997), KURBEL (1999), GÜNTHER und TEMPELMAIER (2005), sowie HOPP und SPEARMAN (2001). Aber auch in der wissenschaftlichen Literatur zur Theorie der Ablaufplanung finden sich, insbesondere unter dem Stichwort Zielgrößen, wichtige Beiträge zur Kennzahlenproblematik. Beispielhaft seien hier genannt DOMSCHKE u.a. (1997), BRUCKER (2007) und PINEDO (2008).

3 Sammeln und Systematisieren logistischer Kennzahlen und Begriffe

Die gewählte Methode zum Aufbau einer Datenbank kann grob wie folgt beschrieben werden: Zunächst werden so viele Kennzahlen und Begriffe wie möglich gesammelt. Als Quelle dienen die einschlägigen Standards usw. Im Ergebnis entsteht eine unstrukturierte Sammlung, die anschließend einer ersten vergleichenden Analyse unterzogen wurde mit dem Ziel, synonym verwendete Begriffe ebenso herauszufinden wie Bezeichnungen, die in unterschiedlichem Zusammenhang unterschiedlich verstanden werden können. Das Systematisieren erfolgte dabei in zwei Schritten:

1. Definition logistischer Grundkategorien (Schlüsselbegriffe)
2. Zuordnung aller Begriffe zu den Kategorien

Die Schlüsselbegriffe sollten mit Sicherheit grundlegend unterschiedliche logistische Sachverhalte widerspiegeln, andererseits die logistischen Aspekte eines Produktionssystems, insbesondere aus dem Blickwinkel der Simulationsmethoden,

möglichst vollständig abbilden. Folgende Schlüsselbegriffe sind das Ergebnis der Analyse:

- *Durchsatz*
- *Bestand*
- *Durchlaufzeit*
- *Auslastung*
- *Termin*
- *Ausbeute*

Die drei Begriffe *Durchsatz*, *Bestand* und *Durchlaufzeit* werden durch das Gesetz von Little (siehe HOPP und SPEARMAN (2001)) miteinander verknüpft und bilden so etwas wie das unverzichtbare Fundament bei der Leistungsbewertung logistischer Systeme:

$$\text{Bestand} = \text{Durchsatz} \cdot \text{Durchlaufzeit} \quad (1)$$

Der Begriff der *Auslastung* ist im strengen Sinne bereits eine abgeleitete Kenngröße. *Auslastung* bezieht sich im Folgenden auf Ressourcen aller Art, vorwiegend auf Maschinen und Ausrüstungen aber auch auf Personal oder Lagerkapazität. Der Begriff des *Termins* stellt eine entscheidende Erweiterung dar. Während die anderen Kennzahlen lediglich auf Zeitintervallen fußen, benötigt man für die Kennzahlenkategorie *Termin* ein Datum. Zwischen beiden, dem Zeitintervall und dem Datum, muss man klar unterscheiden. Für die Bewertung eines Zeitintervalls genügt eine Angabe wie 2 Stunden oder 1 Tag. Bei der Bewertung der *Termineinhaltung* dagegen werden konkrete Zeitpunkte angegeben, beispielsweise "10.2.2010, 12:00 Uhr" oder "11.2.2010, 6:00 Uhr". Formal lassen sich zwar auch die beiden Kalenderdaten in Zeitintervalle umrechnen, allerdings ist – im Gegensatz zum Zeitintervall – die Summe aus beiden Kalenderdaten sinnlos. Der *Termin*-Begriff ist zentral für die operative Ablaufplanung und somit unverzichtbar für Simulationsanwendungen zur Unterstützung der Kurzfristplanung und -steuerung von Produktionssystemen.

Der Begriff der *Ausbeute* wird traditionell in der Halbleiterproduktion verwendet, lässt sich aber auch auf andere Branchen sinngemäß übertragen. Die *Ausbeute* bezeichnet das Verhältnis von verwertbaren Teilen zur Gesamtzahl der produzierten Teile und bezieht sich eigentlich auf die Kategorie Qualität, ist also keine logistische Kenngröße im engeren Sinne. Gerade in technologisch anspruchsvollen, hochkomplexen Produktionssystemen mit einer Vielzahl integrierter Mess- und Prüfschritte kann die Ausbeute jedoch maßgeblichen Einfluss auf die Logistik haben. Als Beispiel sei hier nur die Wirkung auf den Systemdurchsatz oder auch auf die Durchlaufzeit eines Auftrags verwiesen.

