

Kennzahlen in der automatisierten Fertigung

Key Performance Indicators in Automated Production

Franz Fuchs
GEFASOFT AG, München (Germany)
franz.fuchs@gefasoft.de

Abstract: Meaningful KPIs are needed to assess a complex automated production process. Only a KPI system and the corresponding reporting enable the management to effectively control and guide production.

For data entry, calculation, archiving, and presentation of the KPIs, autonomous systems data collecting solutions or function modules are used in integrated production systems (e.g. ERP or MES). For all systems, it is important to have the option of online accessibility of production controls (only online data ensure consistent high data quality) and a flexible visualization/reporting tool. Data that are not presented in an attractive manner are ultimately not used.

The quality of simulations, planning simulation as well as operational simulation, depends to a great extent on the quality of the input data. Typical examples of this are the influence of malfunctions on the equipments (e.g. represented by the mean values MTTR – Meantime to Repair and MTBF – Meantime between Failures) and Cycle Time profiles. To achieve statistically adequate quality, the provided KPIs must be determined on the basis of a sufficiently large volume of data (more than one year).

1 Überblick

Die Beurteilung eines komplexen Produktionsprozesses erfordert aussagekräftige Kennzahlen. Nur ein Kennzahlensystem und das dazugehörige Reporting ermöglicht dem Management die effektive Kontrolle und Steuerung der Produktion. In der automatisierten Produktion sind vor allem Kennzahlen von einzelnen Maschinen und Anlagen, wie z.B. die "Technische Verfügbarkeit" von Bedeutung. Eine vernetzte Produktion ermöglicht auch eine automatisierte, und damit kostengünstige, Erhebung der Daten.

Gleichzeitig können Kennzahlen die Ergebnisse von Simulationen entscheidend verbessern, da sie eine Rückkopplung realer Systemdaten in verdichteter Form erlauben. Für die Planungssimulation werden vor allem statistische Daten zum Stör-

verhalten der Maschinen und Anlagen als Eingangsdaten herangezogen. Zur Betriebssimulation werden Daten aus der Betriebsdatenerfassung, wie z.B. Nutzungsgrade und Stückzahlen, verwendet, welche zyklisch an die Simulation übergeben werden.

Zur Datenerfassung, Berechnung, Archivierung und Präsentation der Kennzahlen werden eigenständige Systeme (z.B. BDE-Lösungen, BDE steht für Betriebsdatenerfassung) oder Funktionsmodule in integrierten Produktionssystemen (z.B. ERP oder MES, MES steht für Manufacturing Execution System) eingesetzt. Die nachfolgend beschriebenen Eigenschaften beziehen sich auf ein MES, das als Standard-system bei verschiedenen Automobilherstellern im Einsatz ist. Drei Aspekte, die besonders im Umfeld der hoch automatisierten Fertigung zum Tragen kommen, sind besonders hervorzuheben:

- Eine Online-Anbindung der Produktionssteuerungen (vorzugsweise über Ethernet / TCP/IP) erlaubt eine zeitnahe qualitativ hochwertige Datenerfassung.
- Die Berechnung der Kennzahlen muss flexibel an die Bedürfnisse verschiedener Produktionsbereiche angepasst werden können.
- Ein flexibles Visualisierungs- und Reporting-Werkzeug für die erfassten Rohdaten und für die berechneten Kennzahlen wird benötigt. Denn Daten, die nicht ansprechend verteilt werden, werden letztlich auch nicht genutzt. Zur Zeit ist ein Trend zur Vereinfachung des Reportings auf möglichst wenige Kennzahlen mit "Dashboards" oder "Ampellösungen" zu beobachten. Dies mag zur Erstbeurteilung einer Situation ausreichen, ermöglicht aber keine weitere Analyse und damit auch keine Ableitung von Maßnahmen. Das Reporting der Kennzahlen sollte deshalb Möglichkeiten zum "Drill-Down" bieten (wie setzt sich der Wert zusammen und welche Teilaspekte waren wesentlich) und auch die Historie der Kennzahl (ist der Wert im Trend oder eher ein Ausreißer) in der gleichen Ansicht bereitstellen.

