

Methoden - Managementwerkzeuge

## **Maschinenfähigkeit im Technologiemanagement**

### **Eine Brücke zwischen Qualitätssicherung und Management**

**Kommt es bei Messungen der Maschinenfähigkeit zu Abweichungen, hinterfragt man in der Regel zuerst die Messmethode und Durchführung der Messung. Dabei kann es sinnvoll sein, die Technologie der Maschine an sich zu hinterfragen - und damit schlussendlich das Technologiemanagement eines Unternehmens.**

Auch wenn Unternehmen die Bedeutung der Maschinenfähigkeit im Bezug auf Kundenanforderungen erkennen, tun sich viele damit schwer, daraus eine Notwendigkeit für die Praxis abzuleiten. Dementsprechend kritisiert werden die Stichprobenerhebung und die damit verbundenen Anstrengungen, um Vorgaben hinsichtlich des Umfangs und der Messung einzuhalten.

### **Was ist Maschinenfähigkeit?**

Vor Beginn der Serienfertigung und bei Qualitätsabweichungen während der Produktion wird die Maschinenfähigkeit untersucht. Die Maschinenfähigkeit ergibt sich aus dem Verhältnis der Toleranz zur Produktionsstreuung einer Produktionseinrichtung. Die Ermittlung und der Nachweis erfolgen in der Regel mit mathematisch-statistischen Methoden. Berücksichtigt wird dabei nur die Kurzzeitstreuung unter Ausschluss der Faktoren, die zwar den Prozess beeinflussen, jedoch unabhängig von der Maschine sind.

Eine Maschinenfähigkeitsuntersuchung (MFU) lässt sich dann durchführen, wenn eine Maschine zur Serienproduktion verwendet wird. Sonst wird eine Maschineneignungsprüfung durchgeführt.

### **Nutzen der MFU**

Mit Hilfe der MFU werden die zufälligen und systematischen Einflüsse auf die Qualität sichtbar gemacht. Durch regelmäßige MFU, idealerweise mit anschließender Prozessfähigkeitsuntersuchung, wird ein Prozess-Know-how aufgebaut, mit dessen Hilfe Veränderungen erkannt werden. Ziel ist es unter anderem, systematische Einflüsse so früh wie möglich festzustellen und entsprechen zu korrigieren.

Die Kurzzeit- oder Maschinenfähigkeitsuntersuchung sollte direkt beim Hersteller der Fertigungseinrichtung durchgeführt werden und liefert, genau wie die vorläufige Prozessfähigkeitsuntersuchung, eine erste Aussage darüber, ob Fertigungseinrichtungen geeignet sind.

### **Voraussetzungen für die Berechnung der Maschinenfähigkeit**

Zur Berechnung der Maschinenfähigkeit wird aus einer unter normalen Bedingungen laufenden Maschine oder Anlage eine einzige festgelegte Stichprobengröße entnommen und anhand statistischer Verfahren untersucht. Dabei sollten äußere Einflüsse möglichst unberücksichtigt bleiben.

Folgende Faktoren müssen für die Maschinenfähigkeitsuntersuchung konstant sein:

- Mensch: Ein- und dieselbe Person muss die Maschine während der Untersuchung bedienen.
- Material: Es muss das gleiche Material verwendet werden (beispielsweise das Material eines Herstellers aus einer Lieferung).
- Messmethode: Während der Untersuchungsdauer wird mit demselben Messgerät gemessen.

- Maschinentemperatur: Die Temperatur der Maschine soll nicht schwanken. Das bedeutet, dass alle Systeme auf Betriebstemperatur laufen müssen.
- (Fertigungs)methode: Es wird immer die gleiche Fertigungsmethode oder das gleiche Fertigungsverfahren angewendet werden.

### Berechnung der Maschinenfähigkeit

Der Stichprobenumfang beläuft sich in der Regel auf  $n = 50$  Teile, die in direkter Folge gefertigt werden. Zur Auswertung werden die Teile in zehn Stichproben zu je fünf Teilen zerlegt. Aufgrund der kleinen Stichprobengröße sind die Ergebnisse dementsprechend ungenau.

Die Maschinenfähigkeit wird mit dem Kürzel  $cm$  ( $\frac{\text{Toleranzbreite}}{\text{Prozessbreite}}$ ) bzw.  $cmk$  (Koeffizient) bezeichnet.

Die spezifizierte Toleranzbreite wird dabei in Bezug zur Kurzzeitstreuung der Stichprobe gebracht. Höhere Werte sind möglich, weil Streufaktoren während der Stichprobenherstellung möglichst konstant gehalten werden.



