

Über eine Möglichkeit zur Digitalisierung von Meßsignalen bei schnell ablaufenden Versuchen

Von Heinz-Jürgen Ahlgrimm, Braunschweig-Völkenrode*)

DK 634.004.12:681.3

Kraft-Dehnungs-Untersuchungen an Pflanzenhalmen müssen wegen der Variabilität des Materials an einer Vielzahl von Proben durchgeführt werden. Zur Beschleunigung des Versuchsablaufes und zur Rationalisierung der Meßwerterfassung wird eine einkanalige digitale Datenerfassungsanlage eingesetzt.

Die Meßsignale der zwei Meßgrößen, Kraft und Weg, werden während des Versuches parallel zu einem Zeittakt bei hoher Bandgeschwindigkeit auf einem Analogbandgerät aufgezeichnet und später nacheinander und wegen der begrenzten Registriergeschwindigkeit der Datenerfassungsanlage bei verringerter Bandgeschwindigkeit digitalisiert. Der mitaufgespielte Zeittakt dient zur Steuerung der Datenerfassungsanlage und macht mit einem speziellen Auswertprogramm ein Wiederzuordnen der einander entsprechenden Meßwerte möglich.

1. Einleitung

Die Digitalisierung von Meßwerten bei Versuchsabläufen findet in der Praxis immer mehr Eingang. Sie hat den großen Vorteil, daß die Daten ohne weitere Aufbereitung einer EDV-Anlage über einen Datenträger (Magnetband, Magnetplatte, Lochkarte, Lochstreifen usw.) "off-line" oder direkt im "on-line"-Betrieb zur Auswertung übergeben werden können. Meßwerterfassung und -auswertung lassen sich auf diese Weise hinsichtlich Auswertearbeit und -zeit (Personaleinsparung) rationalisieren. Durch eine möglichst weitgehende Automatisierung dieses Verfahrens bleibt die Registrierung und Auswertung von Meßwerten frei von subjektiven Fehlern.

Den Vorteilen steht aber auch eine Reihe von Nachteilen gegenüber: Beim "off-line"-Betrieb läßt sich immer erst nach der Bearbeitung der Meßwerte durch den Rechner ein Aufschluß über den qualitativen Verlauf eines Versuches gewinnen, sofern nicht bei der Versuchsdurchführung parallel zur digitalen Meßwertregistrierung Analogschriebe erstellt werden. Damit erhält der Versuchsansteller erst nach u. U. größeren Wartezeiten Kenntnis über den Ablauf seiner Versuche. Aus diesem Grund ist bei Versuchen, bei denen der Verlauf nicht vorherzusehen ist und bei denen lediglich der qualitative Ablauf interessiert, die Aufzeichnung von Analogschrieben vorzuziehen.

Beim "on-line"-Betrieb stehen dem Versuchsansteller die Meßergebnisse wegen der hohen Bearbeitungsgeschwindigkeit praktisch sofort zur Verfügung, doch setzt diese Betriebsart eine ständige Bereitschaft des Rechners während der Versuchszeit voraus (z. B. Prozeßrechner), die nur in wenigen Fällen gegeben sein wird. Auch läßt sich der Einsatz einer digitalen Datenerfassungsanlage wegen der relativ hohen Investitionskosten und dem z. T. erheblichen Programmieraufwand für eine fachgerechte Weiterverarbeitung und Auswertung erst beim Anfall großer Datenmengen rechtfertigen.

Bei der Verwendung nur eines digitalen Datenkanals zur Registrierung mehrerer parallel zu erfassender Meßsignale, wie das bei einfachen Datenerfassungsanlagen häufig der Fall ist, werden die einzelnen Meßstellen zeitlich nacheinander abgefragt. Damit ist eine exakte zeitliche Zuordnung von Meßwerten nicht gegeben. Diese Zuordnung muß dann später bei der Auswertung der Meßwerte durch das Programm erfolgen, etwa so, wie das weiter unten an einem Beispiel erläutert wird.

*) Dipl.-Phys. Heinz-Jürgen Ahlgrimm ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Institut für Landmaschinenforschung (Direktor: Prof. Dr.-Ing. W. Baader) der Forschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig - Völkenrode.

Schließlich können Vorgänge so schnell ablaufen, daß eine Registrieranlage nur eine für die Rechnerauswertung unzureichende Auflösung hinsichtlich der Anzahl der Meßpunkte liefert. Im folgenden Beitrag soll für einen derartigen Fall ein geeignetes Verfahren beschrieben werden, bei dem mit Hilfe eines Analogbandgerätes die während des Versuches aufgezeichneten Meßsignale zur Umwandlung in digitale Daten zeitlich gedehnt werden.

2. Versuchsbedingungen

Im Rahmen von Festigkeitsuntersuchungen an Pflanzen sollte mit einer geeigneten Versuchsapparatur, **Bild 1**, das Kraft-Dehnungsverhalten verschiedener Halminternodien einer wohldefinierten Grasart bis zum Zugbruch untersucht werden. Hierbei sollte der Einfluß der Halmfeuchtigkeit, des physiologischen Alters im Laufe einer Vegetationsperiode und der Dehnungsgeschwindigkeit auf die maximale Bruchspannung σ_{Br} , auf die Bruchdehnung ϵ_{Br} , auf die Brucharbeit A_{Br} und auf den Elastizitätsmodul E von Grashalmen ermittelt werden.

