

Körperschall-Regelung steigert die Produktivität beim Zerspanprozeß

Dr.-Ing. E. Schäpermeier
Eckelmann Industrieautomation, Wiesbaden

1 Einleitung

Die akustische Qualitätssicherung basiert auf Prüfverfahren, die im allgemeinen einem Fertigungs- oder Montageprozeß nachgeschaltet sind. Die Prüfung belegt, ob das gefertigte Teil oder die montierte Baugruppe den Qualitätsansprüchen genügt. Durch die Prüfung werden Ausschußteile aus dem Fertigungsprozeß aussortiert.

Werden solche Teile im Prüfprozeß entdeckt, so kann dies ein Hinweis auf Fehler im vorgeschalteten Fertigungsablauf sein. Der Prozeßablauf muß daraufhin gegebenenfalls unterbrochen und die entsprechende Fertigungseinrichtung auf fehlerfreies Arbeiten überprüft werden.

Wird diese Art der Qualitätssicherung nicht zu 100 % durchgeführt, sondern nur mit Stichproben gearbeitet, so wird eine Prüfung erst nach einer festgelegten Anzahl gefertigter Teile beim zuletzt gefertigten Teil dieses Zyklus vorgenommen. Im ungünstigsten Fall werden so Fehler im davorliegenden Arbeitsgang erst nach einem Prüfzyklus erkannt und abgestellt. Damit kann ein beträchtlicher Teil der Produktion Ausschuß werden. Wünschenswert ist es daher, eine 100%-Prüfung durchzuführen, die sich jedoch oft als zu aufwendig darstellt.

Eine akustische Qualitätskontrolle läßt sich bereits während des Fertigungsvorgangs durchführen, wenn der Fertigungsprozeß selbst akustische Signale generiert. Diese Methode hat den Vorteil, daß eine getrennte Prüfeinrichtung entfällt, eine 100%-Prüfung erfolgt und gegebenenfalls auch dem Auftreten von Fehlern bereits im Fertigungsprozeß vorgebeugt werden kann.

Mit dieser Art der akustischen Qualitätssicherung befaßt sich der vorliegende Beitrag. Behandelt werden Anwendungsfälle aus dem Bereich der Zerspanung. Hierunter werden im folgenden die Bereiche der Materialbearbeitung verstanden, die durch Spanabtrag erfolgen. Die Basis für diese Qualitätssicherungsmethode liefert die Körperschallmessung und -auswertung. Anhand von Beispielen wird aufgezeigt, wie die Produktqualität durch eine entsprechende Regelung des Bearbeitungsprozesses beeinflußt werden kann und welche Auswirkungen dies auf die Wirtschaftlichkeit des Fertigungsablaufs hat.

2 Prinzip der Qualitätssicherung über Körperschall

Durch den Spanabtrag entstehen bei der Zerspanung Schwingungen im Werkzeug und im Werkstück. Diese Schwingungen werden als Körperschall bezeichnet. Sie breiten sich im Werkzeug und im Werkstück aus und gelangen über die freien Flächen von Werkzeug, Werkstück und Maschine an die umgebende Luft. Das Ohr nimmt diese Schwingungen als Bearbeitungsgeräusch wahr. Diese Wahrnehmung wird vom Maschinenbediener dazu genutzt, seinen Prozeß optisch und akustisch zu überwachen.

Da der Körperschall die Ursache für das Bearbeitungsgeräusch ist, enthält er nicht nur die Informationen, die der Maschinenbediener für die akustische Prozeßüberwachung nutzt, er läßt sich darüber hinaus auch im Frequenzbereich oberhalb der Hörschwelle auswerten. Dies ist von Vorteil, da in diesem Bereich nur noch geringe Einflüsse des Maschinengrundgeräusches vorliegen und sich somit das Nutz- gut vom Störgeräusch trennen läßt. Der Körperschall bietet damit die Möglichkeit, das alte Konzept der Prozeßüberwachung neu aufzugreifen, wobei die heutige Sensorik kombiniert mit den Möglichkeiten der Datenverarbeitung die Effektivität und die Schnelligkeit der herkömmlichen Technik weit überbietet.

Dieser Ansatz wird heute beispielsweise bei der Werkzeugverschleiß- und Werkzeug-Bruch-Überwachung genutzt. Da der Körperschall jedoch eine Information über die bei der Spanbildung anfallende Wärme enthält, läßt er sich darüber hinaus auch für eine Prozeßregelung einsetzen.