2 Welche Kennzahl darf's denn sein?

Diese Frage kann nicht eindeutig und generell beantwortet werden – zu unterschiedlich sind die Voraussetzungen der Produktionsanlagen und auch die Blickwinkel der Nutzer.

Im industriellen Umfeld, mit dem meist hohen Automatisierungsgrad, hat sich die **OEE** (Overall Equipment Efficiency = Produkt aus Verfügbarkeit, Leistungsrate und Qualitätsrate) als universeller Gradmesser etabliert (KOSCHNITZKE 2008, S. 17). Der Faktor Verfügbarkeit spiegelt die Zuverlässigkeit der Maschinen und Anlagen und berücksichtigt Störeinflüsse. Der Faktor Leistungsrate gibt Aufschluss über Leerlaufzeiten und Taktzeitüberschreitungen und die Qualitätsrate repräsentiert Verluste aus Qualitätsproblemen.

Die OEE ist somit ein Indikator, der alle relevanten Einflüsse einschließt (vgl. Abb. 1). Sie liefert damit einen ersten Indikator für eine generelle Beurteilung, erlaubt aber kaum eine tiefer gehende Ursachenforschung. Für detaillierte Betrachtungen sind die Einzelfaktoren bzw. andere Kennzahlen, die problemspezifisch angepasst

werden, in der Regel besser geeignet. Besonders der Faktor "Verfügbarkeit" wird in vielen Anwendungen sehr unterschiedlich berechnet und auch interpretiert. Eine Gliederung der Verfügbarkeit in "technische" (aus Sicht der Anlage / Maschine), "systembedingte" (Stillstände die von angrenzenden Anlagen / Maschinen verursacht wurden) und "organisatorische" Anteile ist ein Beispiel für eine solche Detaillierung. In die OEE fließt dann eine "Gesamtverfügbarkeit" ein, die sich aus einer von Überlappungen bereinigten Betrachtung der drei genannten Teilaspekte ergibt.

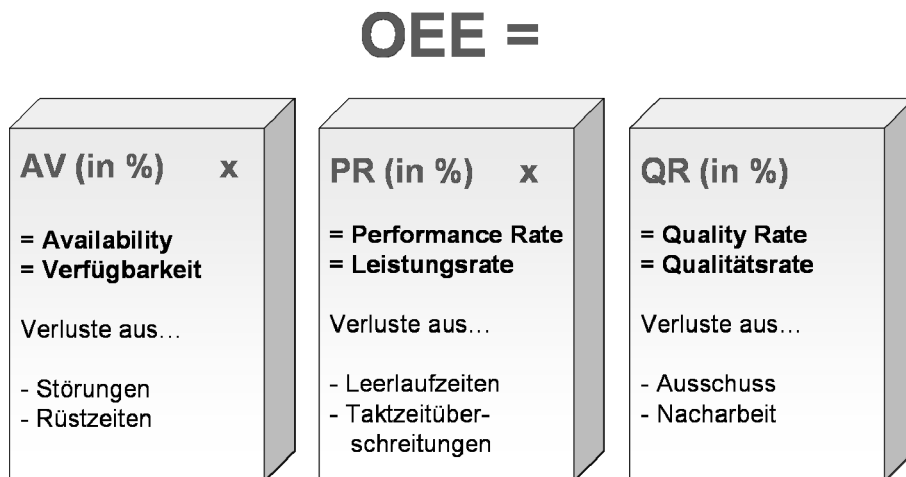


Abbildung 1: Die drei Bestandteile der OEE und die darin enthaltenen Verlustfaktoren

3 Die Datenbasis entscheidet über die Aussagekraft

3.1 Betrachtungszeitraum

In der industriellen Produktion ist eine "Schicht" als Betrachtungszeitraum zur Erhebung von Produktionskennzahlen etabliert. Im Schichtrhythmus werden üblicherweise Produktionsvorgaben definiert (z.B. Menge und Produkte) und auch die Produktionsmitarbeiter arbeiten im Schichtbetrieb. Damit werden Soll- / Ist-Vergleiche möglich und die Mitarbeiter haben unmittelbaren Bezug zu den Kennzahlen "ihrer" Schicht.