Berechnung der Maschinenfähigkeit

### Wie muss die Technologie überwacht werden?

Die MFU gibt Aufschluss darüber, wie die Technologie überwacht werden muss: durch kleine Stichproben in großen Intervallen, in kurzen Intervallen oder sogar durch eine 100-prozentige Kontrolle der Produkte. Dabei gilt:

- $Cm, Cmk > 1,67$  (1,33) Stichprobe in großen Intervallen
- $Cm, Cmk > 1,33$  (1,00) Stichprobe in kleinen Intervallen
- $Cm, Cmk < 1,00$  100 % Kontrolle

Ab einem  $Cm, Cmk$  Wert von  $< 0,7$  (ungefähr 5% Ausschuss) ist es nicht mehr sinnvoll, die Technologie einzusetzen - sie produziert einfach zuviel Ausschuss.

| Kennwert | Bezug                                  | Formel                           |
|----------|--|----------------------------------|
| $Cm$     | Toleranz                               | $Cm = \frac{OGW - UGW}{6s}$      |
| $Cmo$    | Oberer Grenzwert                       | $Cmo = \frac{OGW - \bar{x}}{3s}$ |
| $Cmu$    | Unterer Grenzwert                      | $Cmu = \frac{\bar{x} - UGW}{3s}$ |
| $Cmk$    | Der kleinere Wert von $Cmo$ bzw. $Cmu$ | $Cmk = \min \{ Cmo, Cmu \}$      |

Relevante Formeln für die Maschinenfähigkeit

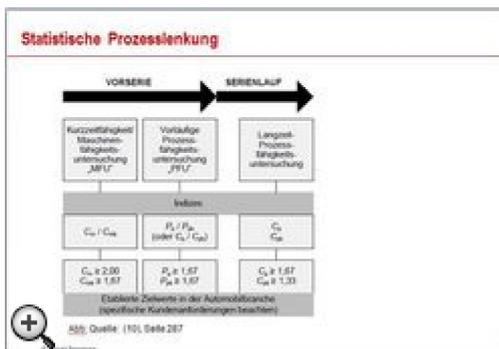
### Voraussetzungen für Maschinen- und Prozessfähigkeit

Eine Maschine wird als fähig bezeichnet, wenn ihr  $cmk \geq 1,33$  ist. In der Automobilindustrie gilt jedoch seitens des VDA sowie seitens der Kunden ein  $cmk$  von  $\geq 1,67$ .

Ein Prozess gilt dann als beherrscht, wenn

- er durch systematische Einflüsse nicht mehr beeinträchtigt wird,
- die Messwerte der produzierten Teile nur durch den Zufallseinfluss streuen,

- die Verteilung der Messwerte über die Zeit stabil ist,
- das Ergebnis zukünftiger Messreihen vorhersehbar ist.



Zusammenhang zwischen Kurz- und  
Langzeitfähigkeitsuntersuchungen

### Bedeutung der Maschinenfähigkeit

Grundsätzlich wird eine hohe Maschinenfähigkeit angestrebt, um die Fehlerwahrscheinlichkeit bei der Herstellung eines Produktes zu verringern. Im Automobilbereich wird die Maschinen- und Prozessfähigkeit beispielsweise im Rahmen der Qualitätssicherung vertraglich vereinbart sowie in Methoden wie APQP gefordert und überprüft.

Im Sinne der Risikominimierung müssen außerdem Manipulationen, ob bewusst oder unbewusst, verhindert werden. Dies geschieht durch den Einsatz geeigneter Software sowie das Zusammenführen der Ergebnisse aus Prüfprogramm und Dokumentation.

### Was ist Technologiemanagement?

Das Technologiemanagement dient als Bindeglied zwischen den Ingenieur- bzw. Naturwissenschaften sowie den Managementaktivitäten eines Unternehmens. Es umfasst die Planung, Durchführung und Kontrolle der Entwicklung und Anwendung von Technologien. Das kann sowohl das Management der Technologien zum Aufrechterhalten der Produktion beinhalten als auch das Management der Technologien im Unternehmen.

Oft deckt das Technologiemanagement nur die Bereiche Angewandte Forschung und Vorentwicklung ab. Im Idealfall sollte es aber auch den Umgang mit bekanntem technischem Wissen umfassen. So können die Kunden- und Marktanforderungen sowie die eigene Unternehmensstrategie zusammenfließen und in Technologieentscheidungen münden.