Der Körperschall wird hierzu werkstück- oder werkzeugseitig an einem stehenden Bauteil in der Maschine gemessen. Der gemessene Wert wird im Regelgerät speziell weiterverarbeitet. Dieser weiterverarbeitete Wert wird im folgenden als Körperschallwert bezeichnet. In einem Lernschnitt, der ohne Regelung durchgeführt wird, wird ein Lernwert aus dem zeitlichen Verlauf des Körperschallwertes berechnet. Während der Bearbeitung wird der aktuelle Körperschallwert ermittelt und mit dem Lernwert verglichen. Dieser Vergleich liefert eine Aussage darüber, wie sich die Verschleißbelastung des Werkzeugs bzw. wie sich die Erwärmung des Werkstücks ändert. Aus dem Vergleich von aktuellem Körperschallwert und Lernwert wird die Stellgröße für die Regelung berechnet. Dieser berechnete Wert wird z.B. als Override-Wert an die Steuerung der Maschine gegeben und somit die Schnittdaten (Schnitt- und/oder Vorschubgeschwindigkeit) den jeweiligen Schnittbedingungen angepaßt. Siehe hierzu **Bild 1**.

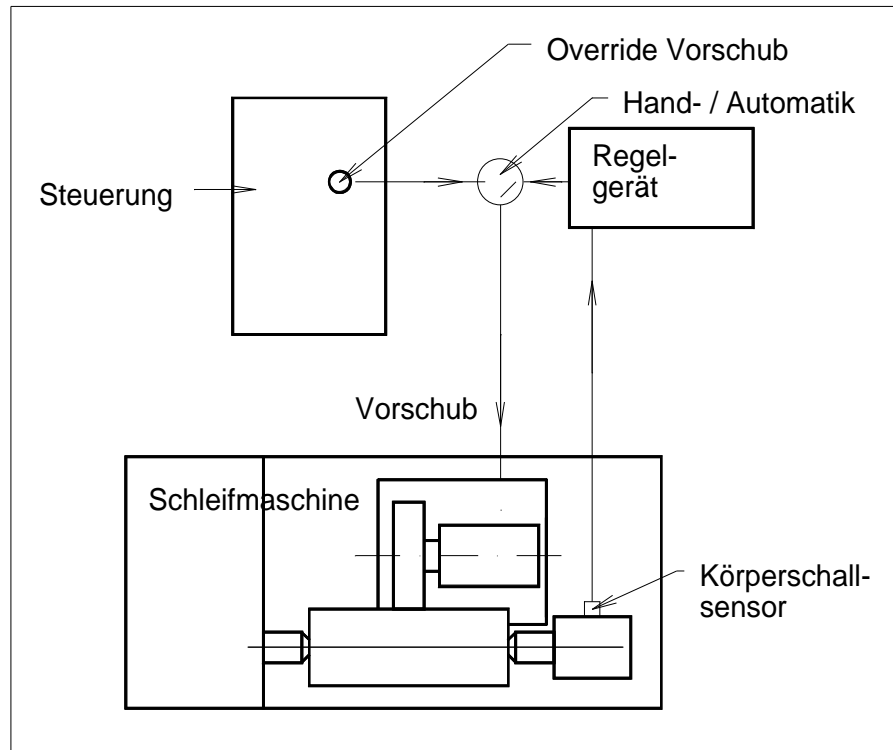


Bild 1: Prinzip des Regelaufbaus

Diese Technik wird sowohl dazu benutzt, die Verschleißbelastung von Werkzeugen möglichst konstant zu halten, als auch dafür eingesetzt, eine Überhitzung von Werkstücken zu vermeiden. Damit wird einerseits eine bessere Auslastung der Werkzeuge und als Folge eine kürzere Bearbeitungszeit erzielt, andererseits vermeidet man z. B. bei gehärteten Teilen eine Schädigung der Werkstückoberfläche infolge Überhitzung.

3 Beispiele aus der Fertigung

Dieses Regelsystem wurde ursprünglich für den Bereich der Metallbearbeitung entwickelt. Durch Analyse weiterer Bearbeitungsfälle aus anderen Werkstoffbereichen hat sich gezeigt, daß gerade die Bearbeitung der Werkstoffe, die Anisotropien und Inhomogenitäten aufweisen, eine vorteilhafte Anwendung bietet. So wurden inzwischen die Bereiche Holz-, Glas- und Steinbearbeitung mit Erfolg angegangen.