In kontinuierlichen Prozessen arbeiten Maschinen und Anlagen oft ohne Schichtbezug. Für diese Fälle wird eher eine Tagesbetrachtung oder noch besser eine Kennzahlenermittlung im Rahmen der Produktionseinheit (z.B. Charge oder Los) benötigt.

3.2 Online Berechnung

Die Berechnung von Kennzahlen in definierten Betrachtungszeiträumen bietet den Vorteil der Vergleichbarkeit und liefert Trendaussagen über längere Zeiträume. Eine unmittelbare Reaktion durch die Produktionsleitung oder Instandhaltung auf ungenügende Ergebnisse ist aber immer erst am Ende der Periode möglich. Dieses Manko behebt die Online-Ermittlung der Kennzahlen. Zu jedem Zeitpunkt innerhalb der Schicht können die Verantwortlichen auf Basis dieser Werte korrigierend eingreifen.

3.3 Datenerfassung aus dem Prozess (MDE)

In der heterogenen IT-Landschaft der Produktion sind Online-Schnittstellen zu den Produktionssteuerungen meist nur mit erheblichem Aufwand zu realisieren und deshalb eher die Ausnahme. Doch im Vergleich zur manuellen Datenerfassung über so genannte BDE-Terminals ist die Aussagekraft und Qualität der online erfassten Daten wesentlich höher.

Belastbare Kennzahlen erfordern deshalb Online-Schnittstellen. Zur Verringerung des Aufwandes für die Anbindung werden diese Schnittstellen projekt- oder firmenspezifisch standardisiert. Ein "Standardsoftwarepaket" zur Datenerfassung wird einmalig entwickelt und an Lieferanten der Maschinen- / Anlagensteuerungen verteilt. In der Praxis wird diese Vorgehensweise auf Grund des einmaligen Basisaufwands nur für größere Projekte (Anzahl der Maschinen / Anlagen > 50) angewendet.

Der Detaillierungsgrad und die Qualität der erfassten Daten haben entscheidenden Einfluss auf die Güte der Kennzahlen. So kann z.B. die oben erwähnte Verfügbarkeit je Anlage / Maschine bereits mit einer "Sammelstörmeldung" je Maschine abgebildet werden. Will man jedoch diesen Wert in die Bestandteile "technisch", "organisatorisch" und "systembedingt" zerlegen, benötigt man bereits drei "Störmeldungen" aus dem Prozess. Um diese Thematik flexibel zu lösen, hat sich die Einführung eines "Klassen-Konzeptes" bewährt (vgl. Tab. 1).

<i>ID der Klasse</i>	<i>Beschreibung der "Unterbrechungsart"</i>	<i>Priorität</i>
-3	<i>TPM Pause</i>	1
-2	<i>Zusätzliche Pause</i>	1
-1	<i>Geplante Pause</i>	1
1	<i>Technisch</i>	2
2	<i>Systembedingt</i>	3
3	<i>Organisatorisch</i>	3
4	<i>Sonstige</i>	3

Tabelle 1: Beispiel eines Klassenkonzeptes aus einem realen MES in der Automobilproduktion

Durch die Einführung einer "Priorität" kann das System bei gleichzeitig gemeldeten Stillständen aus verschiedenen Klassen entscheiden, welcher "Verfügbarkeitsart" ("technisch", "organisatorisch", "systembedingt") der Stillstand zugeordnet werden soll. Die Aussagekraft der Kennzahl "Verfügbarkeit" wird dadurch stark verbessert.

