

Kon-CEPT

Produktionskennzahlen

Eine Übersicht über
Produktionskennzahlen
und deren Verwendung
in MMS

Mai 2008

Inhalte

1. Übersicht	3
1.1. Einleitung	3
1.2. Gängige Anlagenkennzahlen	3
Taktzeit	4
Produktionsdurchsatz	5
Stückzahlabweichung	5
Durchlaufzeit	6
Terminreue	6
Sequenzfolgerichtigkeit	6
Qualitätsrate	7
FTOK Rate	7
TEEP Rate	8
Verlässlichkeit	8
Wartbarkeit	8
Technische Verfügbarkeit	9
Gesamtverfügbarkeit	10
Organisatorische Verluste	10
Effizienz	11
1.3. Problematische Maßzahlen	12
2. OEE (Overall Equipment Efficiency)	13
3. OEE in MMS	16
3.1. Der MMS Bearbeitungszyklus	16
3.2. Ermittlung der Betriebszeiten	17
3.3. Produktionszähler	18
3.4. Ermittlung der OEE	19
4. Kennzahlen für manuelle Operationen	20
4.1. Datenerfassung an manuellen Arbeitsstationen mit individueller Taktung	20
4.2. Datenerfassung an manuellen Arbeitsstationen in einer Verkettung	20
5. Kennzahlen für Linien und Gewerke	22
5.1. Technische Verfügbarkeit	23
5.2. Gesamtverfügbarkeit	24

1. Übersicht

1.1. Einleitung

Das Management von Fertigungsanlagen ist seit jeher auf wenige überschaubare Kennzahlen angewiesen, die die Performance einer Fertigungsanlage beschreiben und wenn möglich Trends über deren Entwicklung aufzeigen. Dementsprechend ist in der Automobilindustrie eine Reihe von standardisierten und proprietären Kennzahlen im Einsatz, um die Performance des Produktionsprozesses zu beschreiben. Leider ist auch bei standardisierten Kennzahlen Vorsicht geboten, da die Methoden für ihre Ermittlung und Berechnung je nach Werk sehr verschieden sein können. Wenn von verschiedenen Fertigungsstandorten (dies gilt meist sogar innerhalb eines Konzerns, welcher mehrere Fertigungsstandorte betreibt) Kennzahlen mit der gleichen Bezeichnung geliefert werden, so bedeutet dies nicht automatisch, dass diese für Benchmarking Prozesse herangezogen werden können.

MMS implementiert Standardmethoden für die Berechnung gängiger Anlagenkennzahlen. Diese Methoden können jedoch den Vorgaben des Anlagenbetreibers entsprechend angepasst werden. Sollten die so ermittelten Kennzahlen für die Optimierung einer Anlage verwendet werden, so spielt ihre relative Entwicklung über der Zeit eine Rolle und die absolute Vergleichbarkeit der Kennzahlen tritt in den Hintergrund.

Welche Kennzahlen eine sinnvolle Messgröße für die Anlagenperformance liefern hängt stark von der Situation des jeweiligen Fertigungsbetriebes ab. Oftmals sind mehrere Anläufe erforderlich, bis die passenden Kennzahlen, die auch die erforderliche Sensitivität liefern, gefunden sind.

1.2. Gängige Anlagenkennzahlen

In diesem Abschnitt sollen einige gängige Anlagenkennzahlen näher erläutert werden, ohne dass ein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben wird. Zudem soll darauf hingewiesen werden, dass einige Kennzahlen mit Vorsicht zu genießen sind und im Normalfall nicht wirklich sinnvolle Aussagen liefern.

Taktzeit

Die Taktzeit wird entsprechend der folgenden Formel ermittelt:

$$T_{\text{Takt}} = T_n - T_{n-1}$$

Die Taktzeit ist jene Zeit, die zwischen der Fertigstellung der Bearbeitung zweier in der Linie aufeinanderfolgender Teile vergeht.

Die Taktzeit ist eine wesentliche Planungsgröße für den Entwurf von Fertigungsanlagen, die zusammen mit wahrscheinlichen Szenarien für den Modellwechsel eine Grundlage für die Ermittlung der Abtaktung ergibt. Die geplante Taktzeit einer Anlage ist direkt von der geplanten Jahresstückzahl der Anlage und dem angestrebten Schichtmodell abhängig. Je geringer die Taktzeit ist, desto größer wird der Platz- und Ressourcenbedarf und desto höher liegen die Investitionskosten und Betriebskosten der Anlage.

Die Taktzeit selbst besteht aus folgenden Zeitanteilen:

- Einförderzeit
- Bearbeitungszeit
- Ausförderzeit

Bei kontinuierlich fördernden Anlagen entfallen Ein- und Ausförderzeiten. Bei taktweise fördernden Anlagen kann die Ein- und die Ausförderzeit meist als konstant angenommen werden.

