

# Störsignalkompensation bei der Untersuchung schwingender Bodenbearbeitungswerkzeuge

Dipl.-Ing. B. Seidel, KDT/Dipl.-Ing. A. Kirste, Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg

## 1. Einleitung

Werkzeuge für die Bodenbearbeitung können in starre, federnde und aktiv schwingende Werkzeuge unterteilt werden [1]. Im Gegensatz zu starren Werkzeugen sind federnde Werkzeuge in der Lage, selbsterregte Schwingungen auszuführen. Aktiv schwingende Werkzeuge werden durch einen Antrieb in Schwingungen konstanter Frequenz versetzt. Sie können sowohl nachgiebig durch Kraft- oder Stützerregung als auch erzwungen durch Einsatz eines Kurbelantriebs schwingen.

## 2. Problemstellung

Die folgenden Ausführungen beziehen sich auf ein Problem bei der meßtechnischen Untersuchung von schwingenden Werkzeugen, die schar-, zinken- oder klingenförmig ausgebildet sein können. Der Stand der Forschung auf dem Gebiet von scharförmigen Werkzeugen ist umfassend bekannt [1, 2]. Eine Grundlage für die Optimierung der Konstruktions- und Betriebsparameter von Bodenbearbeitungswerkzeugen in Abhängigkeit von den Bodenparametern stellt das Untersuchen der Bodenreaktion durch eine Kraft- und Momentmessung mit Hilfe von Dehnungsmeßstreifen dar [3 bis 6]. Wird dem Werkzeug ein festes x-y-z-Koordinatensystem zugeordnet, so müssen zum vollständigen Erfassen aller Belastungen bis zu sechs Komponenten der Bodenreaktion — drei Kräfte und drei Momente — gemessen werden. Während bei starren Werkzeugen die Meßsignale nur durch die Bodenreaktion hervorgerufen werden, entstehen bei federnden und aktiv schwingenden Werkzeugen zusätzlich Signale durch die Massenträgheit des gleichzeitig als Meßgrößenaufnehmer dienenden Werkzeugstiels und des Werkzeugs. Die Kompensation dieser Signale ist eine Bedingung für das genaue Erfassen und eine einfache Auswertung der Bodenreaktion.

### 2.1. Erzwungen aktiv schwingende Werkzeuge

Als Beispiel wird ein mit konstanter Frequenz  $f = 18 \text{ Hz}$  ( $f = 1/t_\omega = \omega/2\pi$ ) und konstanter Amplitude  $A_0 = 5 \text{ mm}$  des Schwingungswegs an der Werkzeugspitze in der x-z-Ebene erzwungen und harmonisch schwingendes Lockerungswerkzeug mit symmetrischem Bodenaufbruch betrachtet (Bild 1). Die x-z-Ebene ist senkrecht auf der Bodenoberfläche stehend in Richtung des Vektors der Fahrgeschwindigkeit  $v_f$  orientiert. Der Werkzeugstiel, die Befestigung des Werkzeugs (Schar) am Stiel und die Schwinde sind sehr steif ausgebildet. Die Messung des Moments  $M_y$  erfolgt durch zwei in einer Halbbrücke angeordnete Dehnungsmeßstreifen (DMS) und die Messung der Kräfte  $F_x$  und  $F_z$  durch je eine Differenzmomentbildung mit jeweils vier DMS, die im Beispiel in einer Halbbrücke angeordnet sind. Die DMS werden

durch Epoxidharz-Klebstoff E 11 vor Feuchtigkeit und mechanischer Beanspruchung geschützt.

Vor dem Bodeneingriff des Werkzeugs können die aus der Massenträgheit von Schar und Werkzeugstiel resultierenden cosinusförmigen Signale mit den Amplituden  $\hat{F}_x$ ,  $\hat{F}_z$  und  $\hat{M}_y$  und der Kreisfrequenz  $\omega$  beobachtet werden (Bild 2). Hierbei wurden die Eigenschwingungen des Meßgrößenaufnehmers durch einen Tiefpaß mit der Grenzfrequenz  $f_g = 100 \text{ Hz}$  herausgefiltert. Der gleiche qualitative Signalverlauf wird bei einem räumlich schwingenden Werkzeug auftreten.