Für eine Betriebssimulation, mit der z.B. die Produktion der nächsten Tage simuliert werden soll, sind neben den Störeinflüssen (Verfügbarkeit der Anlagen) auch die Betriebszeiten wichtig. Die Schichtpläne der einzelnen Anlagen werden in der Regel mit einigem Vorlauf ebenfalls im MES gepflegt (vgl. Abb. 2) und über eine Schnittstelle an die Betriebssimulation übergeben.

Abweichende Zeitvorgaben (knotenabhängige Schichtdetail-Ansicht)

Zeitvorgaben für Knoten Produktionsbereich A
Datum: 28.04.2010

Schichtmodellangaben

Zeitschema:	Werk I
Standard-Schichtmodell:	3-Schichten
Schichtmodell für diesen Knoten:	3-Schichten
Frühschicht:	Gruppe 1 Müller
Spätschicht:	Gruppe 2 Huber
Nachtschicht:	Gruppe 3 Meier

Schichtzeiten

Name	Typ	Gruppe	Faktor [%]	Beginn	Ende
Frühschicht	Frühschicht	Gruppe 1	100	06:00	14:00
Spätschicht	Spätschicht	Gruppe 2	100	14:00	22:00
Nachtschicht	Nachtschicht	Gruppe 1	100	22:00	06:00

Pausenzeiten

Name	Typ	Beginn	Ende
Pause 1	geplant	09:00	09:30
Pause 2	geplant	12:00	12:30

Abbildung 2: Die Festlegung der Schicht- und Pausenzeiten erfolgt im MES je Anlage und Kalendertag

4 Archivierung und Präsentation der Kennzahlen

Die Archivierung erfolgt zweckmäßig im Raster des Betrachtungszeitraums, also z.B. je Schicht (siehe oben). Reports werden aber auch für längere Zeiträume benötigt. Dies erfordert eine "Verdichtung" der Kennzahlen auf andere Betrachtungszeiträume, wobei zu beachten ist, dass die Aussagekraft von Durchschnittswerten (z.B. durchschnittliche Verfügbarkeit über 1 Jahr) meist gering ist. "Rohdaten", die zur Ermittlung der Kennzahlen herangezogen wurden (z.B. Einzel-Störmeldungen), können aber bei hohem Datenaufkommen nicht beliebig in der Datenbasis gehalten werden. Diese Werte müssen dann ebenfalls je Betrachtungszeitraum verdichtet und archiviert werden. Am Beispiel der Einzel-Störmeldungen ist eine Verdichtung über

die Werte "Anzahl", "Durchschnittliche Stördauer" und "Summierte Stördauer" je Störklasse und Anlage / Maschine möglich.