Der zweite Schritt, die Kategorisierung der gesammelten Begriffe, erwies sich jedoch als schwieriger als zunächst angenommen. Das sei an einigen Beispielen knapp erläutert. Der Begriff *Durchsatz* wird in anderen Zusammenhang auch als *Ausbringung* oder als *Leistung* bezeichnet. Abgesehen davon, dass insbesondere der Leistungsbegriff außerordentlich unscharf ist und sich daher besonders schwer fassen lässt, würde dieses Beispiel darauf hinauslaufen, entsprechende Synonyme zu

finden und anschließend mit einem einheitlichen Begriff (z.B. *Durchsatz*) zu bezeichnen. Verwechslungen wären so ausgeschlossen.

Leider gibt es aber auch andere Begriffe, bei denen die gleiche Bezeichnung zur Beschreibung unterschiedlicher logistischer Sachverhalte herangezogen wird. Ein typisches Beispiel hierfür ist der Begriff der *Kapazität*, die einmal als Aufnahmefähigkeit eines Lagers (Kategorie *Bestand*) aber auch als maximal möglicher *Durchsatz* eines Systems verwendet wird. Ähnlich steht es mit dem Begriff der *Zykluszeit*, die sowohl aus der Sicht der Maschine als Periode für immer wiederkehrende Arbeitsabläufe als auch aus Sicht der Arbeitsgegenstände (der Produkte) als Zeitspanne zwischen Beginn und Ende eines technologischen Ablaufs verstanden werden kann.

Wie an diesen wenigen Beispielen bereits deutlich wird, lassen sich die gesammelten Begriffe nicht einfach nach Kategorien und deren Unterkategorien widerspruchsfrei ordnen. Vielmehr muss man, je nach Industriebranche und Betrachtungsperspektive unterschiedliche Strukturierungen vornehmen, wie in Abbildung 1 dargestellt.

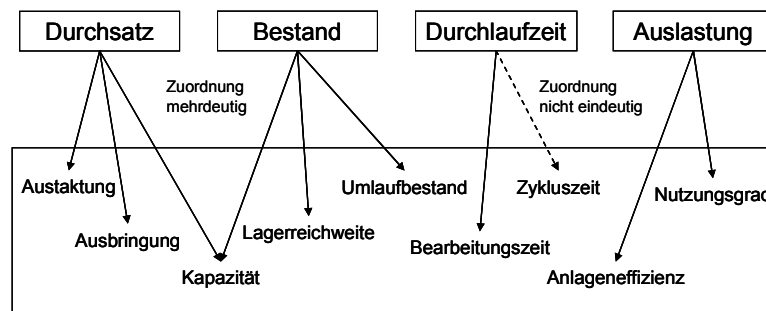


Abbildung 1: Ausgewählte Begriffe und ihre Zuordnung zu Schlüsselbegriffen

4 Grundlagen für die Berechnung und Analyse von Kennzahlen

Viele Unklarheiten bei der Berechnung von Kennzahlen werden dadurch verursacht, dass die Rahmenbedingungen, für die eine Kennzahl definiert wurde, nicht oder nicht umfassend genug bekanntgegeben werden. Das mag trivial erscheinen, aber in der Praxis kommt es häufig vor, dass Simulationsexperte und Auftraggeber dabei von unterschiedlichen Annahmen ausgehen. Unterschiedliche Werte für die Kennzahlen sind dann die logische Folge. Daher sollten Kennzahldefinitionen mindestens folgende Daten enthalten:

- Zeit (Zeitpunkt oder Zeitintervall der Messung),
- Ereignis (z.B. Start Rüsten, Start Bearbeitung, Ende Bearbeitung),
- Ort bzw. Ressource (z.B. Puffereingang, Pufferausgang)
- Material (z.B. Teil, Komponente, Baugruppe oder Produkt)

