



Doctoral Thesis

## On-line process monitoring in high speed milling with an active magnetic bearing spindle

**Author(s):**

Müller, Markus Kurt

**Publication Date:**

2002

**Permanent Link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-004470070> →

**Rights / License:**

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

# **On-Line Process Monitoring in High Speed Milling with an Active Magnetic Bearing Spindle**

Dissertation submitted to the  
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
ETH ZÜRICH

for the degree of  
Doctor of Technical Sciences

presented by

**MARKUS KURT MÜLLER**  
Dipl. Masch.-Ing. ETH  
born September 18, 1970  
citizen of Unterkulm/AG and Strengelbach/AG

accepted on the recommendation of  
Prof. Dr. Gerhard Schweitzer, examiner  
Prof. Dr. Jacques Giovanola, co-examiner  
Prof. Dr. Walter Lindolfo Weingaertner, co-examiner  
Prof. Dr. Jörg Hugel, co-examiner

## Abstract

---

Process monitoring has become increasingly important in industrial production over the last decades. On the one hand, labour costs can be saved by eliminating personnel supervising the machines. On the other hand, a constant, high quality of the products can be guaranteed, which is not possible with human supervision alone.

In milling and in machining in general, many concepts have been developed to achieve a reliable monitoring of the cutting process. Most of them are based on force measurement, spindle current or power measurement, acoustic emission or vibration measurement.

Milling spindles with active magnetic bearings (AMBs) have the special feature that they are already equipped with position sensors in the magnetic bearings. In addition, the output signals of the controller, which determine the currents in the bearing coils, can be used to calculate the cutting forces.

In this work, the monitoring capabilities of such an AMB spindle are investigated. Specifically, collision monitoring, tool breakage monitoring, cutting edge breakage monitoring and tool wear monitoring are studied.

In the first part, the different test rigs are described, the available sensor signals are analysed and different ways for signal preprocessing are illustrated. A special device was developed, which generates the shaft acceleration signals from the position signals. These proved very useful for collision monitoring.

In the second part, the different monitoring tasks are described. The signals best suited for each task were selected and analysed and signal processing methods were developed and investigated in order to get an optimum monitoring performance.

It was found that the signals available in an AMB spindle are very well suited for process monitoring. Collisions could be detected in less than 0.2 milliseconds, which is a factor of 3 better than any other method described in the literature. Tool breakages could be recognized within one spindle revolution, using the bearing current signals. Cutting edge breakage could be detected with a high reliability by FFT analysis of the position signals. In tool wear monitoring, it was shown that conventional monitoring based on cutting force measurement (using the bearing current signals) works well. In addition, other useful features were found which are independent of some of the cutting parameters.

All these tasks can be carried out on-line, i.e. the milling process does not have to be interrupted for monitoring purposes.

Finally, some thoughts are mentioned on how the process monitoring system could be integrated in the magnetic bearing electronics, in order to offer a milling spindle with a built-in monitoring system to the customer.

## Kurzfassung

---

Der Überwachung von Prozessen in der industriellen Produktion kam in den letzten Jahrzehnten immer grössere Bedeutung zu. Einerseits konnten mithilfe der Prozessüberwachung Prozesse automatisiert werden, wodurch Bedienpersonal und damit Lohnkosten eingespart werden konnten. Andererseits konnten aber auch Überwachungsaufgaben wahrgenommen werden, die durch eine Bedienperson gar nicht ausführbar wären. So konnte erst eine konstant hohe Qualität der erzeugten Produkte gewährleistet werden.

Für das Fräsen und für die spanabhebende Bearbeitung allgemein wurden verschiedene Überwachungskonzepte entwickelt. Die meisten davon basieren entweder auf der Schnittkraftmessung, auf der Messung des Motorstromes oder der Leistung der Hauptspindel oder der Achsantriebe, auf der Körperschallmessung oder auf der Messung von Vibrationen.

Frässpindeln mit aktiven Magnetlagern (active magnetic bearings, AMBs) anstelle von konventionellen Wälzlagern haben die spezielle Eigenschaft, dass sie bereits mit Positionssensoren in den Magnetlagern ausgerüstet sind. Auch können die Ausgangssignale des Reglers, welche die Ströme in den Lagerspulen bestimmen, verwendet werden um die Schnittkräfte zu berechnen.

In dieser Arbeit wird analysiert, inwiefern die Sensor- und Reglerausgangssignale einer Magnetlagerspindel für Überwachungszwecke verwendet werden können. Konkret werden die Bestimmung des

Werkzeugverschleiss und die Überwachung der Ereignisse Kollision, Werkzeugbruch und Zahnausbruch untersucht.

Im einem ersten Teil werden die verschiedenen Versuchsanlagen beschrieben, die vorhandenen Sensorsignale analysiert und verschiedene Methoden der Signalverarbeitung aufgezeigt. Auch wurde ein spezielles Gerät entwickelt, das aus den Positionssignalen die Beschleunigung des Rotors ermittelt. Diese Beschleunigungssignale erwiesen sich als sehr gut geeignet für die Kollisionsüberwachung.

Im zweiten Teil werden die verschiedenen Überwachungsaufgaben beschrieben. Es wurde untersucht, welche Signale für welche Aufgabe am besten geeignet sind, und wie sie verarbeitet werden müssen, um eine optimale Überwachung zu erreichen.

Es konnte gezeigt werden, dass sich die vorhandenen Signale einer magnetlagerspindel hervorragend eignen für die Prozessüberwachung. Kollisionen konnten in weniger als 0,2 Millisekunden detektiert werden, was um Faktor 3 besser ist als die bis anhin in der Litertur beschriebenen Methoden. Werkzeugbrüche konnten mithilfe der Lagerstromsignale innerhalb einer Spindelumdrehung erkannt werden. Mittels FFT-Analyse der Positionssignale konnten Zahnausbrüche mit einer hohen Zuverlässigkeit detektiert werden. Bei der Verschleissüberwachung konnte gezeigt werden, dass die konventionelle Überwachung, basierend auf der Messung der Schnittkräfte (d.h. der Lagerstromsignale), gut funktioniert. Zusätzlich konnten Signalmerkmale gefunden werden, die unabhängig von einem Teil der Schnittparameter sind.

All diese Überwachungsaufgaben können on-line ausgeführt werden, d.h. der Fräsprozess muss nicht unterbrochen werden für Überwachungszwecke.

Schliesslich werden einige Gedanken aufgezeigt, wie das beschriebene Prozessüberwachungssystem in der Magnetlagerelektronik integriert werden könnte, sodass dem Kunden eine komplette Spindel mit eingebautem Überwachungssystem angeboten werden könnte.