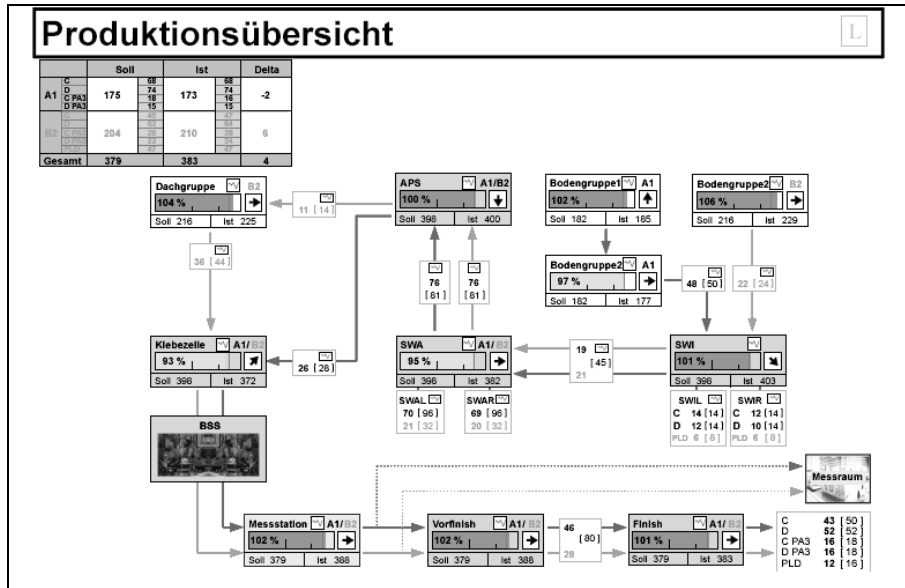


Abbildung 3: Beispiel zur Darstellung von "Online-Kennzahlen" (mit laufender Aktualisierung) in einem Produktionslayout je Anlage

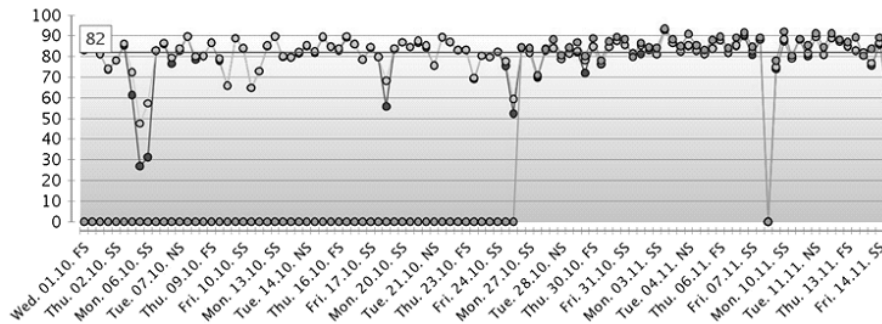


Abbildung 4: Darstellung der "Verfügbarkeit" über die Zeit mit einem Wert je Schicht (Früh-, Spät-, Nachtschicht)

Wie eingangs dargestellt, ist der Nutzen des gesamten Kennzahlensystems entscheidend vom Bedienkomfort und einer übersichtlichen Präsentation abhängig. Bunte Bilder mit "Ampeln" oder endlose Tabellen mit Zahlen sind die Extrempositionen auf der Skala der Darstellung. Die Wahrheit liegt dazwischen – oder besser gesagt in einer sinnvollen Kombination von Grafik und Zahlen mit der Möglichkeit zur Interaktion durch den Benutzer. Wenn ein Wert, z.B. repräsentiert durch einen Farb-

umschlag oder eine Warnmeldung, auffällig ist, muss der Benutzer durch einfaches "Drill-Down" die Ursache für die Abweichung erkennen. Im oben dargestellten Beispiel eines Blockbildes (Abb. 3) ist das aktuelle Verhältnis der Ist-Stückzahl zur Soll-Stückzahl in einem Balken und als %-Wert abgebildet. Bewegt man den Mauszeiger über diesen Balken, werden die zu Grunde liegenden Rohdaten eingeblendet. Zur mittel- und langfristigen Betrachtung eignen sich Trenddiagramme mit Kennzahlen, die auf einen definierten Betrachtungszeitraum verdichtet sind (vgl. Abb. 4). Die Forderung nach "Drill-Down-Funktionen" und freier Konfigurierbarkeit der betrachteten Aspekte erfüllen heute vor allem so genannte BI-Systeme (Business Intelligence). Ist ein solches System bereits im Betrieb etabliert, kann das Kennzahlensystem seine Daten dem BI-System online übergeben.

5 Kennzahlen als Basis für die Ablaufsimulation

Die Ablaufsimulation wird zur Absicherung und Optimierung von Planungen (z.B. für neue Produktionsanlagen) oder aber zur Unterstützung und Optimierung des laufenden Betriebs angewendet. In beiden Fällen können belastbare Kennzahlen aus der Produktion die Ergebnisse entscheidend verbessern. Die beiden Arten der Simulation, Planungs- bzw. Betriebssimulation, benötigen auch andere Kennzahlen bzw. andere Abläufe zur Übergabe dieser Kennzahlen:

5.1 Betriebssimulation mit Online-Kopplung

Die Betriebssimulation soll eine Planung der Produktion für die nähere Zukunft unterstützen. Interessant sind vor allem die zur erwartenden Produktionsmengen in einer definierten Periode je Produkt.