Anhand ausgeführter Applikationen werden im folgenden Arbeitsprinzip und Vorteile vorgestellt, wobei möglichst unterschiedliche Anwendungsfälle herausgegriffen wurden, um die Vielfalt der Anwendungsmöglichkeiten darzulegen.

3.1 Metallbearbeitung

Im Bereich der Metallbearbeitung wurden Applikationen beim Schleifen, Sägen, Drehen und Fräsen vorgenommen. Als Beispiel für die Metallbearbeitung wurde hier das Schleifen gehärteter Teile herausgegriffen.

Beim Schleifen gehärteter Teile besteht die Gefahr von Schleifbrand. Die Härtung der zu schleifenden Teile erfolgt in einem vorgelagerten Arbeitsgang durch eine Erhitzung, der eine Abschreckung in einem Flüssigkeitsbad folgt.

Schleifbrand tritt auf, wenn beim Schleifen die gehärtete Oberfläche durch den Spanabtrag zu heiß wird. Durch die Überhitzung erfolgt eine Rückhärtung. Die Teile mit Schleifbrand sind Ausschuß, da sie an den Stellen, an denen der Schleifbrand auftritt, nicht mehr die für ihre Funktion erforderliche Härte aufweisen.

Die Prüfung auf Schleifbrand ist problematisch, da das Auftreten von Schleifbrand ohne eine Säurebehandlung nicht zweifelsfrei erkannt werden kann. Wegen der Umweltbelastung und Gesundheitsgefährdung dieser Prüfmethode wird sie nur stichprobenartig durchgeführt. Eine absolute Bauteilsicherheit ist damit nicht gewährleistet. Da es sich bei gehärteten Bauteilen im allgemeinen um Kernstücke einer Maschine handelt, von deren Funktionstüchtigkeit die Funktion der gesamten Maschine abhängt, kann Schleifbrand auch an einem kleinen Bauteil bei Nichterkennung zu hohen Folgekosten führen.

Hier hilft die Körperschallregelung. Der aktuelle Körperschallwert liefert eine Aussage über die Veränderung der Wärmeentwicklung am Werkstück, die sich beispielsweise durch eine Veränderung des Eingriffswinkels zwischen Werkzeug und Werkstück ergibt. Siehe hierzu **Bild 2**. Durch die Erfassung des aktuellen Körperschallwertes werden während des Schleifens die Bearbeitungsbereiche erkannt, in denen eine stärkere Erhitzung des Werkstücks als normal erfolgt. In diesen Bereichen wird die Vorschubgeschwindigkeit reduziert. Durch die Reduktion der Vorschubgeschwindigkeit fällt weniger Wärme pro Zeiteinheit an. Die Werkstückoberfläche wird so nicht überhitzt. Über die Körperschallmessung und -verarbeitung werden aber auch Bereiche der Bearbeitung detektiert, in denen, z.B. durch einen kleinen Umschlingungswinkel zwischen Werkstück und Werkzeug, weniger Wärme als normal anfällt. Hier kann mit erhöhter Vorschubgeschwindigkeit gefahren werden.

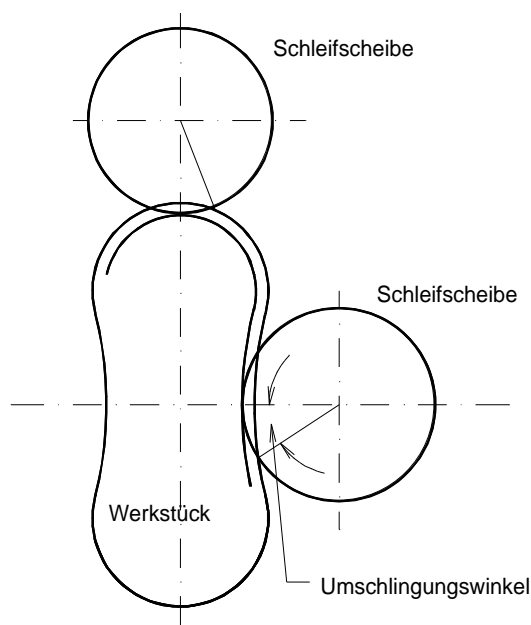


Bild 2: Unterschiedliche Eingriffsbedingungen zwischen Werkzeug und Werkstück

Bei unregelmäßigem Betrieb muß die Vorschubgeschwindigkeit aus Sicherheitsgründen so gewählt werden, daß auch an den problematischsten Stelle keine zu starke Erwärmung des Werkstücks erfolgt. Bei unregelmäßigem Betrieb wird daher im Mittel mit einer geringeren Vorschubgeschwindigkeit gefahren als im geregelten Betrieb. Neben der Sicherheit gegenüber dem Auftreten von Schleifbrand erzielt man damit durch die Regelung zum Teil erheblich kürzere Bearbeitungszeiten.