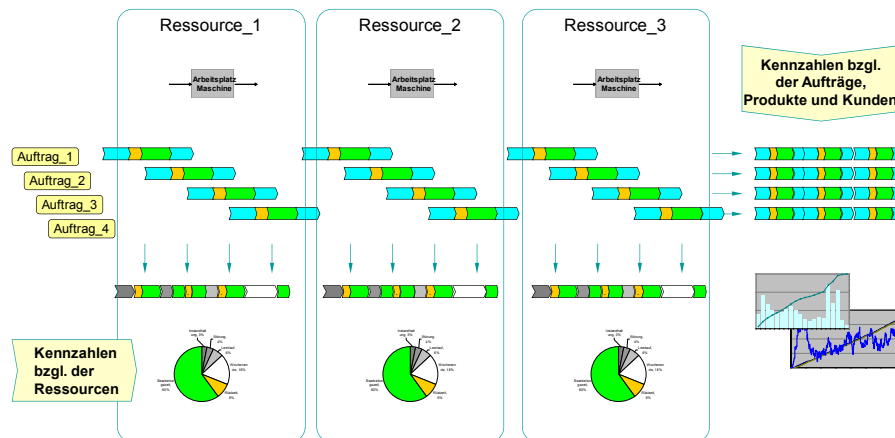


Abbildung 2: Die Kennzahlen sind gebunden an Ressourcen, Aufträge und Zeit

Eine vollständige und ununterbrochene Erfassung von Betriebsdaten und deren Rückmeldung aus der Simulation oder der echten Fertigung für einen Zeitraum ist notwendig für die Kennzahlenkalkulation. Durch geeignete Berechnungsformeln und Aggregation der aufgenommenen Daten lassen sich Kennzahlen für beliebige Granularitäten von Material, Zeitraum und Ressource ermitteln bzw. berechnen. Dadurch entstehen innerhalb eines Projekts spezifische Bewertungssysteme, die abhängig sind vom jeweiligen Auftrag und der zugehörigen Ressource (siehe Abbildung 2). Eine hinreichende Bedingung für eine zuverlässige Auswertung des Systems ist aber die Festlegung der Bedeutung von Kennzahlen und Begriffen sowie der zugehörigen Messmethoden und Berechnungsformeln. Hier ist z.B. auch festzulegen, wie die Durchlaufzeit bei einer Batch-Fertigung gemessen und berechnet wird. Dies trifft insbesondere zu, wenn ab einem bestimmten Fertigungsschritt zu bearbeitende Teile eines Fertigungsauftrags in verschiedenen Batches gesplittet werden oder wenn einem Fertigungsauftrag die Nacharbeitsteile eines vorigen Fertigungsauftrags zugeführt werden. Ein anderes Beispiel ist die Berechnung der Ressourcenkapazitäten, insbesondere wenn die Projektmitglieder keinen Bezugswert für die Auslastung abgestimmt haben, aber Prozentwerte vergleichen, die unabhängig voneinander berechnet wurden. Das führt nicht selten dazu, dass der gleiche Kapazitätsbedarf (gemessen in Arbeitsstunden) verschiedene Auslastungswerte ergibt. Im ungünstigsten Fall können sich dann sogar Auslastungswerte größer 100 % ergeben.

5 Ergebnisse und Erkenntnisse

Eine endgültige und allgemein gültige Systematik für die Begriffe und Kennzahlen zu definieren, auf die sich jeder Simulationsexperte, unabhängig vom jeweiligen Anwendungsfall stützen kann, ist sicher nicht möglich. Zudem sollte den zahlreich vorhandenen Standards und branchenspezifischen Vorschriften keinesfalls ein neuer Standard entgegengesetzt werden. Im Sinne der angestrebten Diskussionsplattform erscheint ein Wiki, bei dem jeder Interessent mitarbeiten kann, als besser geeignet. Um dabei die Verletzung von Urheberrechten auszuschließen und gleichzeitig die

Qualität auf einem hohen Niveau zu halten, muss ein solches Wiki dauerhaft moderiert werden. Zwar besitzt ein Wiki bei weitem nicht die Verbindlichkeit eines Standards oder die Dauerhaftigkeit eines Buches, dafür ist es aber ein dynamisches Medium, mit dessen Hilfe möglichst viele Anwender miteinander Informationen austauschen können. Es soll dazu einladen, eigene Erfahrungen und Sichtweisen einzubringen, neue Begriffe aufzunehmen und eventuell auf eigene Weise zu systematisieren. Bisher wurden ca. 50 Begriffe gesammelt. Jeder Begriff wird dabei nach einem einheitlichen Muster wie in Abbildung 3 beschrieben.

Beschreibung

Der Durchsatz (engl.: throughput) beschreibt die Leistung eines Materialflusssystems. Er wird an einer definierten Stelle (z.B. ein Statuspunkt) ermittelt und ist ein wichtiger Index für die Effizienz in der Fertigung (VDMA 66412-1;5.3).