Gestartet wird in der Regel mit einem Prozessabbild der aktuellen Fertigung. Das Prozessabbild basiert auf aktuell in den Produktivsystemen gehaltenen Daten, welche durch Onlinekopplungen zyklisch an die Simulation übergeben werden. Typische Beispiele dafür sind Ist- und Solltaktzeiten (tägliche Übergabe), Schicht- und Zeitmodelle bzw. davon abgeleitete Netto-Produktionszeiten (tägliche Übergabe mit Vorlauf in die Zukunft) oder Störmeldungen als Einzelmeldungen mit Klasseninformationen.

5.2 Planungssimulation

Die Planungssimulation zur Auslegung der Maschinen und Anlagen erhält als wesentliche Eingangsdaten Parameter und Kennzahlen, die aus historischen Ist-Daten bestehender Systeme gewonnen werden.

Die Güte der Planungssimulation und damit der Planungsabsicherung/-optimierung hängt wesentlich von der Qualität dieser Eingangsdaten ab. Folgende Daten werden u. a. vom MES an die Planungssimulation als Werte übergeben:

- Störungseinflüsse auf die Anlagen, repräsentiert durch die Werte MTTR und MTBF.

Die Meantime to Repair (MTTR) ist die mittlere Reparaturzeit. Es ist die Zeit

um einen Fehler zu erkennen, ihn zu identifizieren und das defekte Bauteil oder eine Komponente auszutauschen. Es ist die Zeitdauer zwischen dem Auftreten eines Fehlers in einem Gerät oder System und der Behebung des Fehlers. Die MTTR, die nicht nur in der Geräte- und Systemtechnik benutzt wird, sondern auch in der Industrie und der Fertigung, sollte möglichst gegen Null gehen. Je geringer sie ist, desto besser ist die Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit eines Systems. (N.N. 2010a)

Bei der mittleren Ausfallzeit (MTBF = Meantime between Failures) handelt es sich um die Zeit, die im normalen Betrieb eines Systems, einer Einrichtung oder einer Systemkomponente wahrscheinlich vergeht, bevor es ausfällt. Die MTBF gibt die Zeit in Stunden an, die bis zum nächsten Fehler vergeht. So besagt ein MTBF Wert von beispielsweise 10.000, dass das Gerät im Mittel 10.000 Stunden fehlerfrei arbeitet (N.N. 2010b)

- Anlagentaktzeiten

Die Simulation benötigt auch eine statistische Verteilung dieser Werte. So wird z.B. für die MTTR (Stördauer) eine "Erlang-Verteilung" und für die MTBF (Abstand der Störungen eine "Negative Exponentialverteilung" angewendet. Um eine statistisch ausreichende Qualität zu erreichen, werden die Verfügbarkeits- und Taktzeitdaten auf Basis einer hinreichend großen Datenmenge (Umfang größer 1 Jahr) ermittelt. Die Rohdaten werden durch das MES deshalb auch für mindestens 12 Monate archiviert.

Literatur

KOSCHNITZKE, Thomas: Kontinuierliche Verbesserung mit Total Productive Management. Ziele und Kennzahlen für Verbesserungsprogramme in der Produktion. Hamburg: Diplomica Verlag GmbH, 2008.

N.N.: MTBF (mean time between failures).
<http://www.itwissen.info/definition/lexikon/mean-time-between-failures-MTBF-Mittlere-Ausfallzeit.html>, Stand: 26.05.2010. (=2010a)

N.N.: MTTR (mean time to repair).
<http://www.itwissen.info/definition/lexikon/mean-time-to-repair-MTTR.html>, Stand: 26.05.2010. (=2010b)