Als Beispiel seien das Schleifen von Kurvenscheiben und das Schlitzeln von Kupplungshülsen erwähnt.

Bild 3 zeigt die Bearbeitung einer Kurvenscheibe. Bei diesem Anwendungsbeispiel konnte die Entstehung von Schleifbrand durch die Regelung völlig vermieden werden. Die Bearbeitungszeit der Kurvenscheiben wurde durch die Regelung um 30 % gegenüber der Zeit gesenkt, die bei unregelmäßigem Betrieb benötigt wurde.



Bild 3 : Schleifen einer Kurvenscheibe

In **Bild 4** ist ein Bauteil dargestellt, bei dem die Schlitzeln durch ein Einstechschleifen erzeugt werden. Für jeden Schlitz erfolgt ein Einstechvorgang. Bei dieser Bearbeitung trat im unregelmäßigem Betrieb immer wieder Schleifbrand auf. Durch die Einführung der Regelung konnte das Auftreten von Schleifbrand völlig vermieden werden. Außerdem führte die Regelung zu einer Reduktion der Bearbeitungszeit um 20 %. Voruntersuchungen, die bei dieser Bearbeitung durchgeführt wurden, haben gezeigt, daß bei demselben Werkstück beim Schleifen der unterschiedlichen Nuten am Umfang starke Unterschiede in der Wärmerwicklung auftraten, obwohl der Bearbeitungsvorgang bei allen Nuten gleichartig abläuft. Der Grund für die

unterschiedliche Wärmeentwicklung ist damit werkstoff- bzw. härtingsbedingt. Die Regelung erkennt diese Unterschiede und führt damit zu der beschriebenen Prozeßverbesserung.

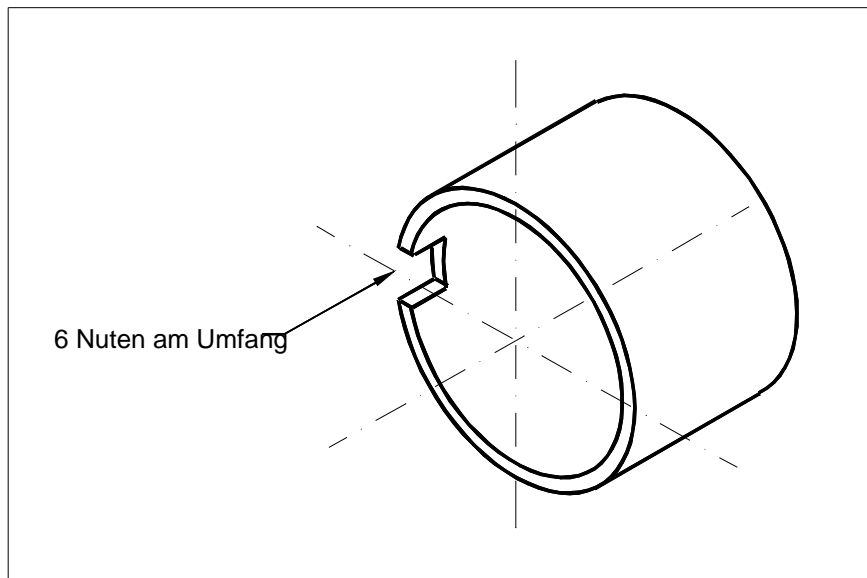


Bild 4: Stahlhülse mit Schlitzern

3.2 Holzbearbeitung

Der Hobbywerker kennt die Probleme, die sich bei der Bearbeitung von Holz ergeben. Am Klang der Säge erkennt er die Bereiche, in denen die Belastung des Sägeblattes ansteigt. In **Bild 5** ist der zeitliche Verlauf des Körperschallwertes aufgetragen, der beim Auftrennen eines Tannenstamms in Bretter bei konstanter Vorschubgeschwindigkeit gemessen wurde. Eine Analyse dieser Messung ergab, daß sich die höchsten Körperschallwerte unmittelbar vor dem Durchtrennen eines Astes ergeben. Wie erklärt sich dieses Phänomen?