### 2.2. Federnde und nachgiebig aktiv schwingende Werkzeuge

Bei federnden Werkzeugen sind die durch Massenträgheit hervorgerufenen Signale durch

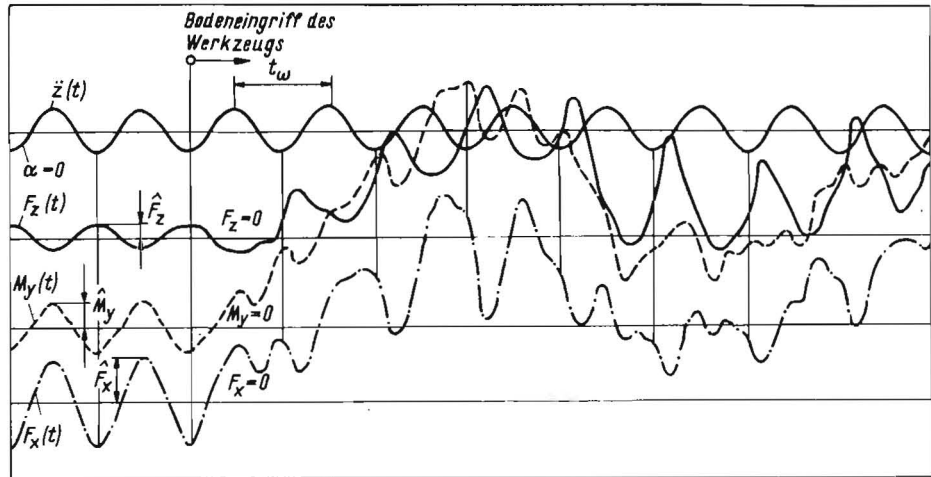


Bild 2. Aufzeichnung der Bodenreaktion eines aktiv schwingenden Werkzeugs [7];  $t_\omega$  Periodendauer der Störschwingung

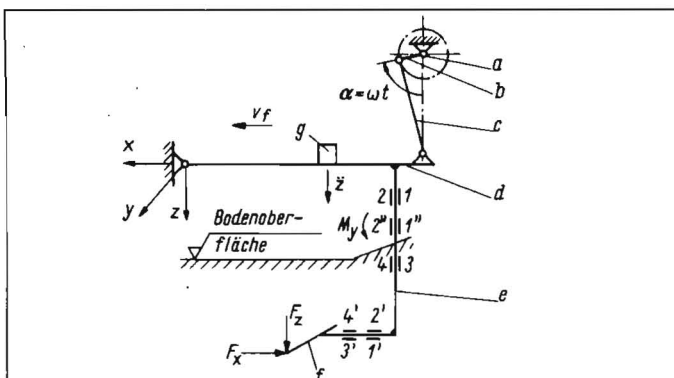
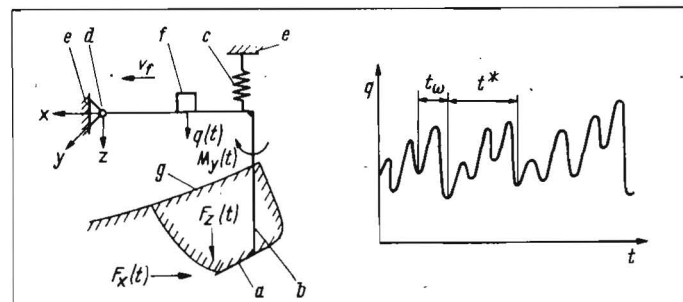


Bild 1. Meßgrößenaufnehmer zum Untersuchen schwingender Werkzeuge mit Anordnung der DMS [7];

a Kurbelwelle, b Kurbel, c Koppel, d Schwinde, e Werkzeugstiel, f Schar, g Meßfühler für die Beschleunigung  $\ddot{z}$ , t Zeit,  $\alpha$  Kurbelwinkel,  $\omega$  Kreisfrequenz/Winkelgeschwindigkeit, U Meßspannung,  $U_0$  Speisespannung, R Brückenwiderstand im Meßgerät

Bild 3. Als Drehschwinger ausgebildetes federndes Lockerungswerkzeug mit zeitlichem Verlauf des Schwingungswegs q;

a Werkzeug, b sehr steifer Werkzeugrahmen, c Feder, d Drehgelenk, e Geräterahmen als Festpunkt, f Aufnehmer für den Schwingungsweg q, g Bruchkörper,  $t^*$  Periodendauer zur Bildung von Bruchkörpern