Im laufenden Betrieb einer Fertigungsanlage gilt es, die Taktzeit der einzelnen Fertigungsstationen genau zu verfolgen, da Stationen, deren Taktzeit nahe an oder sogar über der geplanten Taktzeit liegen, sich als Flaschenhals für den Durchsatz der Anlagen erweisen können. Hierbei ist meist die Betrachtung der durchschnittlichen Taktzeit je Stunde oder je Schicht sinnvoll. Die Überschreitung der Taktzeit kann eine der folgenden Ursachen besitzen (ohne Anspruch auf Vollständigkeit):

- Fehlerhafte Auslegung der Anlage in der Planung
- Fehlerhafte Abtaktung oder anderer Modellmix als in der Planung angenommen
- Mangelnde Verfügbarkeit der Anlage

Produktionsdurchsatz

Der Produktionsdurchsatz wird im Regelfall als Produktionswert je Schicht entsprechend der folgenden Formel ermittelt:

$$\text{Durchsatz} = \sum_{\text{je Schicht}} \text{Teile}_{10}$$

Wesentlich ist der Trend des Durchsatzes während der Schicht, der als Rückmeldung für Werker und Personen in der Fertigung über den aktuellen Stand von besonderer Bedeutung ist. Dieser Trend kann etwa nach der folgenden Formel ermittelt werden:

$$\text{Trend} = \sum_{\text{seit Schichtbeginn}} \text{Teile}_{10} * \frac{\text{Gesamtarbeitszeit in der Schicht}}{\text{Arbeitszeit seit Schichtbeginn}}$$

Stückzahlabweichung

Die Stückzahlabweichung wird jeweils am Ende einer Schicht oder eines Fertigungstages ermittelt, wobei folgende Formel herangezogen wird:

$$\text{Stückzahlabweichung} = \sum_{\text{je Schicht}} \text{Teile}_{10} - \sum_{\text{je Schicht}} \text{Teile}_{\text{geplant}}$$

Die Stückzahlabweichung ist besonders in der Anlaufphase eine wichtige Kennzahl, die anzeigt, wie stabil der Fertigungsprozeß läuft. Stark variierende Stückzahlabweichungen weisen auf Anlagenprobleme hin, die dringend in den Griff zu bekommen sind. Während der Betriebsphase einer Anlage wird meist die kumulative Stückzahlabweichung als Ausgangsgröße für die Produktionsplanung herangezogen.

$$\text{Stückzahlabweichung}_{\text{kumuliert}} = \sum_{\text{über alle Schichten}} \text{Fertigungsabweichung}$$

Die kumulierte Stückzahlabweichung ist z.B. eine Basisgröße für Entscheidungen, ob Überstunden oder Sonderschichten erforderlich sind, um mit der Auftragslage Schritt zu halten.

Durchlaufzeit

Die Durchlaufzeit wird nach folgender Formel berechnet:

$$\text{Durchlaufzeit} = \overline{T_{\text{Band Ab}} - T_{\text{Band Fin}}}$$

In einer Fertigungsanlage mit starrer Verkettung ist die Durchlaufzeit im Wesentlichen von der Topologie der Anlage bestimmt. Die Durchlaufzeit ist meist eine wichtige Meßgröße für die Beurteilung von Nacharbeitsbereichen. Eine lange Durchlaufzeit in diesen Bereichen läßt meist auf eine schlechte Termintreue bei der Auslieferung schließen.

Termintreue

Die Termintreue wird nach folgender Formel berechnet:

$$\text{Termin treue} = \overline{T_{\text{Band Ab Ist}} - T_{\text{Band Ab Plan}}}$$

Die Termintreue ist eine wichtige Meßgröße für die Performance des gesamten Fertigungsbetriebes und deshalb von besonderer Bedeutung, da sie direkt für den Kunden sichtbar und daher meist auch Vertragsbestandteil mit dem Kunden ist. Die Termintreue wird von allen Funktionen in der Fertigung beeinflusst, also der Fertigungsplanung, der Logistik, den Zulieferern und der Produktion selbst.

Sequenzfolgerichtigkeit

Die Sequenzfolgerichtigkeit wird nach folgender Formel berechnet:

$$SFR = \frac{\sum \text{Teile}_{\text{Sequenz IST} - \text{Sequenz PLAN}}}{\sum \text{Teile}_{\text{Gesamt}}}$$

Die Sequenzfolgerichtigkeit ist eine der Hauptanforderungen für Zulieferer zur Automobilproduktion, die Sequenzteile an ein Fertigungsband liefern. Mangelnde Sequenzfolgerichtigkeit führt zwangsläufig zu Fehlteilen am Band und zu Stillständen bzw. zu einer sinkenden FTOK Rate beim Abnehmer. Meist ist die geforderte Rate der Sequenzfolgerichtigkeit ein Vertragsbestandteil, sodass deren Nichteinhaltung mit Kosten durch Vertragsstrafen verbunden ist. Die geforderte Sequenzfolgerichtigkeit muss durch

systemtechnische Maßnahmen abgesichert werden und ist daher eine wesentliche Grundlage für die Planung der Anlage.

Qualitätsrate

Die Qualitätsrate wird nach folgender Formel berechnet:

$$\text{Qualitätsrate} = \frac{\text{Teile}_{\text{Gesamt}} - \text{Teile}_{\text{NIO}}}{\text{Teile}_{\text{Gesamt}}}$$

Die Qualitätsrate ist eine gute Maßzahl für die Performance einzelner meist automatisierter Fertigungsmaschinen. Wenn Maschinen eine geringe Qualitätsrate aufweisen, d.h. hohe Ausschussraten produzieren, so ist dies gleichbedeutend mit hohen Taktverlusten. Taktverluste können entweder durch Verlust an Zeit oder durch Verlust an Qualität bewirkt werden.