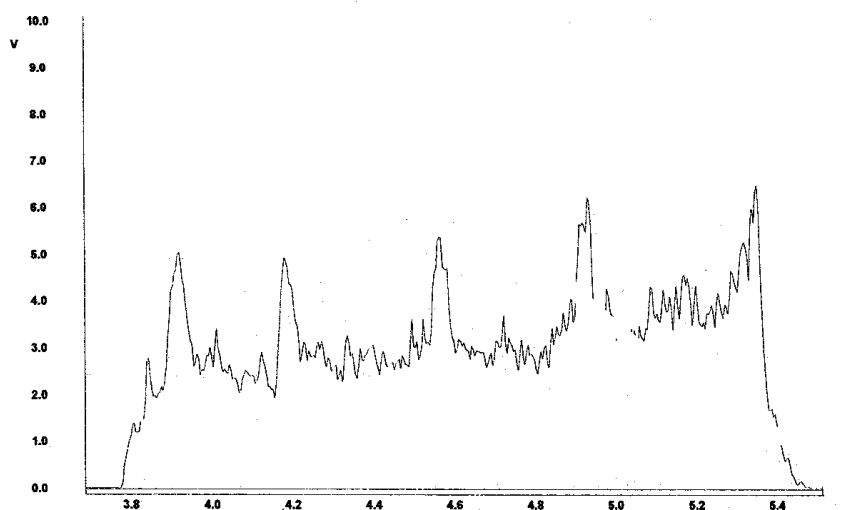


Bild 5: Ausgewerteter Körperschall beim Längssägen von Tanne

Beim Auftrennen von Baumstämmen wird in Richtung des Baumwuchses geschnitten. Im Bereich der Äste wölben sich die Jahresringe aus. Hier bildet die Schnitttrichtung einen spitzen Winkel mit dem Verlauf der Jahresringe. Siehe hierzu **Bild 6**. Durch das einseitige Anlaufen der Sägezähne an die harten Bereiche der Jahresringe entstehen Querkräfte auf das Sägeblatt. Das Auftreten der Querkräfte führt zu einer Biegebelastung des Sägeblattes. Diese Zusatzbelastung äußert sich in einer Erhöhung des Körperschallwertes.