### Bedeutung des Technologiemanagements

Deutschland ist darauf angewiesen, durch innovative Technologien ganz vorne zu bleiben. Bedingt durch kürzere Entwicklungszyklen müssen die Unternehmen sich selbst überholen, das bedeutet: mit der nächsten Entwicklung beginnen, bevor die aktuelle abgeschlossen ist. Vor diesem Hintergrund leistet das Technologiemanagement einen wichtigen Beitrag zur Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens.

### Arten von Technologien

In der Praxis trennen noch nicht alle Branchen zwischen strategischem und operativem Technologiemanagement. Bei Unternehmen, die durch Kundenbedarf angetrieben entwickeln, beispielsweise Automobilzulieferer, ist das Technologiemanagement oft dem stark ausgeprägten Bereich „Entwicklung“ nachgeordnet.

Die Aufgabe des Technologiemanagements besteht unter anderem darin, ein Gleichgewicht zwischen den vier Technologieklassen zu schaffen:

- Basistechnologie
- Schrittmachertechnologie
- Schlüsseltechnologie
- Zukunftstechnologie



Vier Technologieklassen

Denn: Eine Basistechnologie war einmal eine Schlüsseltechnologie, und was heute als Schlüsseltechnologie gilt, wird morgen Basistechnologie.

### Ziele des Technologiemanagements

Ziel des Technologiemanagements ist es, die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen langfristig zu sichern, und zwar durch den Aufbau und die Weiterentwicklung von Erfolgspotenzialen auf Technologiebasis.

Dazu ist es wichtig, den Lebenszyklus von Technologien zu beachten. Auf der Zeitachse sollten sich der Reifegrad von bestehender Technologie sowie der von weiterentwickelter oder neuer Technologie überlappen. Entscheidend dafür ist es, den Technologiereifegrad und den Marktsättigungsgrad der jeweiligen Technologie zu kennen.

### Erfolgsfaktor: vorausschauende Instandhaltung

Bei allen Maßnahmen, die die einzelnen Technologien wie beispielsweise eine Maschine betreffen, sollte regelmäßig überprüft werden, ob vorgegebene Parameter auch tatsächlich erreicht werden. Findet die Herstellung von Produkten auf gekauften Maschinen statt, sind diese Überprüfungen auch wichtige Indikatoren für die Instandhaltung im Sinne der vorbeugenden und vorausschauenden Instandhaltung (Predictive Maintenance).

Je nach Branche verlangt der Kunde regelmäßige Überprüfungen, beispielsweise der Maschinen- oder Prozessfähigkeit. Maschinenhersteller bekommen zwar eine Abnahme seitens der Kunden. Eine weitergehende Kommunikation über den Zustand der Maschine findet jedoch meist nur statt, wenn es Probleme gibt. Auf dieser Basis können kaum Annahmen über den Zustand der Technologie getroffen werden. Dabei dienen solche Informationen der kontinuierlichen Verbesserung.

### Vom Einkäufer zum Technologiemanager

Bei der Beschaffung von Maschinen kommen auch auf den Einkauf neue Aufgaben zu. Der Einkauf darf sich nicht auf den Vergleich unterschiedlicher Technologien beschränken, er hat vielmehr selbst - ebenbürtig zu den Fachabteilungen - für eine schnelle und zielgerichtete Technologieintegration in das eigene Unternehmen zu sorgen.

Somit ist der Einkauf aufgefordert, Märkte, Technologietrends und zulieferteilebezogene Wettbewerbskonstellationen zu verfolgen und für das eigene Unternehmen zu Nutzen zu machen.

### Maschinenfähigkeit und Technologiemanagement

Unternehmen können hinsichtlich der Technologieorientierung und im Hinblick auf die Maschinenfähigkeit in drei Kategorien unterschieden werden:

- Hersteller von Maschinen und Produktionsanlagen,
- Prozessdesigner,
- Produktionsunternehmen.

## **Bedeutung der MFU für Hersteller von Maschinen und Produktionsanlagen**

- strategisches Vermarktungsmerkmal (geringe Streuung und hohe Wiederholgenauigkeit) als Erfolgsfaktor (technologische Attraktivität)
- strategische Portfolio-Ausrichtung (schneller, genauer, stabiler, zuverlässiger, hohe CmK)
- Auslegung der Produktstrategie und Portfoliomanagement
- Innovationsansätze, um CmK zu verbessern
- Grundlagen für die Investitionsentscheidung der Kunden
- Vorgaben als Spezifikation beim Kauf von Maschinen und Produktionsanlagen
- Kriterien für die Abnahme von verkauften Maschinen und Produktionsanlagen durch den Kunden

## **Bedeutung der MFU für Prozessdesigner**

- Einsatz von Maschinen und Produktionsanlagen mit geringer Streuung und hoher Wiederholgenauigkeit, um die Fehlerwahrscheinlichkeit zu reduzieren und um den Prüfaufwand der Produkte zu reduzieren,
- Reduzierung von Verschwendungen durch Ausschuss und Nacharbeit,
- Prozessstabilität,
- Vorgaben von Kunden bei der Freigabe von stabilen Fertigungsprozessen (CpK) nach APQP.