FTOK Rate

Die FTOK Rate wird nach folgender Formel berechnet:

$$\text{FTOK} = \frac{\text{Teile}_{\text{Gesamt}} - \text{Teile}_{\text{mit offenen Punkten}}}{\text{Teile}_{\text{Gesamt}}}$$

Die FTOK Rate wird in einer Fertigung meist bei Liniende oder bei Band Ab gemessen noch bevor die Teile oder Fahrzeuge durch die Nacharbeit laufen. In diesem Sinne ist die FTOK Rate eine Maßzahl für die Performance eines gesamten Bandabschnitts anstatt nur einer einzelnen Fertigungsmaschine. Die effiziente Messung der FTOK Rate speziell in Gewerken mit hohen manuellen Arbeitsanteilen, wie der Fahrzeugendmontage setzt die Erfassung von Qualitätsdaten in der Anlage mit EDV-Mitteln voraus.

TEEP Rate

TEEP steht für Total Effective Equipment Performance und wird nach folgender Formel berechnet:

$$TEEP = \frac{\text{Laufzeit ohne Fehler}}{\text{Gesamtzeit}}$$

Die TEEP wird in einigen Betrieben als Maßzahl verwendet. Kon-Cept tendiert eher dazu, verschiedene Verfügbarkeitsraten zu messen und zu verfolgen.

Verlässlichkeit

Die Verlässlichkeit einer Anlage wird nach folgender Formel ermittelt:

$$\text{Verlässlichkeit} = \frac{1}{T_{\text{Ausfall } N} - T_{\text{Ausfall } N-1}}$$

Die Verfügbarkeit gibt die durchschnittliche Zeitspanne an, die zwischen zwei aufeinanderfolgenden Anlagenstillständen vergeht. Die Verlässlichkeit ist damit ähnlich zu bewerten, wie die MTBF (Mean Time Between Failure) einzelner Bauteile in der Anlage. Anlagen mit geringer Verlässlichkeit müssen nicht notwendigerweise Flaschenhälse repräsentieren, verursachen aber oft Fehler, die die Intervention des Werkers oder des Instandhalters erfordern. Sie binden damit Ressourcen und lenken von den eigentlichen Problemen in der Anlage ab. Schon aus diesen Gründen sollten Anlagen mit geringer Verlässlichkeit besondere Beachtung finden. Oftmals deutet eine geringe Verlässlichkeit der Anlage aber auch auf fehlerhafte Auslegung der Abläufe hin.

Wartbarkeit

Die Wartbarkeit einer Anlage wird nach folgender Formel ermittelt:

$$\text{Wartbarkeit} = \frac{1}{T_{\text{Autostart } N} - T_{\text{Autostopp } N-1}}$$

Die Wartbarkeit gibt den durchschnittlichen Zeitaufwand für die Wiederherstellung des Betriebs, gemessen von Automatik gestoppt bis erneut Automatik gestartet) an. Hiermit ist die Wartbarkeit ähnlich der MTTR von Einzelkomponenten. Die Wartbarkeit hängt von folgenden Faktoren ab:

- Technischer Aufbau der Anlagen - Wie gut sind Anlagen zugänglich, wie leicht können Teile getauscht und justiert werden
- Diagnose der Anlage - Wie einfach können Fehler an Hand der Diagnoseanzeigen an HMI oder am Bediengerät gefunden werden
- Effizienz der Wartungsmannschaft (Ausbildung, Moral, Werkzeuge, Anzahl der Personen).

Technische Verfügbarkeit

Die technische Verfügbarkeit einer Anlage wird nach folgender Formel ermittelt:

$$V_{\text{technisch}} = \frac{T_{\text{Automatikgestartet}}}{T_{\text{gesamt}} - T_{\text{Pause}}}$$

Die technische Verfügbarkeit wird durch folgende Faktoren beeinflusst:

- Verlässlichkeit der Anlage
- Wartbarkeit der Anlage
- Teilequalität (hauptsächlich Geometrie).

Übliche Werte von Linien im laufenden Rohbau sind bei 85 - 95 % je nach Komplexitätsgrad der Linie. In Lackgewerken und in der Fahrzeugendmontage werden meist höhere Werte gefordert.

Die technische Verfügbarkeit sollte als solche einzeln erfasst werden, da sie eine hervorragende Messgröße für die Performance der vom Anlagenlieferanten aufgebauten Fertigungseinrichtungen darstellt. Im laufenden Betrieb ist die technische Verfügbarkeit eine Basis für die Beurteilung der Performance der Instandhaltung.

Gesamtverfügbarkeit

Die Gesamtverfügbarkeit einer Anlage wird nach folgender Formel ermittelt:

$$V_{\text{gesamt}} = \frac{T_{\text{Automatikgestartet}} - (T_{\text{Einaufler}} + T_{\text{Auslaufblockiert}} + T_{\text{Bandhalt}} + T_{\text{geplanter Stillstand}})}{T_{\text{gesamt}} - T_{\text{Pause}}}$$

Die Gesamtverfügbarkeit wird durch folgende Faktoren bestimmt:

- Faktoren, die in der technischen Verfügbarkeit erfasst werden.
- Performance der Materialwirtschaft (fehlendes Material, falsches Material, Anlieferung nicht in Sequenz).
- Teilequalität (Fehlteile).
- Effizienz der Werker am Band (Ausbildung, Moral, Werkzeuge, Anzahl der Personen).
- Güte der Abtaktung.

Übliche Werte von Linien im laufenden Rohbau sind bei 70 - 85% je nach Komplexitätsgrad der Linie.