Meßgröße	$F_x$	$F_z$	$M_y$
Schaltung der DMS			

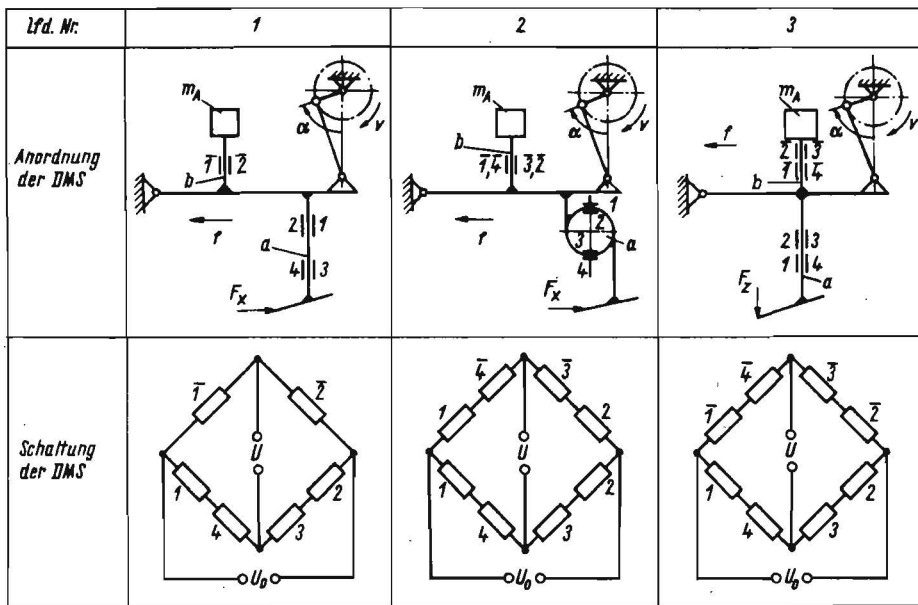


Bild 4. Beispiele für die Signalkompensation mit Hilfe der veränderlichen Ausgleichsmasse  $m_A$ :  
 a Aufnehmer für die Bodenreaktion, b Kompensationsaufnehmer;  
 die DMS 1 und 4 sowie 2 und 3 (lfd. Nr. 3) werden auf Querkontraktion beansprucht

die Messung der Werkzeugbewegung nachweisbar. Weit verbreitet ist in der Praxis der Einsatz von federnden Werkzeugen, die als Drehschwinger ausgebildet sind (Bild 3). Bei diesem Drehschwinger stützt sich der sehr steif ausgebildete Werkzeugrahmen, an dem das Schar befestigt ist, über eine Feder und ein Drehgelenk am Geräterahmen ab. Das Drehgelenk stellt den Festpunkt gegenüber dem Werkzeug dar. Untersuchungen an durch Kurbelantrieb erzwungen schwingenden Werkzeugen lassen die Schlussfolgerung zu, daß an federnden Werkzeugen eine überlagerte Werkzeugbewegung beobachtet werden kann [8]. Sie setzt sich zusammen aus der Eigenschwingung des Werkzeugrahmens und aus einer tieffrequenten Schwingung mit der Kreisfrequenz  $\omega^* = 2\pi/t^*$  infolge Bildung von Bruchkörpern. Die Komponenten der Bodenreaktion haben einen ähnlichen Verlauf, wenn die Anordnung der DMS wie im Bild 1 erfolgt und ein Tiefpaß mit geeigneter Grenzfrequenz die Systemeigenschwingungen des Meßgrößenaufnehmers (Werkzeugstiels) herausfiltert.

An nachgiebig aktiv schwingenden Werkzeugen kann der gleiche zeitliche Verlauf der Werkzeugbewegung und der Komponenten der Bodenreaktion wie an federnden Werkzeugen beobachtet werden.

Der quantitative Zusammenhang zwischen der Werkzeugbeschleunigung und den an den Dehnungsmeßstellen gemessenen Störkräften und -momenten ist bei federnden und nachgiebig schwingenden Werkzeugen experimentell durch einen Ausschwingversuch bestimmbar. Außerdem ist der analytische Verlauf der Schnittreaktion infolge Massenträgheit des Werkzeugrahmens von Lockerungswerkzeugen mit der x-z-Schwingungsebene umfassend bekannt [8].

### 2.3. Notwendigkeit der Störkompensation

Die Überlagerung des trägheitsbedingten Signals (Störsignal) mit dem durch die Bodenreaktion bedingten Meßsignal erschwert die Auswertung des Nutzsignals:

— Bei einem Störsignal mit sehr großer Amplitude muß die Empfindlichkeit der Meß-

anordnung verringert werden, um die Grenzen der Aussteuerbarkeit der Meßgeräte nicht zu überschreiten. Das Nutzsignal liegt daher oft nur mit sehr kleiner Amplitude im Summensignal vor.

- Der wahre Verlauf der Bodenreaktion federnder Werkzeuge kann nur im Zusammenhang mit der Messung der Werkzeugbeschleunigung aus dem Summensignal bestimmt werden.
- Beim Ermitteln von Feder-Dämpfer-Kennwerten des Bodens durch Untersuchen der an erzwungen schwingenden Werkzeugen ermittelten Komponenten der Bodenreaktion kann sich bei digitaler Meßwertverarbeitung durch die trägheitsbedingten Störsignale der Auswertefehler erhöhen [1, 8].

Bisher sind keine Methoden zur Kompensation dieser Störsignale bekannt geworden. In den folgenden Ausführungen wird die Kompensation der trägheitsbedingten Störsignale an einem mit der Kreisfrequenz  $\omega$  erzwungen schwingenden Lockerungswerkzeug beschrieben. Diese Kompensation ist wegen  $\omega^* \leq \omega$  ohne weiteres auf federnde und durch Kraft- oder Stützerregung nachgiebig schwingende Werkzeuge übertragbar. Weiterhin kann diese Signalkompensation eine Grundlage für das Untersuchen zinken- und klingenförmiger Werkzeuge bilden.

