

## White Paper

# Der Bessere überlebt - Prozessüberwachung in der spanenden Bearbeitung

In schwierigen Zeiten konzentrieren sich Hersteller auf die Reduktion ihrer Betriebskosten, können sich aber vielleicht nicht den Ausweg über den Erwerb produktiverer Maschinen leisten. Wie können Kosten radikal reduziert werden, ohne bestehende Maschinen zu ersetzen? In diesem Beitrag werden vier Bereiche analysiert, in denen sich erhebliche Einsparungen erzielen lassen, wenn Unternehmen bereit sind, die Steuerung ihrer Bearbeitungsprozesse zu ändern.

### Wo bestehen Möglichkeiten zur Kostenreduzierung?

Wollen wir ...

- den Personalbedarf reduzieren
- die unproduktiven Zeiten, wie z. B. Einricht- und Wartezeiten, verkürzen,
- Ausschuss, Nacharbeit und Sonderfreigaben reduzieren und
- die Prüfkosten senken,

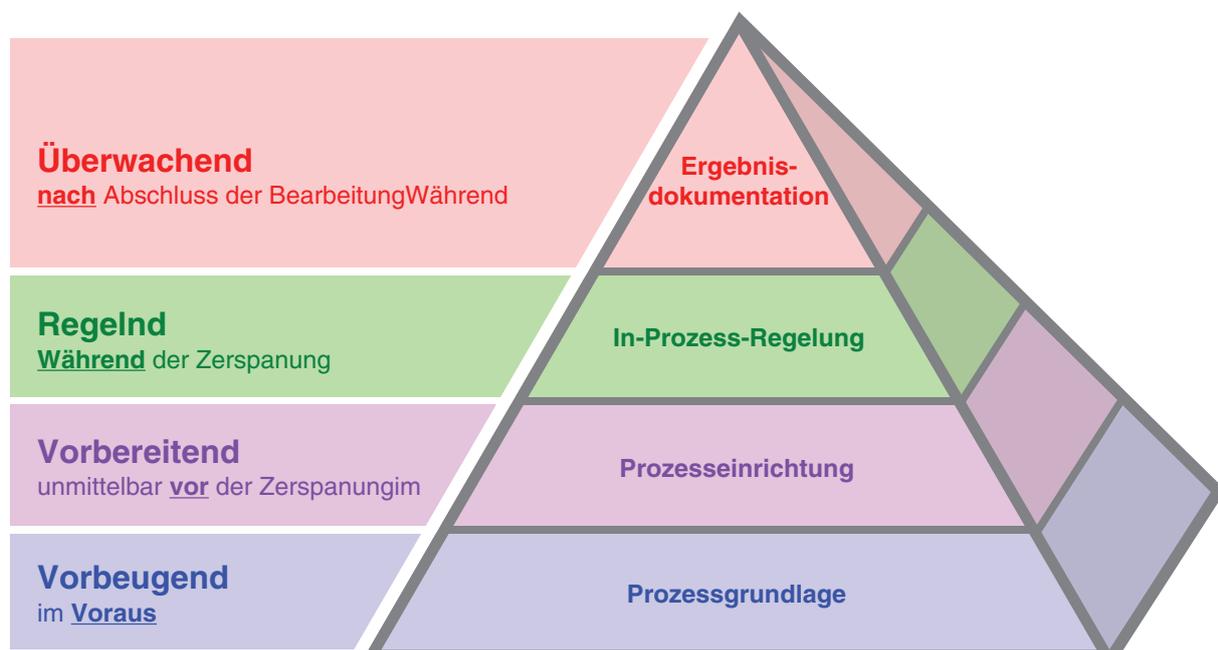
... dann müssen wir uns auf die Eliminierung der manuellen Prozesse konzentrieren und uns um die Ursachen von Verfahrensfehlern kümmern.

Diese beiden Ziele gehen Hand in Hand, da ein Großteil der Abweichungen in vielen Prozessen durch menschliche Eingriffe entsteht. Die Beseitigung der manuellen Verfahren genügt jedoch nicht – wir müssen außerdem auf die Betriebsumgebung, die Maschine selbst, die Einrichtung vor der Bearbeitung und die In-Prozess-Kontrolle während der Bearbeitung achten. Dieser Fachbeitrag erläutert ein einfaches Modell, das die Ursachen von Prozessabweichungen sowie entsprechende Methoden zur Prozessüberwachung erläutert.

### Eine schlanke Produktion ist nicht alles

Schlanke Produktionsverfahren helfen Fertigungsbetrieben bei der Optimierung ihrer Arbeitsabläufe durch weniger Abfall, reduzierte Lieferzeiten und weniger unfertige Erzeugnisse. Dies sind wertvolle Einsparungen, die aber nur dann gut funktionieren, wenn der Bearbeitungsvorgang vorhersagbar und wiederholgenau ist und zuverlässig spezifikationstreue Teile liefert. So lange das nicht gewährleistet ist, können Engpässe, Verspätungen und schlechte Lieferungen nicht vermieden werden.

