MIKROPROZESSORGESTEUERTE VORSCHUBKRAFT-ÜBERWACHUNG BEIM BOHREN

Prof. Dr.-Ing. G. Spur

1000 Berlin 12

Institut für Werkzeugmaschinen
und Fertigungstechnik

8. 8. 1980

1 Einleitung

Die wirtschaftliche Durchführung der Bohrbearbeitung erfordert Einrichtungen zur automatischen Überwachung des Zerspanungsvorgangs. Eine wichtige Maßnahme zur Einsparung von Kosten ist die automatisierte Werkzeugüberwachung. Diese erfordert ein Meßsystem, das auftretende Belastungen am Werkzeug ermittelt und bei Werkzeugbruch, der beispielsweise durch Spänestau oder Änderungen der Zerspanungseigenschaften im zu bearbeitenden Werkstück hervorgerufen wird, schnell reagiert, um Folgeschäden an Werkstück und Bearbeitungsmaschine zu vermeiden. Die Spanabnahme beim Bohren kann optisch nicht überwacht werden. Als Kenngröße zur Belastungs- und Bruchbestimmung wird häufig die Vorschubkraft herangezogen /1/. Das Messen der Vorschubkraft erfolgt über die Ermittlung der Kräfte im vorderen Hauptspindellager. Die Signalauswertung übernimmt ein Mikroprozessor.

2 Entwicklung eines Überwachungssystems

2.1 Kraftmeßsensor

Zur kontinuierlichen Erfassung der Vorschubkraft wurde die Hauptspindel einer Werkzeugmaschine mit Kraftmeßlagern ausgerüstet. Hierbei handelt es sich um Wälzlager, bei denen eine Nut im äußeren Lagerring mit Dehnmeßstreifen beklebt ist. Durch Überrollen der Wälzkörper werden Verformungen des äußeren Lagerrings verursacht. Diese bewirken Widerstandsänderungen der Dehnmeßstreifen, die mit einer Brückenschaltung ausgewertet werden. Am Brückenausgang entsteht eine Wechselspannung, deren Amplitude proportional zur angreifenden Kraft ist. Die Frequenz ändert sich mit der Drehzahl der Spindel. Das Meßsignal ist ein Maß für die auf das Lager einwirkenden äußeren

und inneren Kräfte. Innere Lagerkräfte wie Vorspannungskräfte, Fliehkräfte und hydrodynamische Kräfte wirken auf die Meßstellen in gleicher Richtung. Durch Differenzbildung der Signale zweier gegenüberliegender Meßstellen werden Gleichanteile kompensiert. Als Resultierende entsteht eine Ausgangsspannung, die sich linear mit der äußeren Kraft ändert /2/. Das Prinzip der Kraftmessung einer radialen Kraftkomponente ist in Bild 1 dargestellt. Zur Messung axialer Kräfte werden bei zweireihigen Schrägkugellagern der vordere und der hintere Lagerring mit Dehnmeßstreifen beklebt. Das Axialkraftsignal entsteht durch Verknüpfung der Signale von vorderen und hinteren Meßstellen. Für das hier beschriebene Meßverfahren wurde ebenfalls ein zweireihiges Schrägkugellager umgebaut. Damit lassen sich Kräfte in drei Koordinatenrichtungen messen. Ein wesentlicher Vorteil dieses Meßsystems liegt darin, daß für den Einbau der Kraftmeßeinrichtung in eine Werkzeugmaschine nur Lager ausgetauscht werden müssen. Statisches und dynamisches Verhalten der Maschine werden durch den Einbau des Kraftmeßlagers nicht beeinträchtigt.