### 3. Möglichkeiten für die Störkompensation

Am sehr steif ausgebildeten Werkzeugrahmen mit dem Drehgelenk als Festpunkt wird außer dem als Meßgrößenaufnehmer ausgebildeten Werkzeugstiel für die Messung der Bodenreaktion an geeigneter Stelle ein frei schwingender Kompensationsaufnehmer angeordnet (Bild 4).

Durch die Massenträgheit des Werkzeugs und der am Kompensationsaufnehmer befestigten Zusatzmasse, also bei nicht im Bodeneingriff stehendem Werkzeug, entstehen in beiden Aufnehmern phasengleiche Materialspannungen und -dehnungen, wenn die Schwinger hoch abgestimmt ausgebildet sind ( $\eta = \omega/\omega_0 \rightarrow 0$ , Bild 5). Bei nicht genügend hoher Abstimmung kann, wenn die Eigenkreisfrequenz  $\omega_{02}$  des

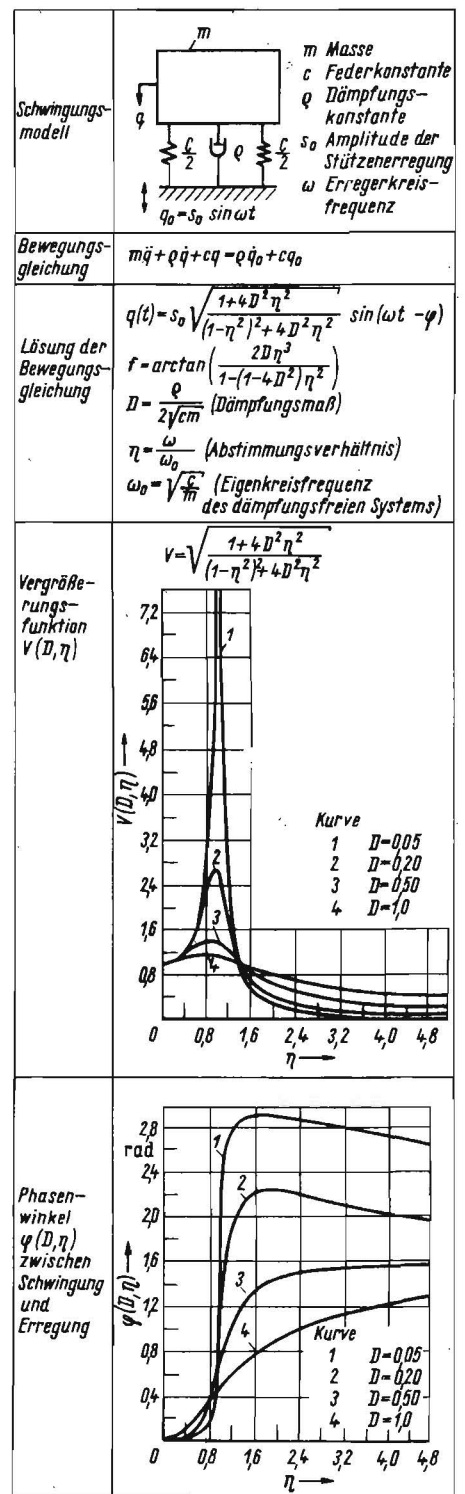


Bild 5. Schwingungstheoretische Grundlagen zum konstruktiven Gestalten der Meßgrößenaufnehmer [9]

Kompensationsaufnehmers nicht mit der Eigenkreisfrequenz  $\omega_{01}$  des Werkzeugaufnehmers übereinstimmt (oder wenn die Dämpfung des Werkzeugaufnehmers beim Bodeneingriff zunimmt), aufgrund unterschiedlicher Phasenverschiebungen beider Aufnehmer eine Phasendifferenz der trägheitsbedingten Signale auftreten. Auf beiden Aufnehmern sind DMS appliziert, die so in einer Brückenschaltung angeordnet sind, daß eine Differenzbildung beider Signale erfolgt. Für eine exakte Kompensation des Störsignals müssen die Übertragungsfaktoren beider Meßfühler übereinstimmen. Bei einer Momentmessung  $M_y$  an beiden Aufnehmern beträgt der Übertragungs-