Um eine berechenbare Produktivität zu erreichen, muss also der Ursprung der Abweichungen gefunden, die Ursache isoliert und individuell bekämpft werden. Wenn jede zugrunde liegende Abweichungsursache direkt bekämpft wird, wird die Steuerung des Prozessergebnisses einfacher.



Die Produktionsprozess-Pyramide zeigt, wie verschiedene Stufen der Prozesskontrolle zur systematischen Eliminierung von Abweichungen im Bearbeitungsprozess eingesetzt werden können.

## Die Produktionsprozess-Pyramide (Productive Process Pyramid™)

Die Pyramide (siehe vorige Seite) besteht aus vier Prozessüberwachungsstufen, die aufeinander aufbauen und die alle zum Tragen kommen müssen, um regelmäßig spezifikationsstreu Werkstücke zu liefern. Von unten angefangen:

- Bei der ersten Stufe, der **Prozessgrundlage**, geht es um die Bereitstellung stabiler Bedingungen, unter denen die Maschine arbeiten kann. Hierbei handelt es sich um vorbeugende Maßnahmen, die die Anzahl der Abweichungsursachen vor Bearbeitungsbeginn reduzieren.
- Als Nächstes folgt die **Prozesseinrichtung**, bei der es um voraussagbare Abweichungsursachen, wie zum Beispiel die Lage der Komponenten, Größe der Werkzeuge und Offsets der Werkzeugmaschine geht. Diese Quellen könnten sonst Abweichungen am ersten Werkstück verursachen.
- Als dritte Stufe folgt dann die **In-Prozess-Regelung**. Diese befasst sich mit den bearbeitungsbedingten Abweichungsquellen – Werkzeugverschleiß und Temperaturschwankungen – und bietet während der spannenden Bearbeitung intelligentes Feedback.
- Zum Schluss folgt die **Ergebnisüberwachung**, bei der zuerst der Prozess und schließlich das Werkstück gegen die entsprechenden Spezifikationen überprüft werden. Dies kann zum Teil auf der Maschine stattfinden. Die meisten Aufgaben werden jedoch offline durchgeführt.

Wenn eine hohe Prozessfähigkeit und eine kalkulierbare Produktivität das Ziel sind, dann sollte man die Stufen der Pyramide von unten nach oben abarbeiten. Die Aufgaben am unteren Ende der Pyramide sind allgemeiner gehalten und finden deshalb leichter eine breite Anwendung. Je höher man gelangt, umso prozessspezifischer werden die Maßnahmen und desto enger deren Anwendungsbereich. Es ist deshalb sinnvoll, diese spezifischeren Kontrollen erst dann anzuwenden, wenn die zugrunde liegenden Abweichungen behandelt wurden; sonst wird der Nutzen dieser Investition verwässert.



© Renishaw 2011

Lassen Sie uns jede Stufe einzeln etwas genauer anschauen:

### Prozessgrundlage

Die Kontrollmechanismen der untersten Pyramidenstufe zielen auf die Maximierung der Umgebungsstabilität ab, in der der Prozess stattfindet. Diese vorbeugenden Kontrollen verhindern, dass bestimmte Abweichungsursachen einen Einfluss auf den Bearbeitungsvorgang haben.

Kontrollmechanismen der Prozessgrundlagen-Stufe sind unter anderem:

- **Design For Manufacture (DFM)** – ein Ansatz im Bereich Produkt- und Prozessdesign, der auf einem umfassenden Verständnis der derzeitigen Fähigkeiten sowie dem Streben nach Best-Practice-Methoden basiert. Die DFM-Methode ist oftmals auf einem Ansatz mit „Standardbearbeitungsmerkmalen“ aufgebaut und beinhaltet die Rationalisierung der Werkzeuge sowie die Standardisierung der Bearbeitungsparameter. Ihr Erfolg zeigt sich in der Reduzierung der Prozessschwankungen und ermöglicht Technikern die Durchführung wichtiger Verbesserungen, wenn neue Best-Practice-Ansätze erkannt werden.
- Die Überwachung von **Prozesseingaben** umfasst den Einsatz von FMEA und ähnlichen Verfahren, um alle vorgelagerten Faktoren, die auf das Bearbeitungsergebnis Einfluss haben könnten, verstehen und steuern zu können. Hierzu gehört zum Beispiel die Sicherstellung einer konsistenten Werkzeuggeometrie, die Überwachung der Spannkraften, Teileprogramme zur Werkstückverriegelung sowie die Vorbereitung der Rohlinge. Sind die Bedingungen am Anfang des Prozesses konsistent, dann ist es wahrscheinlich, dass sie es am Ende auch sind.
- Die **Stabilität der Umgebungsbedingungen** befasst sich mit den externen Abweichungsquellen, die nicht im Vorfeld ausgeschaltet werden können, jedoch spezifisch zur Betriebsumgebung sind. Hierzu gehören die Schwankungen der Umgebungstemperatur, die Hitze, die während der Bearbeitung generiert wird, die Sauberkeit von Maschine und Vorrichtungen, Werkzeugstandzeit-Verwaltung und unerwartete Ereignisse wie Werkzeugbruch oder Stromausfälle. Die Lösung vieler dieser Abweichungsprobleme liegt in der Arbeitsdisziplin.
- Die **Optimierung des Maschinenzustands** ist ein wichtiger Bestandteil der Prozessgrundlage, da mit einer ungenauen Maschine dauerhaft keine genauen Werkstücke hergestellt werden können. Eine rigorose Leistungsbewertung und Kalibrierung sowie ggf. eine Modernisierung kann die Leistung der Maschine den Prozessanforderungen anpassen. Im Anschluss kann die dauerhafte Eignung der Maschine für die Produktion vom Bediener mittels regelmäßiger Kontrollen überwacht bzw. notwendige Instandhaltungsmaßnahmen identifiziert werden.

*Kalibrieren einer Maschine mit einem Laserinterferometer*

Die Kostenvorteile der Prozessgrundlagen-Stufe sind:

- **Erhöhte Maschinenverfügbarkeit** – ungeplante Maschinenstillstandszeiten durch regelmäßige Überwachung der Maschinenfähigkeit verhindern, bevor Prozessstörungen auftreten.
- **Erhöhte Prozessfähigkeit** – konsistentere Werkstücke mit weniger Abweichungen dank verbesserter Maschinengenauigkeit und Wiederholgenauigkeit in Kombination mit weniger Schwankungen durch Umgebungs- und Prozesseinflüsse.
- **Garantierte Qualität** – Ausschuss, Nacharbeit und Sonderfreigaben werden typischerweise um 25 % reduziert.
- **Konzentration auf proaktive Maßnahmen** – Techniker können sich auf das Wesentliche konzentrieren und dauerhafte Verbesserungen erwirken.
- **Basis für eine Automatisierung** – da Ihre Maschinen nun die optimale Leistung abgeben, können Sie beruhigt Maßnahmen zur Automatisierung Ihrer Prozesse ergreifen.

### Prozesseinrichtung

Die zweite Stufe der Pyramide enthält die ersten Schritte in Richtung eines unbemannten Prozesses und kümmert sich um die Vorbereitungen für die Bearbeitung. Diese vorausschauenden Kontrollmechanismen bekämpfen die Fehlerursachen bei der Einrichtung der Maschine, des Werkstücks, Werkzeugs und des Tasters, die immer zu einem gewissen Grad vorhanden sind und die behandelt werden müssen, wenn schon das erste Werkstück ein Gutteil werden soll. Aufbauend auf die Stabilität, die durch die Prozessgrundlagen-Stufe eingeführt wurde, hilft die Kontrolle der Prozesseinrichtung dabei, menschliche Fehler durch die Automatisierung von manuellen Prozessen zu eliminieren.

Kontrollmechanismen der Prozesseinrichtungs-Stufe sind unter anderem:

- Die **Maschinenjustage** wird oft übersehen und beinhaltet die Ermittlung der Beziehung zwischen den beweglichen Hauptbestandteilen der Maschine (z. B. Frässpindel zum Maschinenbett oder Drehpunkt der Frässpindel auf einem Dreh-/Fräszentrum). Diese Beziehungen werden durch die thermische Drift beeinflusst und manche systembedingten Abweichungen bestehen selbst in der stabilsten Umgebung. Nicht-korrigierte Maschinenfehler können bei Prozessabweichungen als dominanter Faktor in



© Renishaw 2011

Erscheinung treten und zu längeren Einrichtzeiten führen, da ihre Auswirkung leicht mit anderen Fehlerursachen verwechselt werden kann. Die gute Nachricht dabei ist jedoch, dass diese Fehler durch einfache Kontrollmessungen auf der Maschine erfasst und eliminiert werden können.