Wenn an einer Anlage zu einer Zeit mehrere Stillstandsgründe vorliegen, also es tritt z.B. ein Anlagenfehler gleichzeitig mit einem Fehlteil auf, so wird die Zeit nur einfach, nicht doppelt gezählt. Ebenso werden die Pausenzeiten aus der Berechnung der technischen und der Gesamtverfügbarkeit herausgerechnet. Dies soll ein Incentive für die Instandhaltung bewirken, Arbeiten an Anlagen möglichst während der Pausenzeit oder zu Zeiten, in denen die Anlage aus organisatorischen Gründen stillsteht, durchzuführen.

Organisatorische Verluste

Die organisatorischen Verluste einer Anlage werden nach folgender Formel ermittelt:

$$\Delta_{\text{organisatorisch}} = V_{\text{technisch}} - V_{\text{gesamt}}$$

Die organisatorischen Verluste in dieser Form ermöglichen die Abschätzung der Taktverluste in einer Anlage, die durch nicht-technische Ursachen bestimmt sind. Übliche Werte liegen zwischen 12-15%.

Effizienz

Die Effizienz einer Anlage werden nach folgender Formel ermittelt:

$$\text{Effizienz} = \frac{\text{geplante Taktzeit} * \sum_{\text{je Schicht}} \text{Teile}}{T_{\text{Automatikgestartet}}}$$

Die Effizienz beschreibt folgende Einflussfaktoren auf die Fertigung:

- Verlängerung der Taktzeit durch kurzfristige Stillstände.
- Organisatorisch bedingte Ausnutzung der Anlage (sind Teile vorhanden, gibt es Fertigungsaufträge?)

Übliche Werte liegen im laufenden Betrieb eines Rohbaus bei etwa 95%. Die Effizienz ist besonders während der Anlaufphase einer Produktion (SOP bis Kammlinie) eine wichtige Maßzahl, da sie beschreibt, wie gut die Anlage im Automatikbetrieb genutzt wird (Nettoproduktion).

Nakajima hat anstatt der Effizienz ursprünglich einen Geschwindigkeitskoeffizienten definiert, der heute üblicherweise nicht mehr verwendet wird.

1.3. Problematische Maßzahlen

In vielen Fertigungsbetrieben begegnen wir Maßzahlen, die breite Verwendung finden, da sie meist einfach ermittelt werden können, deren Aussage aber bestenfalls als bedenklich bezeichnet werden kann. Die Verfolgung und Optimierung solcher Kennzahlen zeigt von einer eingeschränkten Sicht auf die Fertigungsanlage und führt somit mit Sicherheit zu Problemen. Typische Beispiele solcher Maßzahlen sind:

- Wartungskosten gesamt - Meist werden Wartungskosten als Gemeinkosten auf alle Stellen in der Produktion umgelegt. Dies führt meist zu der Forderung nach Minimierung von Gemein- und damit von Wartungskosten. Anstatt solche Suboptimierungen anzustellen, ist eine transparente Kosten- und Nutzenrechnung für die Instandhaltung anzustreben, die eine Maximierung des Wertes der Anlage anstrebt.
- Wartungskosten bezogen auf den Umsatz
- Planungsaufwand bezogen auf den Arbeitsaufwand
- Anteil der Ersatzteilkosten an den Wartungskosten

Obige Beispiele zeigen, dass Maßzahlen, die dem Management als Grundlage dienen sehr genau überlegt sein müssen. Folgende Fragen sollten beantwortet werden:

- Was will ich messen?
- Was will ich steuern?
- Welche Einfluss- und Störgrößen will ich erfassen?
- Welche Ziele will ich erreichen? Was sind meine Sollvorgaben?

2. OEE (Overall Equipment Efficiency)

OEE steht für Overall Equipment Efficiency und ist als Maßzahl für die Performance einer diskreten Fertigungsanlage mittlerweile so weit verbreitet, dass sie in einem eigenen Abschnitt behandelt werden soll. OEE wurde ursprünglich von Seiichi Nakajima vom JIPM (Japan Institute for Plant Maintenance) entwickelt. Mittlerweile findet sich in fast jedem Fertigungsbetrieb eine spezifische Methode für die Ermittlung der OEE und damit verbunden auch eine eigene Interpretation dieser Kennzahl.

Die OEE einer Anlage werden nach folgender Formel ermittelt:

$$OEE = \text{Qualitätsrate} * \text{Verfügbarkeit} * \text{Effizienz}$$

Die OEE berücksichtigt folgende Problembereiche in der Fertigungsanlage:

- **Geplante Stillstände** - Geplante Stillstände werden von der Produktionsplanung in Zusammenarbeit mit der Instandhaltung vorgegeben. Sie sind erforderlich, um Tätigkeiten, wie Kalibrierung von Geräten, Tests von Fertigungsanlagen, Kappenwechsel, TPM Maßnahmen etc. durchzuführen. Zusätzliche geplante Stillstände können für Pausen oder Mitarbeitergespräche eingeplant werden.
- **Rüstzeiten** - In vielen Fällen muss die Anlage durch Rüstaktivitäten auf den jeweils nächsten Produktionslauf vorbereitet werden. Beispiele sind Werkzeugwechsel an Bearbeitungsmaschinen oder Formenwechsel in Pressenstraßen. Beispiele wie SMED (Single Minute Exchange of Die), wie sie von Shigeo Shingo für Toyota entwickelt wurden, zeigen, dass durch setzen intelligenter Standards für Rüstaktivitäten erhebliche Verbesserungen erzielt werden können.
- **Anlagenstillstände** - Anlagenstillstände sind nicht geplante Ausfälle in der Produktion. Stillstände können durch Fehler und Ausfälle von Anlagen, durch Fehlteile oder andere organisatorische Probleme verursacht werden.
- **Taktzeiten** - Taktzeiten hängen von den Abläufen in der Fertigungsmaschine, von deren Verfügbarkeit aber auch von den Werkern an der Maschine ab (wenn Werker Teile nicht oder fehlerhaft einlegen, so führt dies zu organisatorischen Verlusten). Jede Maschine besitzt eine optimale Taktzeit je Produkt. Sollte diese Taktzeit überschritten werden, so geht Kapazität verloren.
- **Qualitätsverluste** - Wenn eine Maschine ohne Ausfälle mit der geforderten Geschwindigkeit arbeitet, aber erheblichen Ausschuss produziert, so gehen Takte nicht durch Zeit- aber durch Qualitätsprobleme verloren.
- **Wartungsaktivitäten** - Alle Wartungsaktivitäten, die auf Grund von Maschinenausfällen in der Produktionszeit erfolgen, kosten Verfügbarkeit und

bewirken Taktverluste. Diese Art von Wartung ist somit meist die teuerste, da zusätzlich zu den Wartungskosten auch die Kosten durch Produktionsausfälle berücksichtigt werden müssen. Hier liegt die Begründung für die Einführung von Abläufen in der vorbeugenden Wartung.

Das Management einer Fertigungsanlage sieht ist üblicherweise mit folgenden Aufgaben konfrontiert:

- **Maximieren des Durchsatzes der Produktion** - Dieses Ziel läuft meist auf eine Erhöhung der Effizienz bzw. der Verfügbarkeit der Fertigungsanlage hinaus. Nur in Sonderfällen, wie z.B. der Mikrochipproduktion kann auch die Verbesserung der Ausbeute, also der Qualitätsrate entsprechende Erfolge bringen. Wenn eine Verringerung der Taktzeit auf Basis der vorhandenen Ressourcen nicht mehr möglich ist, so bleiben meist nur kostenaufwändigere Optionen, wie Anschaffung neuer, effizienterer Maschinen oder Einführen zusätzlicher Schichten (z.B. Übergang vom Zweischicht- zum Dreischichtbetrieb).
- **Geplante Taktzeiten und Auslieferzeiten einhalten** - Dies ist ein typischer Fall, in dem die Supply Chain optimiert werden muss. In der Anlage ist auf die gleichmäßige Einhaltung von Taktzeiten zu achten, da stark variierende Taktzeiten notwendigerweise zu Problemen in der Lieferkette führen. Oftmals werden Probleme in diesem Bereich durch Erhöhung der Lagerbestände kompensiert, was zu erhöhten Kosten durch ein höheres Nettoumlaufvermögen führt.
- **Fertigungskosten reduzieren** - Die Reduktion von Fertigungskosten wird meist gleichgesetzt mit der Reduktion von Personalkosten. Dies ist in gering automatisierten Fertigungsbereichen, wie z.B. der Fahrzeugendmontage eine Option. Dennoch kann durch besseres Verständnis der Fertigungstechnologien und der Maschinen sowie durch Einsatz optimierter Teile meist ein wesentlich besserer Effekt erreicht werden.

Wenn sich das Management mit Problemstellungen aus den obigen Bereichen konfrontiert sieht, so ist die OEE eine Maßzahl für die in der Anlage versteckten Potenziale durch nicht sichtbare Redundanzen. Folgende Auflistung zeigt typische OEE Wertebereiche und deren Bedeutung (MIT Studie 1998):

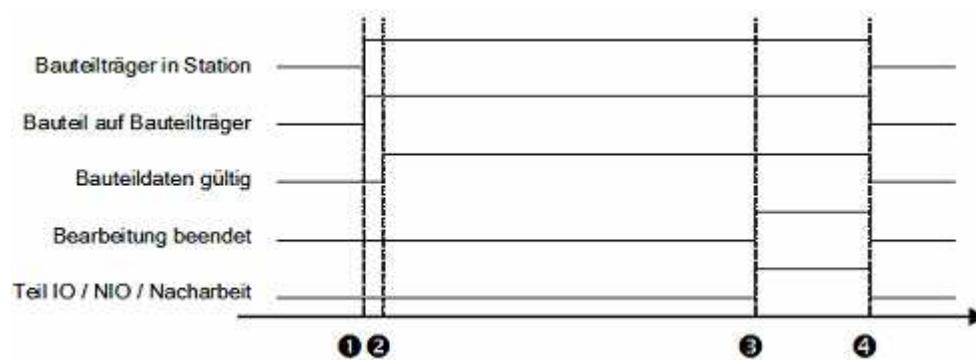
OEE Wert	Beschreibung
< 65 %	Die Fertigung ist stark verbesserungswürdig. In Betrieben mit einer so niedrigen OEE bleibt Geld liegen, sodass dringen Verbesserungsmaßnahmen gesetzt werden sollten
65 % - 85 %	In diesem OEE Bereich bewegen sich die meisten Fertigungsbetriebe. Hier ist darauf zu achten, dass Prozesse für die ständige Selbstoptimierung der Anlage installiert werden. In den Quartalsbilanzen für die OEE sollte sich eine positiver Trend zeigen
> 85 %	Fertigungsbetriebe mit dieser OEE befinden sich auf Weltklasseniveau

Hohe OEE Werte gehen meist auch mit minimalen spezifischen Herstellungskosten einher.