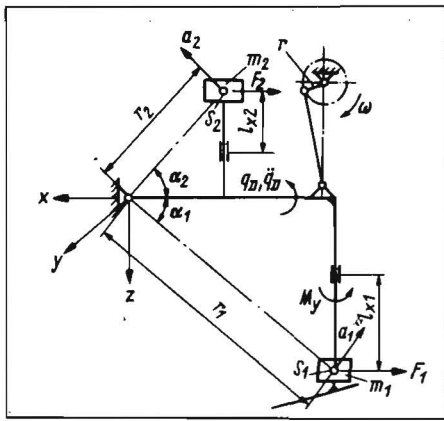


Bild 6. Grundlagen zur Bestimmung des Übertragungsfaktors  $K_p$  bezüglich Massenkräfte für die Messung des Moments  $M_y$ :  $m_1$  Masse des Werkzeugs und Kompensationsaufnehmers bezüglich der Meßstelle.  $S_i$  Schwerpunkt dieser Masse.  $l_{xi}$  Entfernung in z-Richtung zwischen Schwerpunkt  $S_i$  und Meßstelle.  $a_i$  Beschleunigung im Schwerpunkt  $S_i$ ,  $\alpha_i$  die Schwingungsrichtung im Schwerpunkt  $S_i$ , symbolisierender Winkel.  $q_D$  Drehwinkel.  $\dot{q}_D$  Drehwinkelbeschleunigung.  $r_i$  Entfernung zwischen Drehpunkt und Schwerpunkt  $S_i$ ,  $E$  Elastizitätsmodul.  $W_{bi}$  Widerstandsmoment an den Meßstellen,  $k$  Empfindlichkeit der DMS.  $F_1$  Kraft beim Kalibrieren

faktor  $K_p$  bezüglich Massenkräfte, wenn die DMS in je einer Halbbrücke angeordnet sind (Bild 6):

$$K_p = \frac{U}{\dot{q}_D} = \frac{F_1}{\dot{q}_D} \cdot \frac{U}{F_1} = m_1 r_i \sin \alpha_i \frac{U_0 k l_{vi}}{2 W_{bi} E}$$

für  $i = 1$  oder  $i = 2$ .

Der Übertragungsfaktor hängt also vorwiegend von den konstruktiven Parametern ab, z. B. von der Masse des Werkzeugs  $m_1$  und der Masse des Kompensationsaufnehmers  $m_2$ , von dem geometrischen Ort der Massenschwerpunkte, an-

gegeben durch die Winkel  $\alpha_1$  und  $\alpha_2$ , die vom Festpunkt ausgehenden Radien  $r_1$  und  $r_2$  und die Entfernungen  $l_{x1}$  und  $l_{x2}$  sowie von dem Kraftübertragungsfaktor  $U/F_1$  bzw. von den Widerstandsmomenten  $W_{b1}$  und  $W_{b2}$  der Dehnungsmeßstellen.

Eine mechanische Anpassung des Übertragungsfaktors des Kompensationsaufnehmers ist am einfachsten durch Verschieben oder Ändern der Zusatzmasse zu realisieren. Da dies aber nur bei Stillstand des Schwingantriebs möglich ist, ist der Erfolg des Abgleichs erst bei erneuter Inbetriebsetzung des Antriebs erkennbar. Die mechanische Verstellung ist deshalb nur für einen Grobgleich geeignet.

Eine andere Abgleichmöglichkeit besteht darin, den Übertragungsfaktor des Kompensationsaufnehmers elektrisch zu verkleinern. Dazu sind in zwei benachbarten Brücken zweigen Abgleichwiderstände anzubringen (Bild 7). Bei eingeschaltetem Schwingantrieb werden die Abgleichwiderstände gleichsinnig derart eingestellt, daß am Brückenausgang oder an einem nachgeschalteten Oszilloskop der durch Massenkräfte hervorgerufene Wechselanteil des Signals verschwindet. Als Abgleichwiderstände eignen sich Wendelpotentiometer in Tandemanordnung. Der Widerstand der Wendelpotentiometer sollte dabei nicht wesentlich größer als für den Abgleich erforderlich sein, da Stufigkeit und Gleichlauffehler der Widerstände beim Abgleich des Meßsignals eine Veränderung des (statischen) Brückennullabgleichs bewirken. Erfordert der Massenabgleich größere Widerstände, ist es besser, in Reihe mit den Abgleichwiderständen Festwiderstände anzubringen.