- Bei der **Messtasterkalibrierung** wird der Messtaster eingemessen, damit er für genaue Messungen auf der Maschine eingesetzt werden kann. Bei Werkstückmess-tastern wird, unter Verwendung einer Kalibrierkugel oder eines Lehrings, die Größe und Position des Tastereinsatzes gemessen. Bei Werkzeugmesstastern wird ein Kalibrierdorn verwendet, um die Position des Tastereinsatzes oder Laserstrahls zu ermitteln. Die Messtasterkalibrierung ist ein regelmäßiger Vorgang (normalerweise wöchentlich), um sicherzustellen, dass die Messungen auf der Maschine zuverlässig bleiben.
- Bei der **Werkstückeinrichtung** wird die Lage und Orientierung des Teils ermittelt, damit die Bearbeitung entsprechend dazu ausgerichtet werden kann. Ein Messtaster kann zur Ermittlung der Bezugspunktpositionen und -winkel verwendet werden; die Arbeitskoordinaten werden dann automatisch aktualisiert. In komplexeren Situationen kann ein Messtaster die lokalen Oberflächenformen messen, damit das CAM-Paket die Werkzeugbahnen zur Angleichung der Oberflächen errechnen kann. Durch die Werkstückeinstellung werden Vorrichtungskosten reduziert, Bedieneringriffe überflüssig sowie die Möglichkeit eines falschen Bearbeitungsbeginns eliminiert.
- Das letzte Element ist die **Werkzeugeinrichtung**, bei der Länge und Durchmesser der Werkzeuge ermittelt und in der CNC-Steuerung gespeichert werden. Das bedeutet, dass die Werkzeuge am Werkstück ohne die Durchführung manueller „Probearbeitungs- und Messmaßnahmen“ nahe am Nennmaß arbeiten können, wodurch Bedienfehler bei der Eingabe von Höhenkorrekturen – eine der Hauptursachen von Kollisionen – verhindert werden.

Die Kostenvorteile der Prozesseinrichtungs-Stufe sind:

- **Zeitreduzierung** bei der Werkstück- und Werkzeugeinrichtung um **bis zu 90 %**
- **Automatisierte Messungen** mit einer, im Vergleich zu manuellen Methoden, **höheren Wiederholgenauigkeit**
- Ein zuverlässigerer Einrichtprozess bedeutet **weniger Stillstandszeiten** nachdem die Fertigung gestartet wurde
- Das **Einrichten von Ersatzwerkzeugen** ist schneller und weniger fehleranfällig
- All dies gibt Ihnen **mehr Zeit, für die Fertigung von Werkstücken**

Ermittlung des Drehpunkts der Frässpindel auf einem Dreh-/Fräszentrum

**In-Prozess-Regelung**

Diese Stufe ist die wohl am wenigsten genutzte und verstandene Stufe. Die Kontrollmechanismen befassen sich mit Fehlerquellen, die in allen Bearbeitungsprozessen vorkommen – nämlich Werkzeugverschleiß und der Einfluss von Temperatur und Wärmeflüssen. Messungen auf der Maschine sind die einzige kosteneffektive Möglichkeit, den Zustand einer Komponente während der Bearbeitung zu überwachen. Gleichzeitig wird dabei der Maschine die Intelligenz gegeben, die sie braucht um eigene Entscheidungen zu treffen, den Prozess ständig zurückzuführen und damit die negativen Auswirkungen von Prozessabweichungen zu eliminieren. Daraus ergibt sich ein durchgehend fähiger stabiler Prozess, der weniger Personal benötigt und weniger Nacharbeit und Ausschuss zur Folge hat.

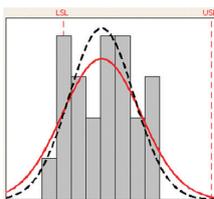
Bevor wir fortfahren, muss darauf hingewiesen werden, dass eine In-Prozess-Regelung nur dann erfolgreich umgesetzt werden kann, wenn die unteren Stufen der Pyramide vorhanden sind. Sollten diese anderen Fehlerquellen keiner Kontrolle unterliegen, dann steht der In-Prozess-Regelung ein schwerer Kampf gegen zufällige Einflüsse bevor, für den sie schlecht gerüstet ist. Der Versuch, einen Prozess in einer chaotischen Umgebung mit gewöhnlichen manuellen Prozessen zu automatisieren, ist töricht.

Was für Kontrollmechanismen sind also in dieser Stufe enthalten?

- Es ist sinnlos, alle Merkmale eines Werkstücks messen zu wollen, wenn sie alle mit den selben Werkzeugen hergestellt wurden. Ein besserer Ansatz ist es, so viel Zeit wie nötig dazu zu verwenden ein **kritisches Merkmal pro Werkzeug** mit einem Messtaster zu überprüfen und die Werkzeugkorrektur anhand der gemessenen Abweichungen zu aktualisieren. Nach Bearbeitungsbeginn ist der Werkstückmesstaster und nicht der Werkzeugmesstaster das richtige Mittel zur Werkzeugüberprüfung, da hiermit direkt die gewünschte Zielgröße – das von dem Werkzeug hergestellte Maß – gemessen werden kann.