2.2 Gerätetechnischer Aufbau

Die Kraftsignale werden mit einem Mikroprozessor ausgewertet. In Bild 2 ist das Blockschaltbild angegeben. Die Anpaßsteuerung der verwendeten Werkzeugmaschine übernimmt die Synchronisierung des Rechners. Mit dem Signal "Vorschub und Spindel Ein" (VS) wird dem Rechner der Betriebszustand von Arbeitsvorschubeinheit und Hauptspindelantrieb übermittelt. Die den Lagerkräften proportionalen Gleichspannungen können mit einem PCM-Magnetbandgerät aufgezeichnet werden. Zur Eingabe in den Rechner wird das zu analysierende Signal mit einem Multiplexer angewählt und mit Hilfe eines Analog-Digital-Wandlers umgesetzt. Bis zu 20000 Werte pro Sekunde können abgetastet werden. Für den Meßbereich von 8000 N ergibt sich eine Auflösung von 1,95 N.

2.3 Experimentelle Untersuchungen

Die Zerspanungsversuche wurden auf einer numerisch gesteuerten Vertikal Bohr- und Fräsmaschine vom Typ VF 1.8 der Firma Fritz Werner durchgeführt. Es wurden HSS Wendelbohrer Typ N, DIN 338 mit einem Durchmesser von 10 mm untersucht. Beim Bohren ins Volle wurden Werkstoffproben aus Baustahl St 50 zerspant. Die Bohrtiefe betrug l = 30 mm. Drehzahl und Kühlschmiermittel wurden nach den Richtwerten des Bohrerherstellers gewählt. Der Vorschub wurde zur Beschleunigung des Werkzeugverschleißes gegenüber üblichen Werten um 10 % erhöht.

Die Versuche ergaben, daß die Mittelwerte der Axialkraftsignale bei zunehmendem Standweg der Werkzeuge eine steigende Tendenz zeigten. Ein steuerungstechnisch verwendbarer Zusammenhang zwischen Vorschubkraft und Standweg war wegen der starken Streuungen nicht nachweisbar. Besonderheiten im Axialkraftverlauf, aus denen auf einen bevorstehenden Werkzeugbruch geschlossen werden könnte, wurden nicht festgestellt. Die den Lagerkräften proportionalen Gleichspannungen setzen sich aus einem Gleichanteil sowie statistisch und periodisch wechselnden Anteilen zusammen. Der Gleichanteil ist von der Geometrie der Spitze des Werkzeugs, der Werkzeug - Werkstoffpaarung und den Schnittbedingungen abhängig. Als Ursache der statistisch wechselnden Anteile können Unregelmäßigkeiten bei der Spanbildung genannt werden. Überlagerte periodisch wechselnde Anteile haben ihren Ursprung im dynamischen Verhalten von Werkzeug und Werkzeugmaschine. Der prozentuale Zuwachs der Vorschubkraftwerte bis zum Erliegen der Werkzeuge beträgt im Mittel 60 %. Der Streubereich der Axialkräfte in Abhängigkeit vom erzielten Vorschubweg ist in Bild 3 dargestellt.

2.4 Signalanalyse

Bei der Auswertung der Kraftsignale wird zwischen langsamen

und schnellen Vorgängen unterschieden. Unter den langsamen Vorgängen ist das Ansteigen der Vorschubkraft durch zunehmenden Schneidenverschleiß zu verstehen. Zur Kontrolle dieser Zunahme wird zunächst der Mittelwert des Kraftsignals bestimmt, der sich mit einem neuen Werkzeug ergibt. Mit dem Anfangswert F_0 und den während der Bearbeitungen ermittelten Werten F berechnet sich die relative Abweichung der Kraftmittelwerte vom Anfangswert zu

$$\varepsilon = \frac{F - F_0}{F_0} .$$

Mit der maximal zulässigen Abweichung ε_{max} wird dann die obere Belastungsgrenze der Werkzeuge aus der Gleichung

$$F_{max} = F_0 \, (1 + \varepsilon_{max})$$

bestimmt. Aus dem in Bild 3 dargestellten Streubereich wird mit dem größten Anfangswert F_0 und dem kleinsten Endwert F der Faktor ε_{max} zu 60 % errechnet. Bei unterschiedlichen Versuchsparametern muß ε_{max} zur Bestimmung der Belastungsgrenze experimentell ermittelt und tabellarisch erfaßt werden. Dadurch wird eine Eingabe in den Rechner entsprechend der Bearbeitungsaufgabe ermöglicht. Der Rechner bestimmt zunächst den Anfangswert F_0 durch Mittelwertbildung und berechnet dann mit ε_{max} daraus die Belastungsgrenze F_{max} sowie eine untere Grenze F_{min}, die für die Brucherkennung von Bedeutung ist. Im folgenden werden die sich ergebenden Kraftwerte mit F_{max} verglichen. Bei Überschreiten dieser Grenze wird ein Werkzeugwechsel eingeleitet.