Die Abgleichwiderstände sollten in Reihe mit den auf dem Kompensationsaufnehmer angeordneten DMS geschaltet werden (s. Bild 7). Durch diese Anordnung ändert sich der Übertragungsfaktor des Aufnehmers zur Messung der Bodenreaktion nicht, so daß nach dem Abgleich keine erneute Kalibrierung erforderlich ist. Außerdem ist es leichter, dem Kompensationsaufnehmer bei kleinen geometrischen Abmessungen und relativ hoher Eigenfrequenz einen bezüglich Massenkräfte etwas größeren Übertragungsfaktor zu verleihen als

dem Werkzeugaufnehmer. Der größere Übertragungsfaktor wird durch den Abgleich der Widerstände auf den erforderlichen Wert verringert. Das Verhältnis von Abgleichwiderstand  $R_A$  und Widerstand  $R_0$  eines DMS muß

$$\frac{R_A}{R_0} = \frac{K_{p2}}{K_{p1}} - 1;$$

$K_{p1}$  Übertragungsfaktor des Werkzeugaufnehmers

$K_{p2}$  Übertragungsfaktor des Kompensationsaufnehmers

betragen, um den Abgleich herbeizuführen. Wie bereits bei der Problematik der Phasengleichheit beider Signale angedeutet wurde, ist die hohe Abstimmung der als zwei Einmassenschwinger aufzufassenden Aufnehmer, die durch eine harmonische Bewegung der Unterlage (Werkzeugrahmen) erregt werden, Bedingung für eine vollständige Signalkompensation. Unterschiedliche Arbeitsfrequenzen  $\omega$  haben daher keinen Einfluß auf die beiden Übertragungsfaktoren und den Abgleich.

#### 4. Signaltheoretische Betrachtung

Der Werkzeugaufnehmer bzw. der Kompensationsaufnehmer haben meistens unterschiedliche Eigenfrequenzen. Bei einem Werkzeugaufnehmer mit der Eigenkreisfrequenz  $\omega_{01}$  und der harmonischen Signalamplitude  $A_1$  sowie bei einem Kompensationsaufnehmer mit der Eigenfrequenz  $\omega_{02}$  und der harmonischen Signalamplitude  $A_2$  beträgt das als Schwebung bekannte Summensignal infolge Eigenschwingungen beider Aufnehmer [10]:

$$x_s(t) = 2 A_1 \sin \left( \frac{\omega_{01} + \omega_{02}}{2} t \right) \cos \left( \frac{\omega_{01} - \omega_{02}}{2} t \right) + (A_2 - A_1) \sin \omega_{02} t.$$

Dieses im Signalverlauf der Bodenreaktion des frei schwingenden Werkzeugs zu beobachtende Störsignal mit der Kreisfrequenz  $(\omega_{01} + \omega_{02})/2$  kann durch ein Tiefpaßfilter unterdrückt werden. Die Grenzfrequenz  $f_g$  des Tiefpaßfilters sollte, da die Amplituden beider Schwingungen unterschiedlich sein können, der kleineren der beiden Eigenkreisfrequenzen angepaßt sein.

Bild 7. Elektrischer Abgleich des Störsignals für das Meßsignal  $F_x$ ;  $R_A$  Abgleichwiderstand

Anordnung der DMS	Variante	Schaltung	Abgleichbedingung	Meßempfindlichkeit
	1. Anordnung von $R_A$ in der passiven Halbbrücke		$R_A = R_0 \frac{(\epsilon_1 \epsilon_2 - \epsilon_4)}{\epsilon_1 - \epsilon_4}$	$\frac{U}{F_x} = \frac{U_0 k l_0}{4 E W_b}$
	2. Anordnung von $R_A$ in der aktiven Halbbrücke		$R_A = R_0 \frac{[(\epsilon_1 \epsilon_2) - 2\epsilon_1]}{\epsilon_1}$	$\frac{U}{F_x} = \frac{U_0 k l_0}{(4 + 2 \frac{R_A}{R_0}) E W_b}$

Voraussetzung:  
 - Dehnungen:  $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3, \epsilon_4, \epsilon_1, \epsilon_2$   
 - Empfindlichkeit der DMS:  $k = \text{konst.}$   
 - Widerstand der DMS:  $R_0 = \text{konst.}$

#### 5. Eigene Untersuchungen

Bei der Versuchsdurchführung zu Problemen der Bodenbearbeitung mit grubberförmigen Werkzeugen wurden die Komponenten  $F_x(t)$ ,  $F_z(t)$  und  $M_y(t)$  am erzwungen schwingenden Werkzeug mit der Anordnung der Ausgleichwiderstände  $R_A$  in der passiven Halbbrücke untersucht (Bilder 1 und 7, Variante 1). Zum einfachen Abgleich der drei Brückenschaltungen waren diese Widerstände als Tandemabgleichwiderstände ausgebildet. Der maximale Ausgleichwiderstand betrug  $R_A = 250 \Omega$ , und es wurden Halbleiterdehnungsmeßstreifen WDH 101 ( $R_0 = 120 \Omega$ ) verwendet. Das Schwebesignal wurde mit einem Tiefpaß ( $f_g = 100 \text{ Hz}$ ) herausgesiebt. Die Frequenz des Schwingantriebs betrug  $f = \omega/2\pi = 18 \text{ Hz}$ . Mit der gezeigten Meßanordnung konnte die Signalkompensation nach jedem Werkzeugwechsel problemlos durchgeführt werden.