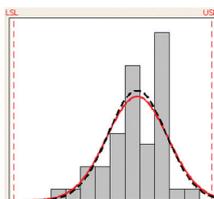
- **Überwachung der Schruppwerkzeuge**, nicht nur der Schlichtwerkzeuge. Obwohl ihr Bearbeitungsergebnis bei der Endkontrolle nicht direkt sichtbar ist, haben Schruppwerkzeuge eine wichtige Aufgabe: Sie hinterlassen das richtige Materialmaß für das Schlichtwerkzeug auf dem Werkstück. Wenn das geschruppte Merkmal nicht konsistent ist, dann wird auch die Schnitttiefe des Schlichtschnitts schwanken und dadurch die Werkzeugdurchbiegung und Oberflächengüte beeinträchtigt.
- **Überwachung der thermischen Drift** durch regelmäßige Bezugspunktbestimmung von Spindelposition sowie der Mittelachsen bzw. Drehpunkte der Rundtische, besonders vor kritischen Schlichtbearbeitungen.
- **Überprüfung empfindlicher Werkzeuge** auf Werkzeugbruch nach jedem Bearbeitungszyklus, um sicherzustellen, dass ein beschädigtes Werkzeug nicht zu Beschädigungen von anderen Werkzeugen und am Werkstück führen kann. Dies steigert das Vertrauen in die unbemannte Fertigung.
- **Logik in das Programm einbauen**, um auf unerwartete Ereignisse zu reagieren. Wenn ein Werkstück außerhalb der Toleranz ist, aber noch über Aufmaß verfügt, dann kann ein weiterer Schlichtvorgang aufgerufen werden. Wenn ein Werkzeug bricht, kann ein Schwesterwerkzeug aufgerufen oder der Bediener alarmiert werden. Akzeptieren Sie kein schlechtes Messergebnis ohne weitere Kontrolle: Reinigen Sie das Werkstück und führen Sie eine weitere Messung durch, um sicherzustellen, dass das Ergebnis nicht durch Späne verfälscht wurde.
- **Überwachung des Prozessstatus** und Alarmierung des Bedieners, wenn Fehler auftreten.
- Speicherung der In-Prozess-Messungen und der Aktualisierungen von Werkzeugkorrekturen für eine spätere **Nachverfolgbarkeit**.

Nur Prozesseinrichtung



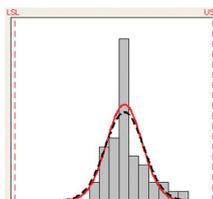
$C_{pk} = 0,32$   
 $P_{pk} = 0,39$   
Ausschuss / Nacharbeit = 12,1%

Prozesseinrichtung & Ergebnisdokumentation



$C_{pk} = 0,83$   
 $P_{pk} = 0,86$   
Ausschuss / Nacharbeit = 0,5%

Prozesseinrichtung & In-Prozess-Regelung



$C_{pk} = 1,64$   
 $P_{pk} = 1,47$   
Ausschuss / Nacharbeit = 0,0002%

60.000 Mal weniger Ausschuss und Nacharbeit!

*Ergebnisse einer Fähigkeitsuntersuchung bei Renishaw, anhand derselben Werkstücke mit unterschiedlichen Prozessüberwachungsmethoden. Wird nur die Prozesseinrichtung verwendet, dann ist die Ausschussmenge unakzeptabel und die Lage im Toleranzband schlecht.*

*Die Ergebnisüberwachung bietet eine verbesserte Toleranzlage und reduziert die Unterschiede zwischen den Werkstücken, führt aber zu Fähigkeiten, die unter dem für die meisten Unternehmen akzeptablen Niveau liegen.*

*Nur eine intelligente In-Prozess-Regelung kann ein Fähigkeitsniveau erreichen, das Renishaw akzeptabel findet und lange unbemannte Betriebszeiten ermöglicht.*



**Beispiele von Kostensenkungen**

Betrachten wir einmal ein Beispiel von Verbesserungen in der Prozessüberwachung und deren Auswirkung auf einen Bearbeitungsprozess. Bei dem Werkstück in diesem Anwendungsfall handelt es sich um eine hochwertige Komponente für die Luft- und Raumfahrt:

**PRODUKTIONSDATEN**

Maschinen-Investitionskosten	€ 600.000	pro Maschine
KMG-Investitionskosten	€ 140.000	pro KMG
Abschreibungsdauer	10	Jahre
Maschinenstundensatz	€ 90	pro Stunde
KMG-Stundensatz	€ 90	pro Stunde
Vorgesehene Arbeitsstunden	120	Std. / Woche
Personalbesetzung an den Maschinen	1	Maschinenbediener pro Schicht pro Maschine
Personalbesetzung an den KMGs	1,5	Maschinenbediener pro Schicht pro KMG
Personalkosten	€ 42.000	pro Maschinenbediener pro Jahr
Materialkosten	€ 6.000	pro Werkstück
Bearbeitungs-Zykluszeit	30	Stunden
Nachbearbeitung	2	Stunden
KMG-Zykluszeit	7	Stunden
Maschinen-KMG-Verhältnis	2	Werkzeugmaschinen pro KMG
Kosten pro Sonderfreigabe	€ 600	