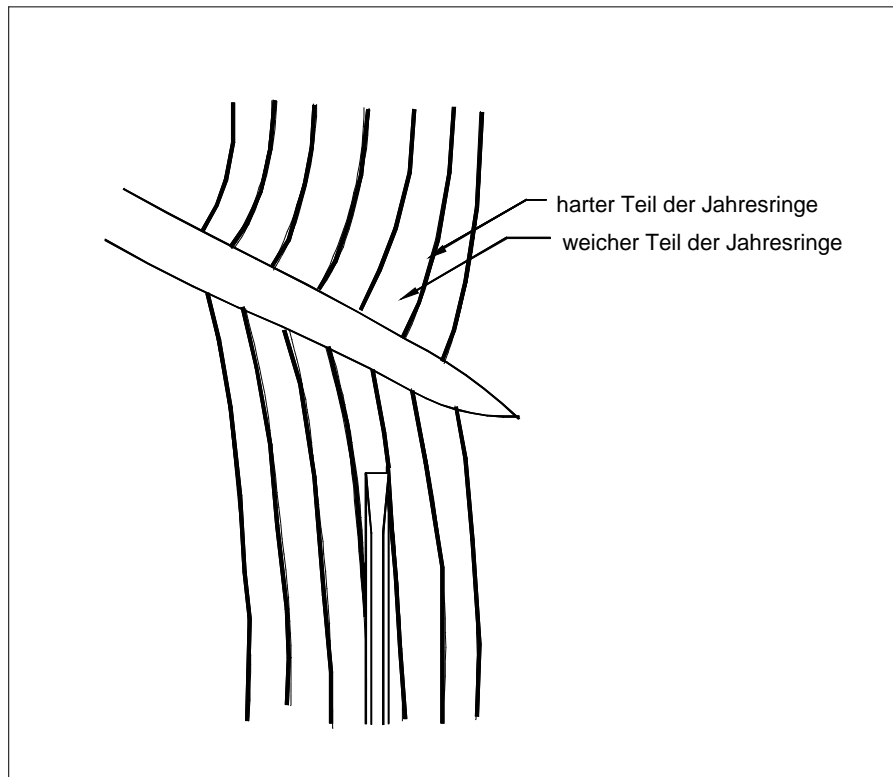


Bild 6: Skizze zum Schnittverlauf beim Längssägen

Auch hier liefert der Körperschallwert die Regelgröße für die Vorschubregelung. In Bereichen mit einem Anstieg des Körperschallwertes über den Lernwert hinaus wird der Vorschub durch die Regelung reduziert. Die Querkräfte werden damit geringer und die Gefahr für das Verlaufen des Sägeblattes nimmt ab. In den Bereichen, in denen der aktuelle Körperschallwert unter den Lernwert abfällt, wird die Vorschubgeschwindigkeit wieder erhöht. Wie bereits beim Schleifen erläutert, wird mit der Regelung im Mittel eine höhere Durchsatzgeschwindigkeit erzielt als bei unregelmäßigem Betrieb, wobei die Schnittqualität verbessert wird.

Anteilmäßig hohe Kosten entstehen bei dieser Art der Holzbearbeitung dann, wenn auf einer Mehrblattsäge getrennt wird. Dies ist beispielsweise beim Schneiden dünner Leisten aus Brettern gegeben. Der Holzverschnitt ist damit sehr hoch. Dieser Verschnitt läßt sich durch den Einsatz dünnerer Sägeblätter mit Regelung reduzieren. Die Regelung verringert nämlich die Querkräfte auf die Sägeblätter. Dadurch weichen diese trotz geringerem Biegevermögen nicht stärker aus als dickere Blätter bei höherer Belastung. Die Schnittqualität ist damit vergleichbar der bei unregelmäßigem Betrieb mit dickeren Blättern. Der Durchsatz läßt sich so zwar nicht steigern, die Kosteneinsparung durch geringeren Holzverschnitt kann sich dabei aber auf eine sechsstelligen Summe pro Säge und Jahr belaufen.

Bild 7 zeigt die Integration des Regelgerätes in eine Mehrblattkreissäge.



Bild 7: Regelgerät eingebaut in eine Mehrblattkreissäge

3.3 Glasbearbeitung

Bauteile aus Quarzglas werden u.a. in der chemischen Industrie eingesetzt. Diese Bauteile können geometrisch komplex geformt sein. In **Bild 8** ist die Zeichnung eines solchen Teils dargestellt. Dieses Teil wird durch Schleifen aus einem Quarzglasrohling hergestellt.

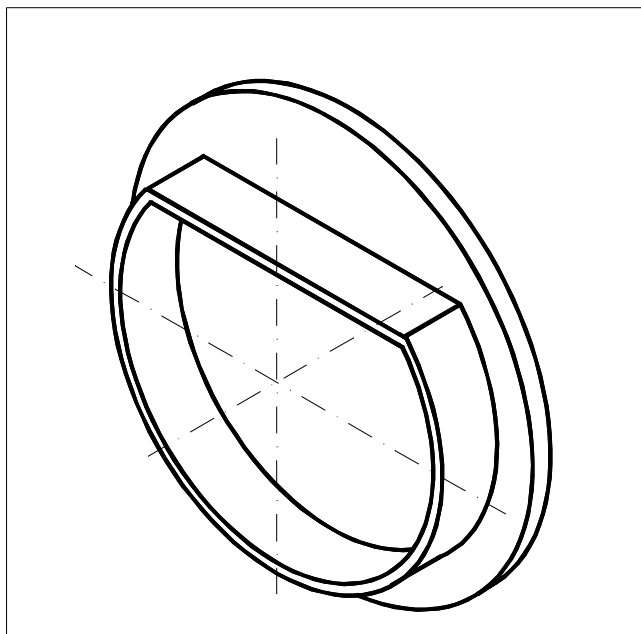


Bild 8: Beispiel für ein Bauteil aus Glas

Diese Art der Bearbeitung weist Ähnlichkeiten zu dem Schleifen gehärteter Werkstücke aus Stahl auf. Auch hier kann die thermische Belastung der Werkstücke Probleme bereiten. Speziell besteht das Problem der Wärmeentwicklung hierbei darin, daß Wärmespannungen entstehen, die zu Abplatzungen b.z.w. zur Ribbildung führen können. Treten Risse am Werkstück auf, so ist das Bauteil Ausschuß.