## **Bedeutung der CmK für Produktionsunternehmen**

Oft geben Kunden klare Vorgaben bei der Freigabe von stabilen Fertigungsprozessen (CpK). Da ist CmK ein wichtiges und einfach kontrollierbares Merkmal. Dieses wird bei Bestellung von neuen Maschinen und Produktionsanlagen als Eigenschaft spezifiziert und dient als Kriterium für die Maschinenabnahme nach der Inbetriebnahme.

Bei hoher Prozess- und Maschinenfähigkeit sinkt die Fehlerwahrscheinlichkeit stark. Sortier- und Nacharbeiten werden vermieden. Auch reduzieren stabile und reproduzierbare Fertigungsprozesse den Aufwand für die Prüfung der Produkte. Streuen die Maschinenparameter nur wenig, kann dort der Überwachungsaufwand auch reduziert werden.

## **Fallbeispiele für Maschinenfähigkeit und Technologiemanagement**

### **Fallbeispiel 1: Maschinenfähigkeitsuntersuchung und Predictive Analytics**

Neben der Maschinenfähigkeitsuntersuchung setzt ein international agierender Automobilzulieferer mit Sitz in Deutschland Predictive Analytics ein, um die Prozesse in der Fertigung zu verbessern. Dabei werden Prozessparameter der gesamten Produktionslinie aufgenommen und einem Bauteil zugeordnet. Die anfängliche Bewertung, ob der Artikel in Ordnung oder nicht in Ordnung ist, lässt Rückschlüsse auf die aufgezeichneten Parameter zu. Daraus wird ein Bewertungsmodell entwickelt, das man in der darauffolgenden Serienproduktion für die Vorhersage der Qualität der Artikel heranzieht.

Die Maschinenfähigkeitsuntersuchung wird in regelmäßigen Abständen vollzogen. Sie stellt sicher, dass sich die jeweiligen Betriebsmittel für einen gewissen Zeitraum statistisch innerhalb der zulässigen Produktionstoleranzen befinden. Etwaige Über- oder Unterschreitungen der Toleranz, die Produktionsfehler verursachen können, werden, wenn überhaupt, frühestens in der abschließenden Qualitätskontrolle festgestellt.

### **Wann ist der Einsatz von Predictive Analytics sinnvoll?**

Um den Zeitraum zwischen zwei Maschinenfähigkeitsuntersuchen zu überbrücken, kann Predictive-Analytics-Software zur Vorhersage eingesetzt werden. Vor dem Einsatz solch einer Software muss eine kritische Masse von über 800 Bauteilen produziert werden. Während der Produktion werden dabei alle Produktionsparameter aufgezeichnet und jedem Bauteil zugeordnet.

### **Fehler in Echtzeit eliminieren**

Werden anschließend Bauteile in der Serienproduktion gefertigt, so werden zu jedem Bauteil die Parameter aufgezeichnet und sofort ausgewertet. Dadurch kann ein fehlerhaftes Bauteil frühzeitig aus der Produktionslinie ausgeschlossen werden, noch bevor es unnötige Produktionskapazität reserviert. Es ist sogar

denkbar, dass eine gut ausgelegte Predictive-Analytics-Software einen abschließenden End-of-line Test überflüssig macht.

Als Beispiel für einen möglichen zukünftigen Einsatz von Predictive Analytics wäre die Qualitätssicherung eines Lichtleiters, welcher der Ambientebeleuchtung zugeordnet werden kann. Aufgrund der sehr hohen Qualitätsanforderungen bezüglich homogener Abstrahlung muss das produzierte Bauteil absolut fehlerfrei sein. Derzeit wird eine 100%-Prüfung durchgeführt. Durch eine produktionsbegleitende Qualitätsüberwachung mittels Predictive Analytics kann auf eine stichprobenartige Prüfung gegangen werden, wodurch sich das Investment an Prüfequipment verringert.