Die derzeitigen Ergebnisse der Bearbeitungsprozesse, gemessen unter Verwendung der Gesamtanlageneffektivität (GAE), wobei das Qualitätsmaß die Erfolgsquote ohne Nacharbeit erfasst, sind:

<b>Produktivität</b>		
Aktuelle GAE	53,0%	
Verfügbarkeit	85,0%	
Leistung	80,0%	
Qualität	78,0%	ohne Nacharbeit
Nacharbeitsquote	10,0%	
Ausschussquote	2,0%	einschließlich nachgearbeiteter Werkstücke
Sonderfreigabenquote	10,0%	einschließlich nachgearbeiteter Werkstücke

Anhand dieser Daten können wir die Anzahl der gefertigten Werkstücke pro Jahr, die Ausschussrate, Nacharbeit und Sonderfreigaben berechnen.

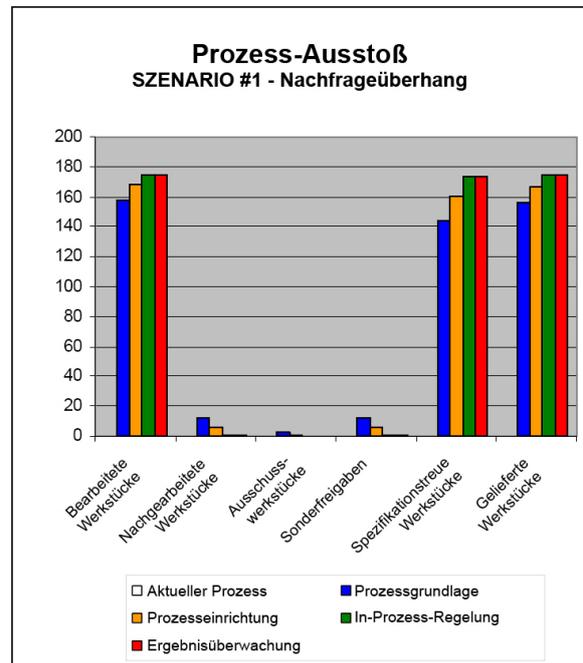
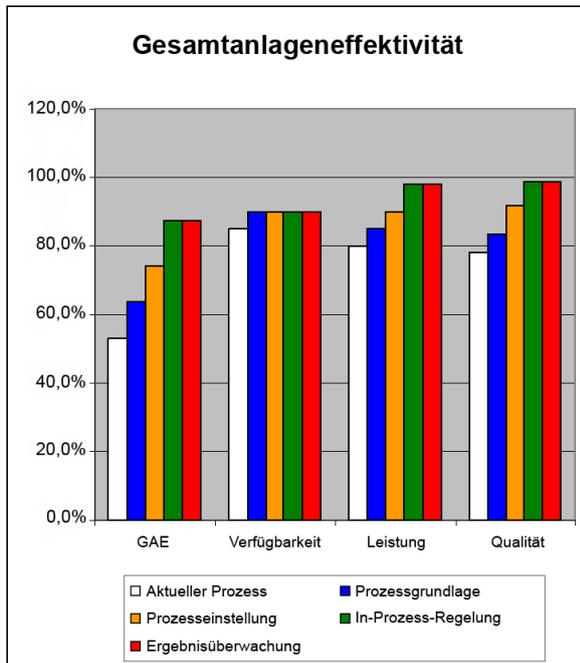
<b>Ausstoß pro Maschine</b>	
Bearbeitete Werkstücke	141
Nachgearbeitete Werkstücke	14
Ausschusswerkstücke	3
Sonderfreigaben	14
Spezifikationstreue Werkstücke	<b>124</b>
Delivered Werkstücke	<b>138</b>

Der Mehrwert wird aus der Anzahl der gelieferten Werkstücke (einschließlich der Sonderfreigaben) mal den Standardstunden und den Stundensätzen berechnet. Von dem Ergebnis werden dann Lohnkosten, Abschreibung und Qualitätskosten abgezogen, um den von der Maschine beigetragenen Anteil zu berechnen (bitte beachten: Verbrauchsartikel und andere variable Kosten sind hier nicht enthalten):