Zu den schnellen Vorgängen zählen das plötzliche starke Ansteigen und Abfallen des Axialkraftsignals bei Werkzeugbruch.

Bild 4 gibt typische Verläufe der Vorschubkraftsignale bei ungestörtem Bohrvorgang und bei Werkzeugbruch wieder. In dem Bild ist zusätzlich das aus der Anpaßsteuerung generierte Signal VS in seiner zeitlichen Lage zu den Kraftsignalverläufen dargestellt. Werkzeugbrüche werden beispielsweise durch Spänestau oder harte Einschlüsse im Werkstoff verursacht. Aus der Analyse der Signalverläufe derartiger Brüche ergibt sich folgende Strategie zur Erkennung: Bei der Abtastung des Kraftsignals werden ein plötzliches Ansteigen und daran anschließendes schnelles Abfallen auf Werte unterhalb der unteren Grenze F_{min} registriert. Der Rechner erkennt durch Abfrage des Signals VS, daß der Bohrvorgang noch nicht abgeschlossen ist. Daraufhin wird der Arbeitsvorschub stillgesetzt und der Werkzeugbruch angezeigt. Um auch den Bruch noch zu erkennen, der gerade beim Ausschalten des Vorschubs auftritt, wird nach jedem Ausschalten des Vorschubs das Abklingen des Kraftsignals untersucht. Bei ungestörtem Ende der Bohrbearbeitung verläuft das Signal nach einer Exponentialfunktion. Bei Bruch geht es sofort auf Null zurück. Wenn der Bohrerstumpf erneut auf das abgebrochene Ende in der Bohrung auftrifft, können noch impulsförmige Kraftsignale entstehen. Bei Serienfertigung führt die Maschine häufig Bohrzyklen durch. Daher wird sich die Zeit, die zwischen dem Einschalten des Arbeitsvorschubs und dem Eintreten des Kraftanstiegs beim Anschnitt vergeht, nur unwesentlich ändern. Diese Zeit ermittelt das Überwachungssystem bei der ersten Bohrung und legt ein Zeitintervall fest, in dem der Kraftanstieg bei den weiteren Bohrvorgängen nach Einschalten des Vorschubs erfolgen muß. Tritt der Kraftanstieg nicht innerhalb des Zeitintervalls auf, so ist möglicherweise ein vorangegangener Bruch nicht erkannt worden. Daher wird wie bei der Brucherkennung der Vorschub ausgeschaltet und ein Werkzeugbruch angezeigt. Durch diese Maßnahme werden Folgeschäden auch dann vermieden, wenn der Bruch nicht rechtzeitig erkannt wurde.

2.5 Programmsystem

Die Programme zur Meßdatenverarbeitung sind in Assemblersprache erstellt. Sie sind in programmierbaren Lesespeichern (PROM's) abgelegt. Zur Anpassung des Rechners an unterschiedliche Bearbeitungsaufgaben können entsprechend programmierte PROM's eingesetzt werden. Die Programmabarbeitung wird durch Interrupte synchronisiert. In Bild 5 ist der Programmablaufplan für einen Bohrzyklus dargestellt. Die Programme zur Meßwertaufnahme (B2) und Meßwertverarbeitung (C2) laufen quasi-parallel ab. Ein Zeitgeber bewirkt in gleichmäßigen Zeitintervallen das Einlesen von Meßwerten. Dabei wird das Programm (C2), das die Daten auswertet, solange unterbrochen, bis das Einlesen abgeschlossen ist. Bei erkanntem Werkzeugbruch (D2) oder Erreichen der Belastungsgrenze (D3) werden Unterprogramme ausgeführt, die den Vorschub stillsetzen und den Werkzeugbruch anzeigen (E2) oder den Werkzeugwechsel (E3) veranlassen.