3. OEE in MMS

3.1. Der MMS Bearbeitungszyklus

Der MMS Server erhält von jeder Bearbeitungsstation regelmäßig Nachrichten, wenn sich der Bauteilstatus in der Station verändert. Folgende Abbildung zeigt ein Beispiel für einen typischen Bearbeitungszyklus:



Zeitpunkt	Beschreibung
1	Bauteilträger und / oder Teil in Station - Diese Information wird von der Station auf Basis von Sensoren für die Detektion von Baugruppenträgern und Bauteilen geliefert.
2	Bauteildaten gültig - Dies ist entweder nach dem Lesen eines RFID Datenträgers in der Station der Fall oder nachdem der MMS Server die Bauteildaten an die Station gesendet hat. Das jeweilige Verhalten ist von der Konfiguration der Station im MMS Server abhängig.
3	Bearbeitung beendet - Dieser Status wird von der Station an den MMS Server gesendet, wenn die Bearbeitung des jeweils in der Station befindlichen Bauteils beendet ist. Zusätzlich wird durch die Flags IO, NIO und Nacharbeit der Qualitätsstatus der Bearbeitung angezeigt, sodass die Qualitätsrate für die Station im MMS Server berechnet werden kann.

4

Teil aus Station - Wenn der Baugruppenträger bzw. der Bauteil die Station verlässt, so wird diese Information an den MMS Server gesendet.

3.2. Ermittlung der Betriebszeiten

Auf Basis des MMS Stationszyklus und auf Basis des Stationsstatus kann der MMS Server die Betriebszeiten der Station aus Maschinenorientierter Sicht ermitteln. Dies erfolgt entsprechend der folgenden Schemas:



3.3. Produktionszähler

Für die Ermittlung von Produktionsdurchsätzen und Stückzahlen verwendet der MMS Server das folgende Modell:

Werkstückträger in Station ?					
Nein	Ja (zähle Werkstückträger in Station)				
Keine Zählung	Bauteil auf Werkstückträger ?				
	Nein	Ja (zähle Bauteil auf Werkstückträger)			
	Keine Zählung	Bearbeitung beendet ?			
		Nein	Ja (zähle Bearbeitung beendet)		
		Nacharbeit ?			
		Nein		Ja	
		Bauteil OK ?		Bauteil OK ?	
		Nein	Ja	Nein	Ja
		Zähle Bauteil nicht OK	Zähle Bauteil OK	Zähle Nacharbeit nicht OK	Zähle Nacharbeit OK

3.4. Ermittlung der OEE

Auf Basis dieser von der Station gelieferten Daten kann der MMS Server die OEE der Station berechnen. Dies geschieht jeweils als laufender Wert pro Schicht. Die Methode für die Berechnung soll an Hand eines konkreten Beispiels einer Station in einer Motormontage-Linie erfolgen.

Teile

Teile IO	117
Teile NIO	3
Nacharbeit IO	0
Nacharbeit NIO	0
Teile gesamt	$120 = \text{Teile IO} + \text{Teile NIO} + \text{Nacharbeit IO} + \text{Nacharbeit NIO}$
Teile NIO	$3 = \text{Teile NIO} + \text{Nacharbeit NIO}$
Qualitätsrate	$0.975 = (\text{Teile gesamt} - \text{Teile NIO}) / \text{Teile gesamt}$

Produktionszeiten in Minuten

Laufzeit	138 R
Automatik angewählt	0 W
Handbetrieb	0 M
Auslauf blockiert	0 B
Einlauf leer	87 S
Ungeplanter Stopp	5 U
Stillstandszeit	$92 = W + M + B + S + U$
Gesamtzeit	$230 = \text{Laufzeit} + \text{Stillstandszeit}$
Linienverfügbarkeit	$0.6 = (\text{Gesamtzeit} - \text{Stillstandszeit}) / \text{Gesamtzeit}$
Maschinenverfügbarkeit	$0.965 = \text{Laufzeit} / (\text{Laufzeit} + W + M + U)$

Taktzeiten in Minuten

Letzte Taktzeit	0.8
Minimale Taktzeit	0.8
Maximale Taktzeit	7.3
Durchschnittliche Taktzeit	1.1

Effizienz

Schichtbeginn	06:00
Aktuelle Uhrzeit	09:50
Gesamtzeit in Minuten	230
Effizienz	$0.957 = (\text{durchschn. Taktzeit} * \text{Teile gesamt}) / \text{Laufzeit}$

OEE Werte nach ISO

Linien-OEE	$0.560 = \text{Qualitätsrate} * \text{Linienverfügbarkeit} * \text{Effizienz}$
Maschinen-OEE	$0.9 = \text{Qualitätsrate} * \text{Maschinenverfügbarkeit} * \text{Effizienz}$

4. Kennzahlen für manuelle Operationen

Die Erfassung und Berechnung von Kennzahlen für manuelle Fertigungsstationen ist prinzipiell nach dem gleichen Schema möglich, wie die Erfassung von Kennzahlen für automatische Fertigungsstationen. Es sind dennoch einige spezielle Vorkehrungen zu treffen, die in diesem Abschnitt beschrieben werden sollen.