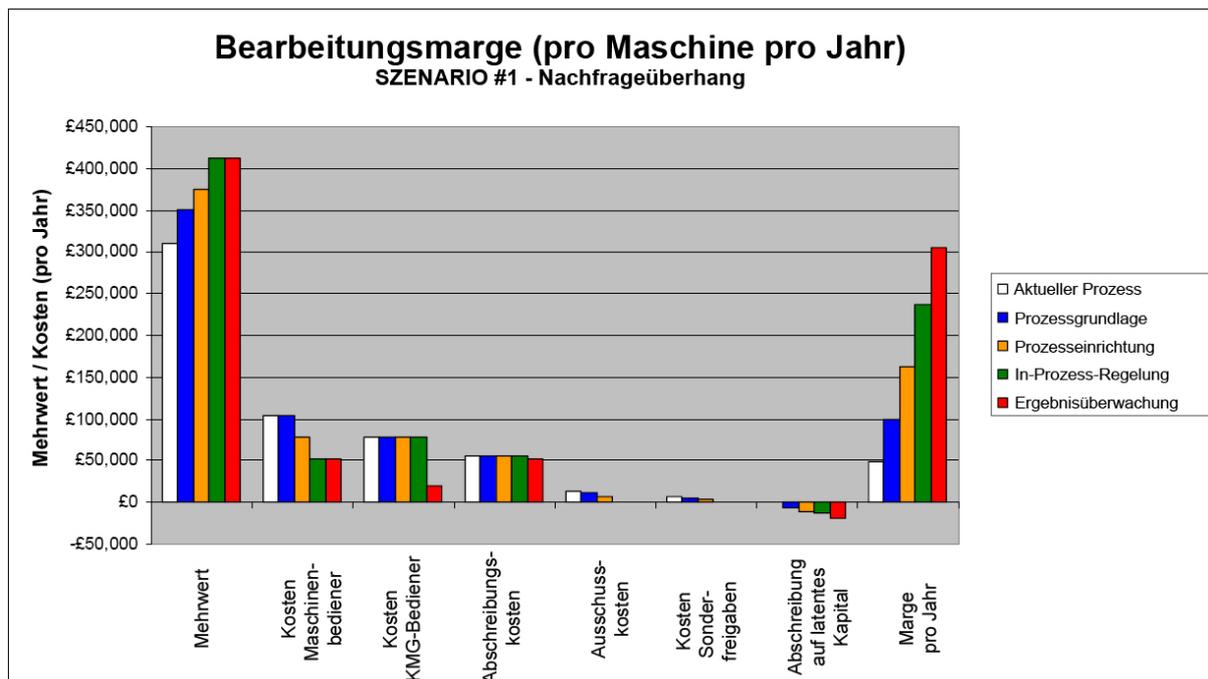
<b>Margenanalyse pro Maschine pro Jahr</b>	
Erzielter Mehrwert	€ 373.300
Kosten Maschinenbediener	€ 126.500
Kosten KMG-Bediener	€ 94.890
Abschreibungskosten	€ 67.500
Ausschusskosten	€ 16.929
Kosten Sonderfreigaben	€ 8.465
Abschreibung auf latentes Kapital	€ 0
Marge pro Jahr	<b>€ 59.022</b>

Dieses Diagramm stellt die Trends der GAE-Elemente dar, die sich aus der Anwendung der vier Kontrollstufen ergeben:

Das folgende Diagramm zeigt die Anzahl der bearbeiteten Werkstücke sowie die der Nacharbeit, Ausschuss und Sonderfreigaben:



Dieses Diagramm fasst den Mehrwert, die Kosten und Margen zusammen, die von der Maschine innerhalb eines Jahres in den verschiedenen Prozesskontroll-Ebenen generiert werden. Die stufenweise Verbesserung durch die komplette Einführung aller vier Pyramidenstufen beläuft sich auf ungefähr € 300.000 pro Jahr - was der Hälfte der Kapitalkosten der Werkzeugmaschine pro Jahr entspricht!



Was passiert also mit den Bearbeitungsergebnissen und der Marge, wenn die verschiedenen Pyramidenstufen angewendet werden? In allen unten dargestellten Beispielen wird angenommen, dass jegliche zusätzliche Kapazität für die Herstellung weiterer Werkstücke verwendet wird und weitere Kapitalausgaben zurückgestellt werden.