3 Zusammenfassung

Die automatische Steuerung der Bohrbearbeitung bedingt Einrichtungen zur Werkzeugüberwachung. Als Kenngröße für den Prozeßzustand ist die Vorschubkraft geeignet. Das Messen der Vorschubkraft erfolgt über Kraftmeßlager. Zur Signalauswertung wurde ein Mikroprozessorsystem aufgebaut. Die Belastbarkeit der untersuchten Bohrwerkzeuge wurde experimentell ermittelt. Aus den Kraftsignalverläufen ergeben sich Kriterien, die Aussagen über den Zustand des Werkzeugs ermöglichen. Für die gewählten Zerspanungsbedingungen beträgt die zulässige Vorschubkraftzunahme 60 %. Neben der Überwachung der Belastung werden auch Werkzeugbrüche erkannt und angezeigt. Die Programme zur Signalauswertung sind in Lesespeichern enthalten. Durch Austausch der Lesespeicher kann das Überwachungssystem an verschiedene Bearbeitungsaufgaben angepaßt werden.

4 Schrifttum

1. Sack, W.: Prozeßüberwachung des Bohrvorgangs durch Vorschubkraftmessung. Darmstadt, Technische Hochschule, Dr.-Ing.-Dissertation, 1978.

2. Lechler, G.: Untersuchung der thermischen Eigenschaften von Hauptspindellagerungen und Geradführungen an Werkzeugmaschinen. Produktionstechnik Berlin, Band 2, München, Wien, Carl Hanser Verlag 1978.

3. Ernst, P.: Indirekte Verschleißmessung beim Bohren mit Wendelbohrern. Industrie-Anzeiger 98 (1976) Nr. 28, S. 465 - 466.