#### 6. Zusammenfassung

Zusammengefaßt folgt, daß die durch Massenträgheit des Meßobjekts hervorgerufenen Anteile im Signalverlauf bei der Messung der Bodenreaktion durch DMS-Aufnehmer vollständig eliminiert werden können. Die Ab-

messungen des Kompensationsaufnehmers müssen zum Erzielen des Abstimmungsverhältnisses  $\eta \rightarrow 0$  den Parametern des Aufnehmers für die Bodenreaktion angepaßt werden. Zum einfachen Abgleich empfiehlt sich der Einsatz von Tandemabgleichwiderständen, die mit den auf dem Kompensationsaufnehmer angeordneten DMS in Reihe zu schalten sind. Diese Störsignalkompensation ist beim Untersuchen schwingender schar-, zinken- oder klingenförmiger und auf verschiedene Schwingungssysteme zurückführbare Werkzeuge mit sehr steifem Werkzeugrahmen anwendbar.

#### Literatur

- 1) Seidel, B.: Bodenbearbeitung mit keilförmigen, schwingenden Lockerungswerkzeugen. In: Vorträge anläßlich eines Symposiums des Wissenschaftsbereichs Mechanisierung der Pflanzenproduktion zur Mechanisierung der Landwirt-

schaft aus Anlaß des 75. Geburtstages von Heinrich Heyde. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg (1978) S. 22—40.

- [2] König, G.; Seidel, B.; Rudolph, W.: Beitrag zur Untersuchung von grubberartigen Bodenbearbeitungswerkzeugen. agrartechnik 29 (1979) H. 11, S. 492—494.  
 [3] Holzweißig, F.: Einführung in die Messung mechanischer Schwingungen. Leipzig: VEB Fachbuchverlag 1963.  
 [4] Plötner, K.: Untersuchungen über den Bodewiderstand und Bodenaufbruch beim Einsatz von Lockerungswerkzeugen. Technische Universität Dresden, Dissertation 1970 (unveröffentlicht).  
 [5] Bernhardt, G.: Untersuchungen über das mechanische Verhalten des Bodens unter Einwirkung eines um eine horizontale Achse rotierenden Werkzeuges. Technische Universität Dresden, Dissertation 1972 (unveröffentlicht).  
 [6] Troppens, D.: Grundlagen der Meßtechnik bei Landmaschinenuntersuchungen. Dt. Agrartechnik 20 (1970) H. 5, S. 223—226; H. 6, S. 291—293;

H. 7, S. 338—341; H. 8, S. 382—384.

- [7] Seidel, B.: Untersuchungen an einem schwingenden Bodenbearbeitungswerkzeug. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Forschungsbericht 1974 (unveröffentlicht).  
 [8] Seidel, B.: Untersuchungen zur Nutzung und Vermeidung von Schwingungen bei der Bodenbearbeitung. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Forschungsbericht 1978 (unveröffentlicht).  
 [9] Weigand, A.: Einführung in die Berechnung mechanischer Schwingungen, Bd. 1. Leipzig: VEB Fachbuchverlag 1965.  
 [10] Lange, F. H.: Signale und Systeme. Bd. 1. Berlin: VEB Verlag Technik 1965. A 2610

## Telemetrische Meßwertübertragung an Siebketten

Ing. G. Siering, Forschungszentrum für Mechanisierung der Landwirtschaft Schlieben/Bornim der AdL der DDR

### 1. Zielstellung

Vielfach taucht in der Praxis der landwirtschaftlichen Mechanisierungsforschung das Problem auf, Meßwerte physikalischer Größen, wie Drehmoment, Weg, Druck, Torsion, Drehzahl usw., von bewegten Teilen einer stationären Registriereinrichtung zuzuführen. In vielen Fällen führt die Verwendung von Schleifringübertragern zum Ziel. Wo das nicht möglich ist, müssen andere Methoden der Meßwertübertragung gewählt werden.

Eine Aufgabe bestand darin, Beschleunigungsmessungen an Siebketten vorzunehmen, die letztlich zur konstruktiven Verbesserung der Erntemaschinen hinsichtlich erhöhter Absiebleistung bei geringeren Beschädigungsraten führen sollen.

Da hier eine telemetrische Übertragung der Meßwerte die Versuchsdurchführung wesentlich vereinfacht, wurde das Problem der Beschleunigungsmessungen an Siebketten zum Anlaß genommen, eine Nahfeldtelemetrieanlage zu entwickeln, die den hier speziell herrschenden Bedingungen gerecht wird, die aber auch in allen ähnlich gelagerten Fällen eingesetzt werden kann.