Die Wärmeentwicklung, die bei der Bearbeitung entsteht, hängt von folgenden Einflußgrößen ab:

- Materialhärte
- Eingriffsverhältnisse des Werkzeugs
- Güte der Kühlung
- Werkzeugverschleiß

Unabhängig davon, woher der Einfluß rührt, läßt sich auch bei dieser Bearbeitung die Wärmebelastung des Werkstückes über den Körperschallwert erfassen. Die Regelung des Bearbeitungsablaufs wird, wie in den Abschnitten zuvor beschrieben, durchgeführt.

Der Einsatz des Regelgerätes hat in diesem Falle aufgezeigt, daß insbesondere Härteunterschiede im Rohling zu den Problemen führen können, die Abplatzungen und Risse verursachen. Das Auftreten solcher Problemzonen kann nur während der Bearbeitung erkannt werden. Die Körperschallregelung detektiert diese Zonen und verhindert eine Ausschußproduktion durch Zurücknahme der Vorschubgeschwindigkeit. Wie bei den oben geschilderten Beispielen wird auch in diesem Falle in den Bereichen schneller bearbeitet, in denen eine thermische Belastung ansteht, die geringer ist als der durch den Lernwert vorgegebene Wert.

Durch den Einsatz der Regelung kann auch hier Ausschuß vermieden werden. Die Einsparung an Bearbeitungszeit liegt ebenfalls im Bereich von 20 %.

4 Gerät zur Prozeßregelung

Das Regelgerät ECONTROL SPR10 (siehe **Bild 9**) wurde für die beschriebene Regelung konzipiert. Auf dem Monitor des Gerätes ist der Belastungszustand des Werkzeuges bzw. Werkstückes an einer Balkendarstellung abzulesen. Anhand eines zweiten Balkens wird die Variation der Vorschubgeschwindigkeit angezeigt. Der Bediener erhält damit trotz Maschinenkapselung wieder mehr Informationen über den Prozeßablauf. Es hat sich gezeigt, daß diese Zusatzinformation dem Bediener bei der Prozeßüberwachung hilft, wodurch eine hohe Akzeptanz des Gerätes erreicht wird.



Bild 9: ECONTROL SPR10

Das Gerät bietet nicht nur die Möglichkeit, die Vorschubgeschwindigkeit zu beeinflussen, es gestattet auch, die Werkzeugdrehzahl so zu beeinflussen, daß mit konstanter Spanungsdicke pro Zahn gearbeitet werden kann. Dies ist insbesondere beim Fräsen erforderlich.

Anstelle des Regelgerätes, das prinzipiell an jeder NC-gesteuerten Maschine angebaut werden kann, bietet sich bei neu auszurüstenden Maschinen die Verwendung der Steuerung CNC20 der Eckelmann Industrieautomation mit integrierter Körperschallregelung an. Hiermit ist nur noch eine Bedienoberfläche vorhanden. Ein wesentliches Argument für diese Kombination bietet jedoch der Preisvorteil der integrierten Lösung.

5 Zusammenfassung

Der Beitrag hat aufgezeigt, daß man im Zerspanungsprozeß akustische Informationen darüber erhält, ob ein Bearbeitungsvorgang, im Sinne der Produktqualität, gut oder schlecht verläuft. Diese Informationen lassen sich nicht nur dazu benutzen, Gut- von Ausschußprodukten zu trennen, sondern läßt sich insbesondere dazu nutzen, Ausschuß zu verhindern. Damit kann die Wirtschaftlichkeit von Zerspanungsvorgängen gesteigert werden, zumal zusätzlich kürzere Bearbeitungszeiten erzielt werden. Ein weiterer Vorteil dieser Methode besteht darin, daß getrennte Prüfeinrichtung für eine dem Fertigungsprozeß nachgeschaltete Prüfung entfallen.

Es sei jedoch auch erwähnt, daß diese Methode nicht in allen Bereichen einsetzbar ist, in denen akustische Prüfverfahren zur Anwendung kommen. In diesem Sinne ist der vorliegende Beitrag als Anregung zu verstehen, den Komplex der akustischen Qualitätssicherungsmaßnahmen zu erweitern.