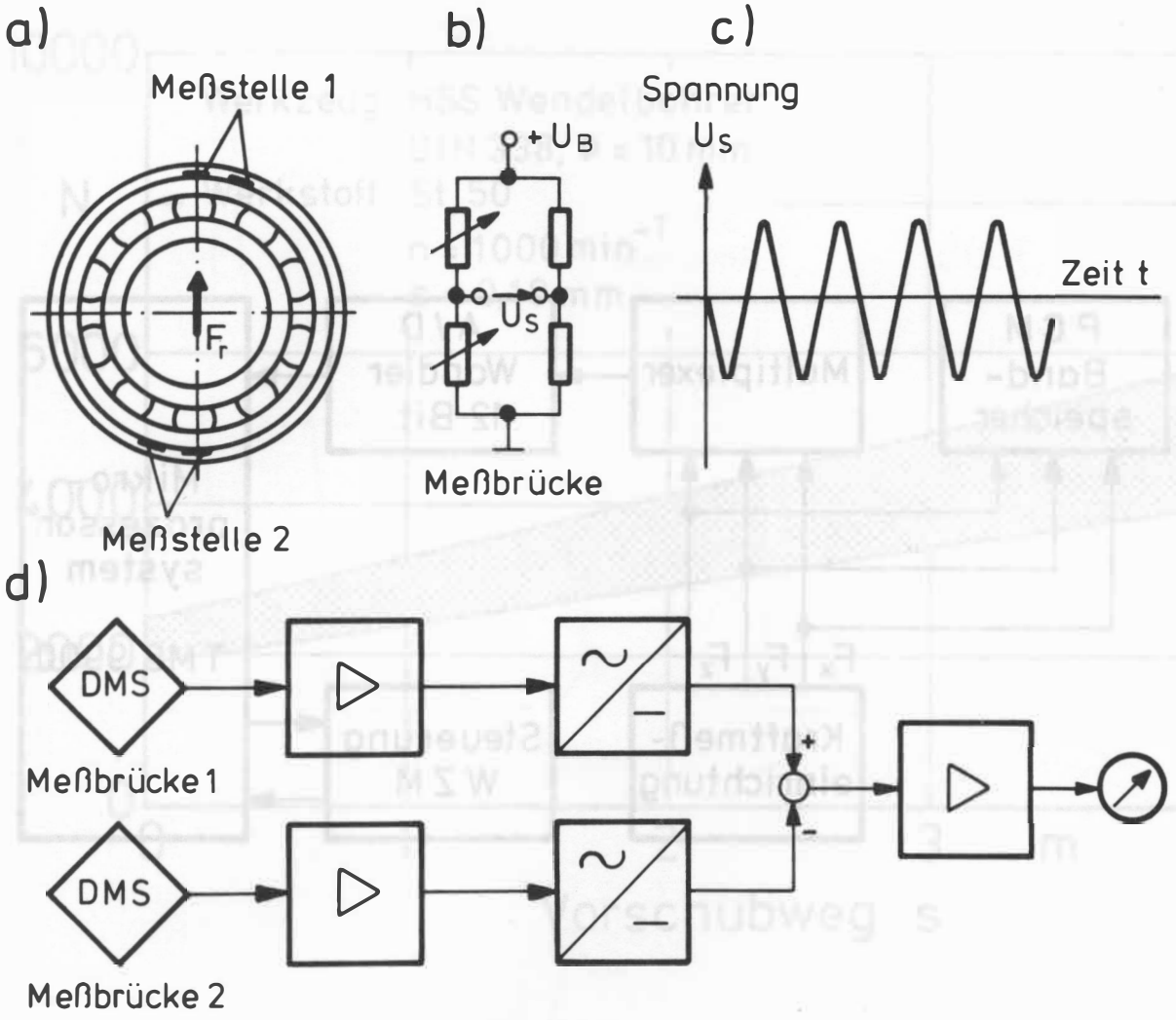

Bild 1: a) Kraftmeßlager, b) Meßbrücke, c) Signalverlauf,
d) Auswertelektronik

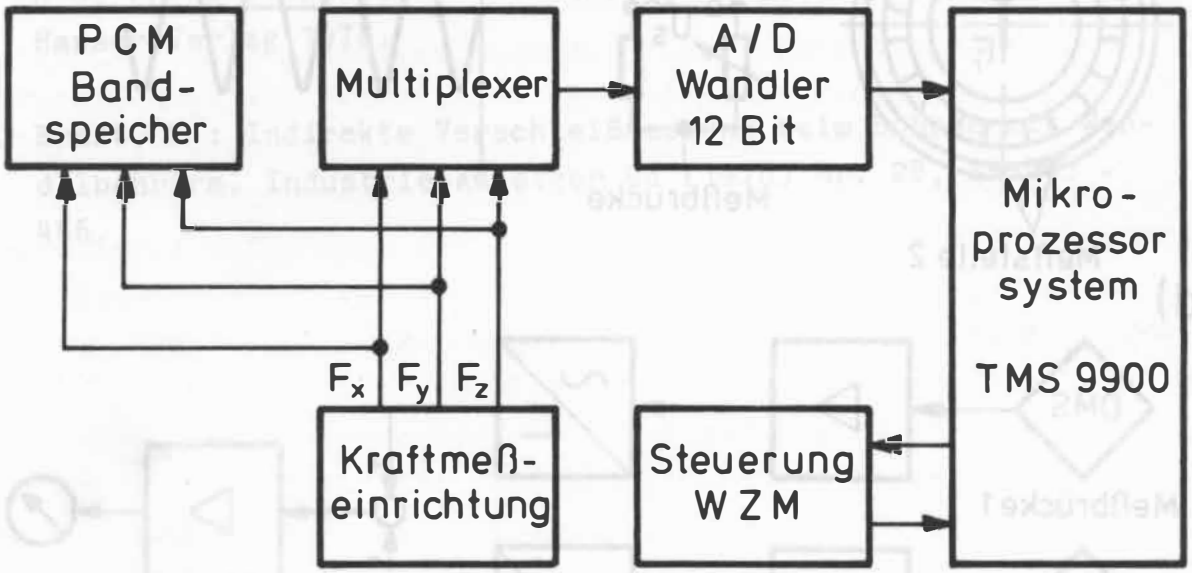