### 2. Grundkonzeption der Meßwertübertragung

Die Anlage basiert im wesentlichen auf den im Rahmen eines Vertrags über wissenschaftlich-technische Zusammenarbeit vom Institut für Elektronik der AdW der DDR zur Verfügung gestellten Unterlagen [1, 2, 3, 4]. Es handelt sich um eine induktive telemetrische Übertragungseinrichtung für analoge Meßwerte, bestehend aus Sender und Empfänger (Bild 1). Der Empfänger [4] wurde ohne wesentliche Änderungen übernommen und soll hier nicht behandelt werden.

Die Entwicklungsarbeiten konzentrierten sich vorrangig auf die Senderseite. Das von einem Verstärker entsprechend aufbereitete Gebersignal verändert hier an einem nachfolgenden spannungsgesteuerten Oszillator (im folgenden VCO genannt) die Frequenz, so daß sich Änderungen der Geberspannung als Frequenzänderungen auswirken. Eine Verstärkerstufe speist die Sendespule. Das von ihr erzeugte

magnetische Wechselfeld induziert in der Empfangsschleife eine Spannung, die über einen Anpassungstransformator zum Empfängereingang gelangt. Der Ausgang dieses Empfängers liefert eine dem Eingangssignal des Senders proportionale Spannung, die einer Registriereinrichtung zugeführt wird.

### 3. Aufbau und Eigenschaften des Senders

Der Sender besteht aus fünf Baugruppen unterschiedlicher Länge mit den Querschnittsmaßen 16,5 mm × 25 mm. Für den Anwendungsfall an einer Siebkette werden sie durch Steckverbindungen direkt zu einem Stab von 230 mm Länge zusammengeschaltet und mit Hilfe einer U-Schiene fixiert. Das Baugruppensystem gestattet aber auch andere Formen der Montage über entsprechende Zwischenstecker sowie die räumlich getrennte Anordnung verschiedener Baugruppen.

Die Bauelemente der Baugruppen sind (bis auf die Baugruppe Verstärker) freitragend angeordnet und in Epoxidharz EGK 19 vergossen.

Der platzsparende Aufbau der Schaltung wurde erst durch die Verwendung moderner Bauelemente möglich, wie des Operationsverstärkers A 109, des integrierten Spannungsstabilisators MAA 723 (Tesla), des Dünnschicht-Hybridschaltkreises FKE (Eigenentwicklung vom Institut für Elektronik). Eine Unterspannungsschutzschaltung setzt den Sender außer Betrieb, sobald die Batteriespannung unter den Wert der Entladeschlussspannung abgesunken ist. Damit wird bis zum Moment des Abschaltens ein sicheres Arbeiten der Telemetrieanlage mit gleichbleibenden Eigenschaften bezüglich der Betriebsspannung gewährleistet.

Die Schaltung ist für den Anschluß von einfachen Widerstandsgebern, Halb- und Vollbrückenschaltungen ausgelegt.

Die Mittenfrequenz ist durch Auswechseln einer von außen zugänglichen Kapazität in weiten Grenzen wählbar, was für die Weiterentwicklung zur Mehrkanaltelemetrie von Bedeutung ist.

Die Mittenfrequenz ist durch Auswechseln einer von außen zugänglichen Kapazität in weiten Grenzen wählbar, was für die Weiterentwicklung zur Mehrkanaltelemetrie von Bedeutung ist.

### 4. Technische Kennwerte des Senders

Der Sender hat folgende technische Kennwerte:

Batteriespannung $U_E$	13,2 bis 25 V
Abschaltspannung $U_{AB}$	13,2 V
Stromaufnahme I	10,5 mA
Betriebsspannung $U_B$	10,73 V
Änderung der Betriebsspannung bei $U_E = 13,2 \dots 25$ V	0,1 %
Änderung der Betriebsspannung bei $t = 0 \dots 45$ °C	0,22 %
Betriebsdauer	2,5 h
Vorversorgungsspannung der Brücke (120 $\omega$ )	0,5 V
Eingangsspannung des Differenzverstärkers	$\pm 7$ mV
Verstärkung des Differenzverstärkers	100
Ausgangsspannung des Differenzverstärkers	4,5 bis 6 V
Frequenz des VCO	70 kHz $\pm 15$ %
Spannung an der Sendespule $U_{SS}$	15 V

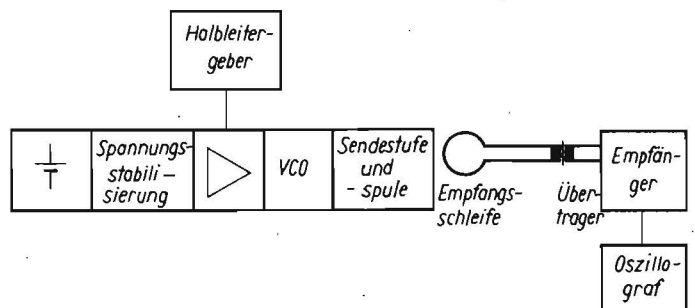


Bild 1  
Prinzip der Nahfeldtelemetrieanlage