4.1. Datenerfassung an manuellen Arbeitsstationen mit individueller Taktung

Typische Beispiele für Arbeitsstationen mit individueller Taktung sind:

- Stationen in der Teilefertigung im Karosserierohbau, an denen der Werker Teile für die automatische Verschweißung einlegt oder manuelle Schweißarbeiten durchführt.
- Nacharbeitsstationen in der Motormontage
- Achsvormontagestationen in der Fahrzeugendmontage

Diese Stationen haben gemein, dass der Werker durch manuelle Eingabe (z.B. durch Drücken eines Freigabeknopfes) bestimmt, wann der Takt zu Ende ist und der Bauteil aus der Station gefördert werden kann.

Die Information über das Bearbeitungsergebnis kann entweder über verschiedene Freigabeknöpfe (z.B. Grün für Freigabe IO, Rot für Freigabe NIO) bezogen werden oder über manuelle Eingabe in den MMS Web Client in der Liste offener Punkte. Die Information, welcher Teil sich in der Station befindet, kann entweder automatisch durch einen an der Station vorhandenen RFID Leser oder durch manuelles Einscannen oder durch Eingabe der Teilekennung am MMS Web Client ermittelt werden.

Auf Basis dieser Informationen kann eine manuelle Arbeitsstation auf die gleiche Art und Weise behandelt werden, wie eine Automatikstation.

4.2. Datenerfassung an manuellen Arbeitsstationen in einer Verkettung

Manuelle Arbeitsstationen in einer Verkettung sind typisch für Arbeitsstationen im Band in einer Fahrzeugendmontage oder in Vormontagen. Die Taktzeit ist durch die Bandgeschwindigkeit vorgegeben, kann aber vom Werker durch folgende Eingaben beeinflusst werden:

- **Bandhalttaster** - Das Band kann an jeder Station durch Drücken des Bandhalttasters angehalten werden. Je nach Situation kann dies einen Soforthalt der Linie oder ein Halt bei Taktende auslösen. Für die Erfassung von Stillstandsgründen ist eine manuelle Eingabe am MMS Web Client in der Alarmliste erforderlich. Bandhalts haben Einfluss auf die Taktzeit, nicht notwendigerweise jedoch auf das Bearbeitungsergebnis in der Station.

- **Soforthalt** - Ein Soforthalt wird vom Werker meist indirekt ausgelöst, indem eine Sicherheitsabschaltung auslöst. Ein gutes Beispiel wäre, dass der Füllstutzen einer Befüllanlage nicht vom Fahrzeug abgeklemmt wird und das Band angehalten werden muss, damit kein Schlauchriss eintritt. Soforthalts können meist automatisch durch Stationsmeldungen, die entsprechende Fehlermeldungen von den Fertigungsanlagen oder Manipulatoren bzw. von der Fördertechnik enthalten, erfasst werden.
- **Not Aus Taster** - Das Band kann durch Drücken eines Not Aus Tasters oder durch Auslösen einer Sicherheitsvorrichtung (z.B. Lichtvorhang) sofort angehalten werden. Diese Zustände werden über entsprechende Fehlermeldungen, die von der Fördertechnik einlangen, erfasst werden. Zusätzlich ist eine manuelle Eingabe von Stillstandsursachen am MMS Web Client in der Alarmliste erforderlich.
- **Prozessabsicherung** - Diese Funktion wird im MMS Server implementiert und führt zu einem Halt bei Taktende, wenn nicht alle kritischen Bearbeitungen in der Linie bis zum Ende des Taktes entweder IO beendet oder NIO quittiert wurden.

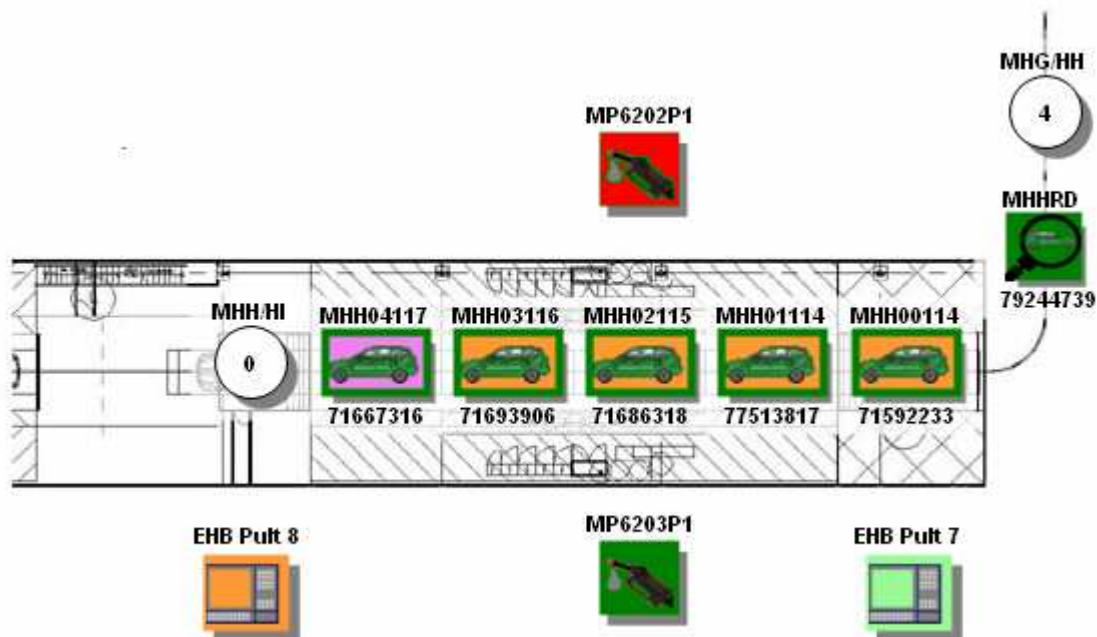
Die Erfassung des Bearbeitungsergebnisses ist nur durch manuelle Eingabe am MMS Web Client in der Liste offener Punkte möglich.