Bild 2: Blockschaltbild der Signalauswertungseinheit

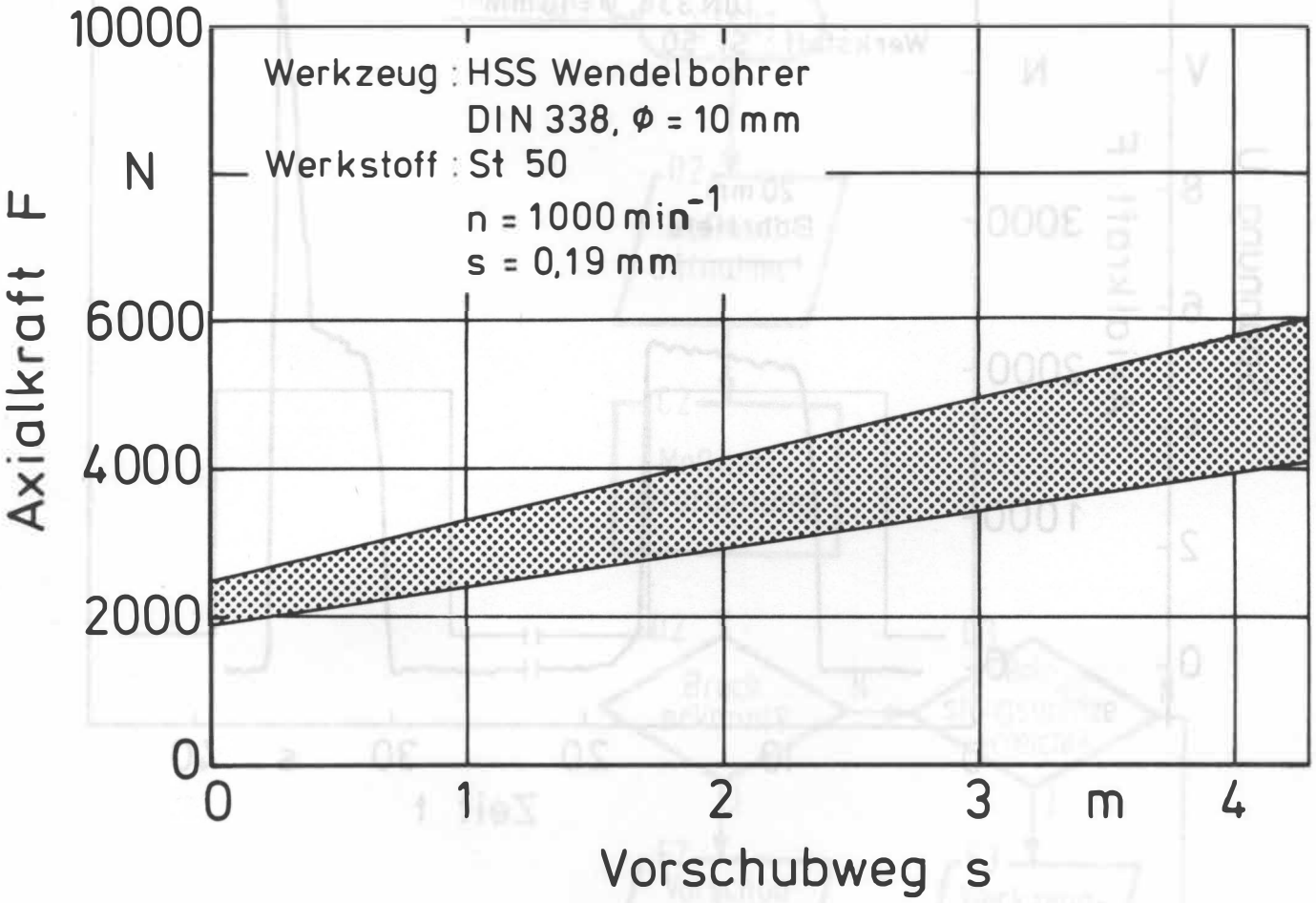

Bild 3: Streubereich der Axialkräfte in Abhängigkeit vom Vorschubweg