Synonyme

- Throughput (rate)
- Leistung
- Ausbringung

Arten

- Actual throughput rate (SEMI E124-1103)
- Theoretical throughput rate (SEMI E124-1103)
- Bottleneck throughput rate (SEMI E124-1103)

Formeln

$$\text{Durchsatz} = \frac{PM}{DLZ} \left[\frac{\text{Mengeinheit}}{\text{Zeiteinheit}} \right]$$

- PM - Produzierte Menge [Mengeinheit]
- DLZ - Durchlaufzeit [Zeiteinheit]

Messmethodik

Bezüge

- Produkt
- Auftrag
- Produktionseinheit

Literaturverweise

- VDMA 66412-1;5.3
- SEMI E124-1103

Abbildung 3: Beispiel für die Kennzahl "Durchsatz".

Synonym verwendete Begriffe werden nicht neu definiert sondern kenntlich gemacht. Umgekehrt werden getrennte Definitionen aufgenommen, wenn ein Begriff unterschiedliche Bedeutung haben kann (z.B. *Kapazität*, *Zykluszeit*). Im Fall der *Kapazität*, bei der man die bestandsorientierte von der durchsatzorientierten Sicht unterscheiden muss, handelt es sich somit um zwei Begriffe mit gleichem Namen. Es existiert zunächst keine Hierarchie, d.h., alle Begriffe sind gleichrangig. Systematisiert werden die Begriffe erst nachfolgend, indem eine Struktur in Form von Zuordnungen zu den genannten Schlüsselbegriffen erfolgt bzw. eine Einteilung in mehrere Ebenen von Unterkategorien vorgenommen wird. So entstehen Strukturen in der Menge der Begriffe, die die jeweilige Sicht oder Anwendung widerspiegeln:

- Verwendung in der Fertigung oder für die Simulation
- Simulation für Planung oder Steuerung
- Maschinen- oder produktbezogene Sicht (z.B. *Zykluszeit*)
- Lang- oder kurzfristige Bewertung (operatives oder strategisches Betriebsergebnis)
- Stellung in der Hierarchie der Produktion (z.B. Liniensteuerung oder Management)

6 Ausblick

Das Wiki "Begriffe und Kennzahlen" richtet sich in erster Linie an die Simulationsexperten. Jeder Interessent ist eingeladen, sich an der Diskussion aktiv zu beteiligen. Natürlich ist der gegenwärtige Stand noch nicht zufriedenstellend. Aber das Wesen einer solchen offenen Diskussionsplattform besteht ja gerade darin, dass ihre Qualität durch aktive Mitarbeit vieler allmählich verbessert wird. Viele Fragen sind auch nach wie vor offen, etwa die Frage, auf welcher Basiseinheit der *Durchsatz* bei Montageprozessen oder wie genau der Begriff *Leistung* definiert werden soll. Auch sind die einfachen, manuell entwickelten Strukturen keinesfalls ausreichend. Gegenwärtig wird daran gearbeitet, eine Ontologie zu entwickeln, die eine explizite Beschreibung der semantischen Beziehungen und Abhängigkeiten zwischen den Objekten der Domäne "Kennzahlen und Begriffe" zulässt. Es bleibt daher zu hoffen, dass das Interesse an einer Weiterführung der Plattform nicht nachlässt.

Literatur

- BRUCKER, Peter: Scheduling Algorithms. Berlin: Springer-Verlag, 2007.
- DANGELMAIER, Wilhelm; WARNECKE, Hans-Jürgen: Fertigungslenkung – Planung und Steuerung des Ablaufs der diskreten Fertigung. Berlin: Springer-Verlag, 1997.
- DOMSCHKE, Wolfgang; SCHOLL, Armin; VOSS, Stefan: Produktionsplanung – Ablauforganisatorische Aspekte. Berlin: Springer-Verlag, 1997.
- GÜNTHER, Hans-Otto; TEMPELMAIER, Horst: Produktion und Logistik. Berlin: Springer-Verlag, 2005.
- HOPP, Wallace J.; SPEARMAN, Mark L.: Factory Physics – Foundations of Manufacturing Management. Boston: Irwin McGraw-Hill, 2001.
- KURBEL, Karl: Produktionsplanung und -steuerung. München: R. Oldenbourg Verlag, 1999.
- MEINBERG, Uwe; TOPOLEWSKI, Frank: Lexikon der Fertigungsleittechnik – Begriffe, Erläuterungen, Beispiele. Berlin: Springer-Verlag, 1995.
- PINEDO, Michael: Scheduling: Theory, Algorithms and Systems. Berlin: Springer-Verlag, 2008.