Für manuelle Bearbeitungsstationen in einer Verkettung sollten folgende Kennzahlen ermittelt und verfolgt werden:

- **Anzahl und Dauer von Bandhalts** - Die Anzahl und Dauer von Bandhalts je Linie und je Station gibt Auskunft über die Taktverluste, die sich aus Problemen in manuellen Arbeitsstationen ergeben. Zusätzlich können jene Stationen ermittelt werden, an denen die meisten Verluste auftreten.
- **Ursachen von Bandhalts** - Durch die manuelle Erfassung von Stillstandsursachen im MMS Web Client können Stillstände näher charakterisiert werden. Folgende Ursachen kommen meist in Frage:
 - Fehlerhafte Abtaktung
 - Fehlerhafte Teile, die zu Montageproblemen führen
 - Logistikprobleme - Falsche Teile am Band, falsche Reihenfolge von Sequenzteilen, fehlende Teile
 - Werkerprobleme - Schulungsbedarf, Personalmangel, schlechte Arbeitseinteilung
 - Werkzeugprobleme - Nicht der Tätigkeit angepasste Werkzeuge
 - Informationsprobleme - Es ist unklar, welche Aufgaben durchzuführen sind

5. Kennzahlen für Linien und Gewerke

Die meisten standardisierten Kennzahlen beziehen sich auf einzelne Fertigungsmaschinen und sind nicht ohne weitere Vorkehrungen auf Linien oder Gewerke zu übertragen. Dies soll an Hand einer Linie, an der sich zwei Befüllanlagen befinden, die redundant arbeiten können, erläutert werden:



Wenn eine der beiden Befüllanlagen ausfällt, so wird wahrscheinlich die Taktzeit in der Linie steigen, da nun eine Befüllanlage die gesamte Bearbeitung übernehmen muss. Dennoch bleibt die Linie verfügbar, da solch ein Fehlerzustand nicht zum Stillstand der Linie führt.

Ebenso kann der Ausfall eines E-Schraubers durch manuelles Schrauben und Abzeichnen der offenen Punkte im Web Client kompensiert werden. Bei Einsatz eines Springers muss dies nicht zwingend zu einem Taktverlust führen. Zusammenfassend kann also festgestellt werden:

Standardisierte Anlagenkennzahlen können meist auf einzelne Maschinen, nicht jedoch auf Linien oder Gewerke angewendet werden. Aus der Messung von Kennzahlen der einzelnen Fertigungsanlagen kann nicht automatisch auf Kennzahlen der Linie oder des Gewerkes geschlossen werden.

Auf Basis dieser Erkenntnisse wurden in MMS spezielle Messverfahren für Kennzahlen von Linien und Gewerken eingeführt. Diese sollen hier kurz beschrieben werden.

Für die Ermittlung der folgenden Kennzahlen wird die jeweils letzte Station einer Linie oder eines Gewerks herangezogen, da im Regelfall eher von Interesse ist, mit welchem zeitlichen Abstand Teile vom Band laufen. Die Formel bleibt hierbei unverändert:

- Taktzeit
- Produktionsdurchsatz - Als NIO Teile gelten Teile mit offenen Punkten
- Stückzahlabweichung
- Durchlaufzeit
- Termintreue
- Sequenzfolgerichtigkeit
- Qualitätsrate = FTOK Rate - Als NIO Teile gelten Teile mit offenen Punkten
- Effizienz

Folgende Kennzahlen werden im MMS Server nicht für Linien und Gewerke ermittelt, da sie auf diesen Ebenen keine sinnvollen Aussagen liefern:

- TEEP Rate
- Verlässlichkeit
- Wartbarkeit

Folgende Kennzahlen bedürfen besonderer Vorkehrungen im Vergleich zu stationsbezogenen Kennzahlen:

5.1. Technische Verfügbarkeit

Die technische Verfügbarkeit einer Anlage wird nach folgender Formel ermittelt:

$$V_{\text{technisch}} = \frac{T_{\text{Automatikgestartet}}}{T_{\text{gesamt}} - T_{\text{Pause}}}$$

Die technische Verfügbarkeit einer Linie bezieht nur die Fördertechnik und Fertigungsanlagen, deren Stillstand sofort zu einem Halt des Bandes führt, in die Betrachtung mit ein. Stillstände an Fertigungsanlagen, die redundant vorhanden sind, oder für deren Ausfall Notfallstrategien existieren, die es ermöglichen, den Betrieb fortzuführen, werden in die Betrachtung nicht mit einbezogen. Die technische Verfügbarkeit liefert also nur Aussagen über Teile der Anlage.

5.2. Gesamtverfügbarkeit

Die Gesamtverfügbarkeit einer Linie oder eines Gewerks wird in MMS näherungsweise mittels der folgenden Formel ermittelt:

$$V_{\text{Gesamt für Linie}} = \min \left(\frac{\sum \text{Teile}_{\text{Gesamt}}}{\sum \text{Teile}_{\text{Geplant}}}, 1 \right)$$

Diese Formel stellt natürlich nur eine grobe Näherung dar, die jedoch im Regelfall brauchbare Werte ergibt.