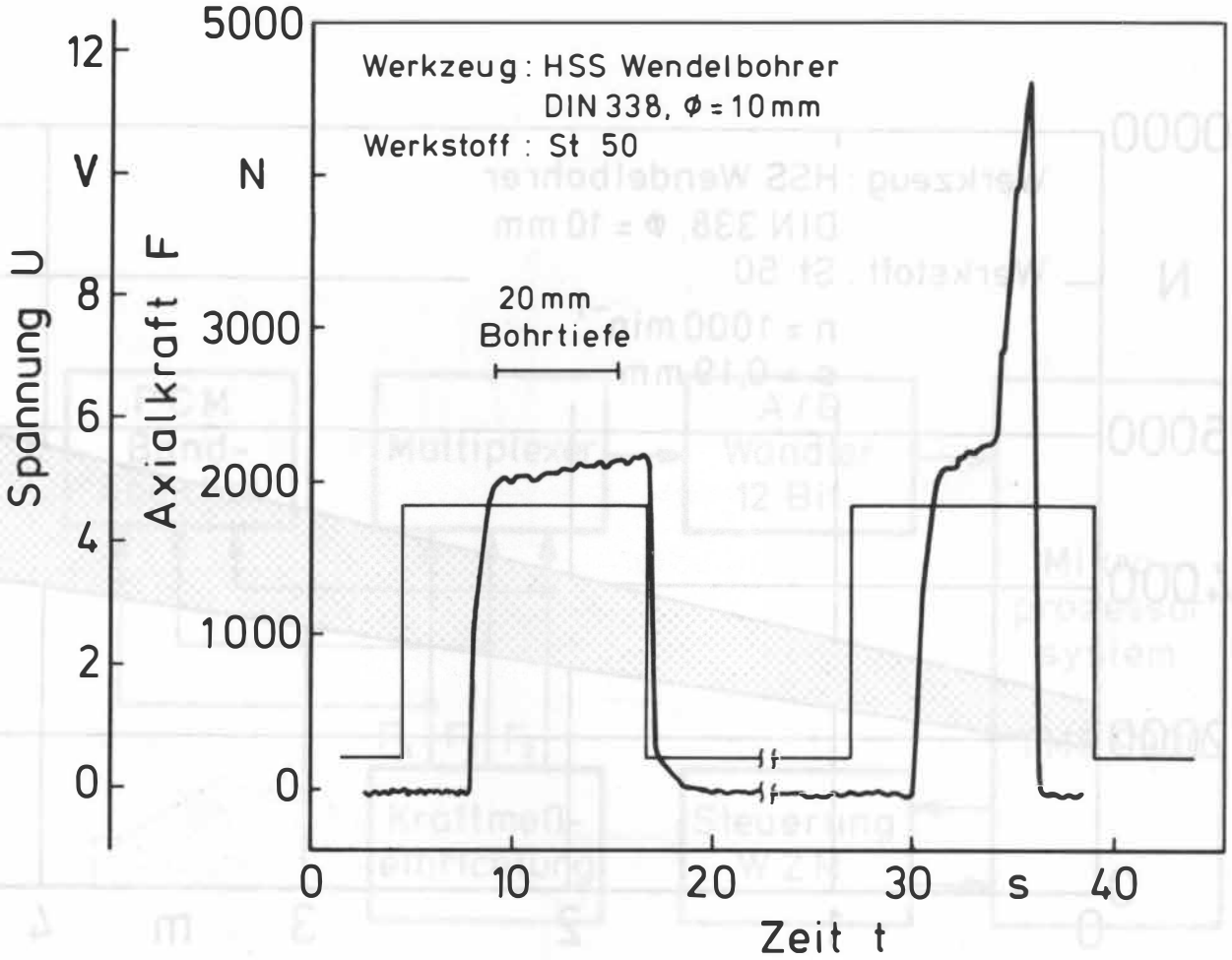

Bild 4: Kraft- und Steuersignalverläufe bei ungestörtem Bohrvorgang und bei Bohrerbruch