### Prozessgrundlage

- Verfügbarkeit steigt auf 90 % dank verbesserter Maschinenzuverlässigkeit
- Leistungssteigerung um 5 % durch weniger ungeplante Unterbrechungen aufgrund von Eingabeprozessen bzw. Veränderungen der Umgebungsbedingungen
- Die Qualität steigt um ein Viertel aufgrund der verbesserten Maschinengenauigkeit
- Gleichbleibende Personalbesetzung

### Prozesseinrichtung

- Verfügbarkeit bleibt bei 90%
- Die Leistung steigt auf 90 %, da Einrichtzeiten verkürzt werden und besser vorhersagbar sind
- Qualitätsfehler werden im Vergleich zu den vorherigen Stufen halbiert, da durch die automatisierte, wiederholgenaue Einrichtung mehr Teile von Anfang an korrekt hergestellt werden
- Die Personalbesetzung an der Maschine entsprechend den kürzer werdenden Einrichtzeiten reduziert

### In-Prozess-Regelung

- Verfügbarkeit bleibt bei 90%
- Leistungssteigerung auf 98 % da ungeplante Unterbrechungen sowie Wartezeiten auf das Bedienpersonal durch automatisches Feedback im Bearbeitungszyklus reduziert werden
- Die Qualität steigt auf 99 % oder höher, da gegen systembedingte Abweichungen an ihrer jeweiligen Quelle vorgegangen wird
- Die Personalbesetzung wird reduziert, da Eingriffe seitens der Bediener durch „unbemannte Prozesse“ wegfallen

### Ergebnisüberwachung

- Verfügbarkeit, Leistung und Qualität werden nicht beeinträchtigt
- Das Maschinen-KMG-Verhältnis steigt, da KMGs dank neuer Sensortechnologie produktiver werden
- Personalbesetzung an den KMGs sinkt aufgrund höherer Automatisierung

### Zusammenfassung und Empfehlungen

Die Produktionsprozess-Pyramide bietet einen systematischen Ansatz zur Eliminierung von Abweichungen in Bearbeitungsprozessen. Ohne grundlegende Veränderungen des Bearbeitungsprozesses kann eine Verbesserung der Prozessüberwachung durch eine erhöhte Automatisierung und niedrigeren Qualitätskosten zu erheblichen laufenden Kosteneinsparungen führen. Der für die Einführung einer solchen Überwachung erforderliche Investitionsaufwand ist relativ gering und amortisiert sich oft bereits innerhalb weniger

Monate. Die Eliminierung von Abweichungen innerhalb des Bearbeitungsprozesses erhöht außerdem die Rendite zukünftiger Kapitalanlagen.

Die Überwachungsstufen sollten von unten nach oben eingeführt werden, da jede Stufe auf die darunter liegende aufbaut und so schrittweise Abweichungen reduziert werden. Eine breite Einführung der Prozessgrundlagen-Stufe ist ein hervorragender erster Schritt, gefolgt von der Einführung von Messungen zur Automatisierung von Einrichtprozessen. Die In-Prozess-Regelung ist prozessspezifischer und macht dort Sinn, wo viele ähnliche Maschinen und Prozesse vorhanden sind, über die die Verbesserungen gemeinsam genutzt werden können. Falls bei Ihrer Anlage jede Maschinen anders ist, dann könnte sich die Einführung dieser Stufe als zu zeitaufwendig erweisen. In diesem Fall wäre es eine bessere Strategie, Ihren Maschinenpark zu rationalisieren und die übergeordneten Kontrollen dann bei neuen Prozessen einzuführen, damit das daraus Gelernte bei neuen Werkstücken eingesetzt werden kann.

Das Ersetzen der Ergebnisüberwachungs-Messungen auf Ihren KMGs mit Messungen auf der Maschine ist nicht generell die beste Strategie. Der Hauptzweck einer Maschine ist die Herstellung guter Werkstücke. Überprüfungen, die auf der Maschine durchgeführt werden, sollten sich also auf die soeben abgeschlossene Bearbeitung konzentrieren und nicht auf die Überprüfung aller Werkstückmerkmale. Die Werkstückprüfung auf der Maschine ist dann am sinnvollsten, wenn die Werkstücke sehr groß und komplex sind, wenn kein fähiger Off-line-Prüfprozess existiert, oder die Durchlaufzeiten und Kosten für den Transport der Werkstücke hoch sind. Ein besonderes Augenmerk gilt hier der Genauigkeit von Messungen auf der Maschine, insbesondere in Bezug auf den Temperatureinfluss. In den meisten Fällen ist ein KMG mit Hochgeschwindigkeits-Scantechnologie die kostengünstigste Lösung zur Überprüfung der Werkstückgeometrie und Oberflächenqualität.

**Schwierige wirtschaftliche Bedingungen setzen Unternehmen unter enormen Druck, ihre Produktivität und Kosten unter die Lupe zu nehmen. Die Anwendung der in der Produktionsprozess-Pyramide dargestellten Kontrollmechanismen ist eine kostengünstige Möglichkeit hierauf zu reagieren und Ihr Unternehmen in eine gute Ausgangsposition für eine erfolgreiche Entwicklung zu bringen, wenn sich die Bedingungen wieder verbessern.**



*5-Achsen Scan-Technologie revolutioniert die KMG Inspektion*