### **Fallbeispiel 2: MFU als Entscheidungsgrundlage**

Die über 100 Jahre alte Aluminium-Gießerei Heuschkel Druckguss ist unter anderem als Automobilzulieferer tätig und aufgrund der vertraglichen Vereinbarungen mit den Kunden verpflichtet, Maschinenfähigkeiten zu untersuchen. Dies geschieht zu Serienanlauf, nach relevanten Reparaturen sowie anderen Veränderungen, z.B. Wechsel des Rohmaterials.

Da Heuschkel den eigenen Maschinenpark ständig Stück für Stück erneuert, liefern die Auswertungen einen Input für mögliche Investitionsentscheidungen. Allerdings reichen dazu Maschinenfähigkeiten als alleiniger Parameter nicht aus. Die Prozessfähigkeit wird genauso betrachtet.

### **Vorsicht bei unterschiedlichen Kundenvorgaben**

Außerdem darf nicht außer Acht gelassen werden, dass die Fähigkeitsuntersuchungen auf Basis der Vorgaben für das jeweilige zu gießende Produkt vom Kunden vorgegeben sind. Werden auf den gleichen Anlagen verschiedene Produkte gegossen, können die Aussagen durch die unterschiedlichen Vorgaben durchaus abweichend sein.

Hier können die Ergebnisse nur ein Indikator für Investitionsentscheidungen sein. Grundsätzliche Entscheidungen für den Einsatz neuer Technologien, z.B. 3-D werden unabhängig von den Auswertungen getroffen. Eine zwingende Notwendigkeit von Maschinenfähigkeit für das Technologiemanagement wird im Unternehmen nicht gesehen.

### **Maschinenfähigkeit und Technologiemanagement im Industrie 4.0-Zeitalter**

Industrie 4.0 bringt auch neue Herausforderungen für die Qualitätssicherung und ihre Methoden. Die Fehlervermeidung muss weiterhin im Vordergrund stehen. Integrierte und intelligente Prüfungen im Prozess (Inline-Prüfungen) sollen für Rückverfolgbarkeit und Risikominimierung sorgen, beispielsweise im Bezug auf das Thema Haftung.

### **MFU im Wandel**

Insbesondere die Fertigung in in kleinen Losgrößen und die damit verbundene Variantenvielfalt verlangen nach neuen Maßnahmen der Qualitätssicherung. Statistische Methoden wie die Maschinenfähigkeitsuntersuchung müssen überdacht und überarbeitet werden. Hilfreich könnte dabei die Arbeit mit Simulationen und virtuellen Modellansätzen wie digitalen Zwillingen sein. Erfasste und bewertete Echtzeitdaten können Produktionen realitätsgetreu abbilden.

Dabei wird nicht mit Stichproben gearbeitet, sondern eine kontinuierliche Messung durchgeführt. So lassen sich auch Potenziale zur Fehlervermeidung und Produktivitätssteigerung zeitnah aufzeigen. Voraussetzung dafür ist eine genaue Datenerfassung. Abweichungen, die in Messsystemen erkannt werden, sollten schnellstmöglich an die Maschine weitergeleitet und dort verarbeitet werden.

### **Neue Herausforderungen für MFU**

Dazu können Produkte, die in kleinen Losgrößen produziert werden, einen eigenen "Fingerabdruck" bekommen. Maschinentoleranzen lassen sich dann individuell für jedes Produkt einstellen und erkannte Abweichungen führen Maßnahmen.

Entscheidend dabei ist, dass verschiedene Parameter erfasst werden. Die Regelung der Maschinen- und Prozessparameter reicht aber nicht (mehr) aus, um eine fehlerfreie, anforderungsgerechte Produktion sicherzustellen. Sie stellt aber einen bedeutenden Bestandteil des Maßnahmenfindungsprozesses dar.

### **Rolle der Qualitätssicherung in der Industrie 4.0**

Qualitätssicherung bleibt ein wesentlicher Erfolgsfaktor für die Unternehmen von morgen. Sie muss jedoch deutlich früher und stärker in Technologieentscheidungen integriert werden, statt als lästige Forderung des Kunden angesehen zu werden. Die Notwendigkeit einzelner, noch neu zu definierender Qualitätssicherungsmethoden wie der Maschinenfähigkeit, wird einzeln betrachtet noch weniger Bedeutung für das Technologiemanagement haben. Unter den oben beschriebenen Prämissen bleibt die Maschinenfähigkeit nichtsdestotrotz ein wichtiger Aspekt.

Gabriela Zimmermann, IPU

---

#### **UNTERNEHMENSINFORMATION**

---

### **Ipu fit for success Zimmermann und Partner**

Lise-Meitner-Str. 1  
DE 85716 Unterschleißheim