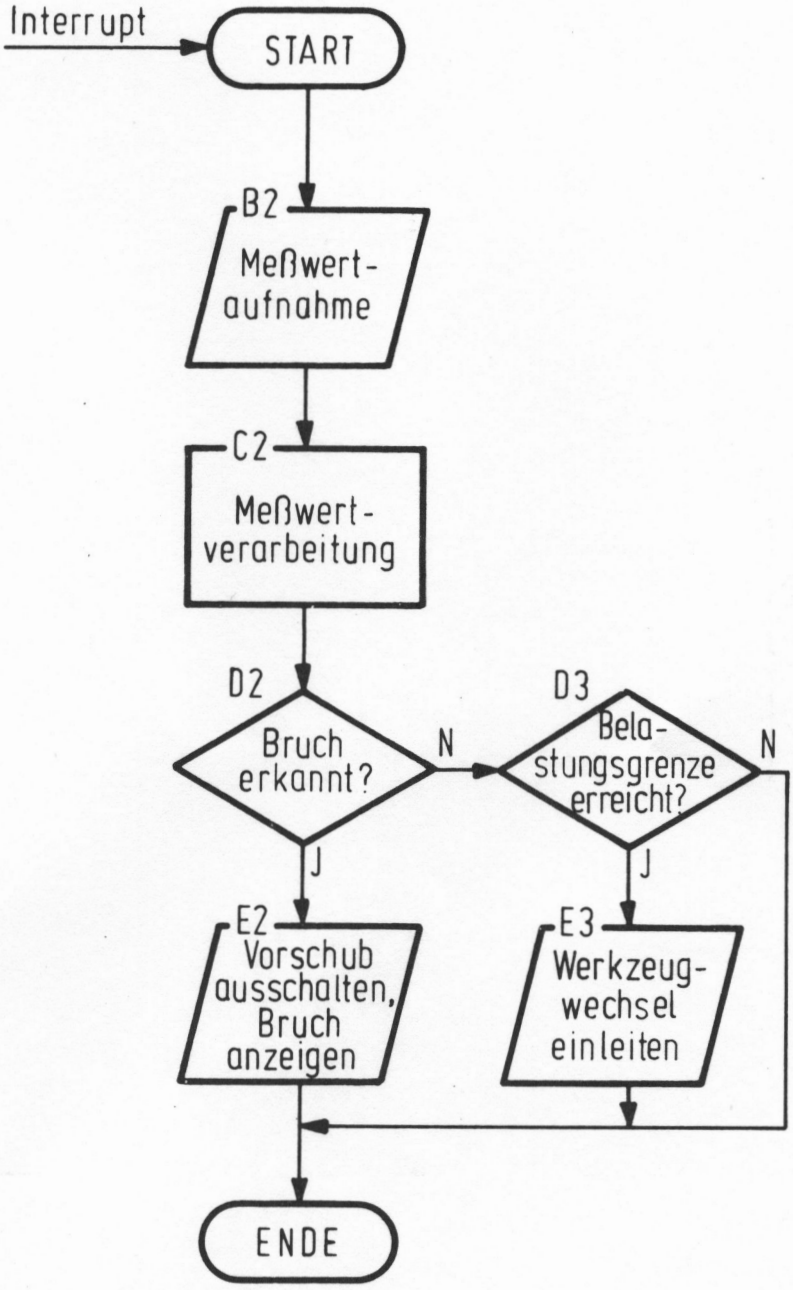

Bild 5: Programmablaufplan für einen Bohrzyklus