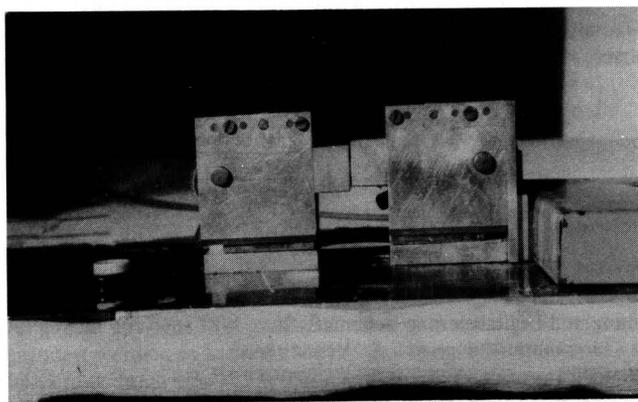


Bild 1. Zugvorrichtung.

Das jeweils zum Wochenbeginn im Versuchsfeld geschnittene Frischmaterial wurde im Laufe einer Woche in einer Klimakammer kontinuierlich getrocknet, um den Parameter Feuchtegehalt in die Untersuchungen einbeziehen zu können. Durch die wöchentliche Materialentnahme während der Wachstumsperiode war es möglich, das physiologische Alter und sich daraus ergebende Änderungen in der Zusammensetzung und Struktur des Materials zu berücksichtigen. Die Forderung, dabei jeweils die verschiedenen Halmabschnitte (Internodien) zu untersuchen, vervielfachte den Versuchsaufwand eines Tages entsprechend. Relativ große Streuungen der Meßwerte bei der Untersuchung biologischer Materialien erfordern zur ausreichenden Absicherung von Aussagen überdies hohe Versuchszahlen, so daß es sich anbot, die Versuche hinsichtlich Durchführung und Auswertung möglichst weitgehend zu rationalisieren.

Die Datenerfassung und Auswertung bei Biegeversuchen, für die ähnliche Bedingungen [1, 2] zu erfüllen waren, ließ sich durch den Einsatz einer digitalen Datenerfassungsanlage wesentlich vereinfachen. Bei den relativ langsamen Vorgängen in jenen Untersuchungen reichte die Auflösung eines Meßvorganges durch eine direkte Digitalisierung hinsichtlich der Meßpunktzahl für eine Rechnerauswertung bei vorgegebener Genauigkeit völlig aus. Bei diesen Versuchen konnten die zwei Meßgrößen (Biegekraft, Biegezug) durch eine Datenerfassungsanlage im Dauerzyklus je nach Signalgröße zwischen 6 und 7 mal je Sekunde abgefragt werden.

Die Kraft-Dehnungsversuche, wie sie nun durchgeführt werden sollten, liefen bei Dehnungsgeschwindigkeiten von $3,3 \div 7,7$ mm/s bereits in weniger als einer Sekunde ab. Bei einer direkten Digitalisierung des Signalverlaufes von zwei Meßgrößen war mit derselben Abfragegeschwindigkeit der Anlage die Auflösung in jeweils $4 \div 6$ Einzelwerte in einem Versuch für eine Rechnerauswertung viel zu gering.

Eine höhere Auflösung des Versuchs in Einzelmeßwerte konnte nur erreicht werden, indem mit Hilfe eines Analogbandgerätes der Vorgang für die Digitalisierung zeitgedehnt wurde. Wegen der großen Zahl der Versuche war es ferner notwendig, die Versuchsdurchführung für ein zügiges und fehlerloses Arbeiten bei der Aufzeichnung und Digitalisierung der Meßsignale soweit wie möglich zu automatisieren. Deshalb wurden sowohl für die Aufnahme der Analsignale als auch für die Meßwertdigitalisierung geeignete elektronische Steuereinheiten entwickelt, deren Wirkung und Funktion an entsprechender Stelle besprochen werden.

3. Datenerfassungsanlage und Analogbandgerät

Die für die Untersuchungen eingesetzte digitale Datenerfassungsanlage besteht aus verschiedenen Geräten des Systems ANDI-MAT 3. **Bild 2** zeigt links neben dem Versuchsgerätetisch und der Meßverstärkergruppe den Schrank mit den Geräten der Datenerfassungsanlage, die in 19"-Einschubtechnik ausgeführt sind. Es handelt sich dabei um einen Meßstellenumschalter MU (a), einen Analog-Digital-Umsetzer ADU (nach dem Integrationsprinzip mit 2 verschiedenen Integrationszeiten arbeitend) (b), einen Ausgabekoppler AST (c), einen Lochstreifenstanzer (d), einen Einschub für Adressenschalter und Zykluszähler (e), die Belüftungseinrichtung (f) und den Potentiometereinschub zur Meßsignalanpassung (g).

Durch die Möglichkeit, alle für die System- und Datensteuerung wichtigen Funktionen des Systems in den einzelnen Geräten auf Steckkarten programmieren zu können, ist die Anlage verschiedenen Versuchsbedingungen sehr leicht anzupassen. Sämtliche Steuerleitungen der Einzelgeräte sind bis an die Gerätebuchsen herausgeführt, so daß z. B. eine Fernauslösung der Geräte sowie der gesamten Anlage möglich ist bzw. der Betrieb der Anlage automatisiert werden kann. Soll eine Funktion ausgelöst werden, so ist die betreffende Steuerleitung an Masse zu legen.

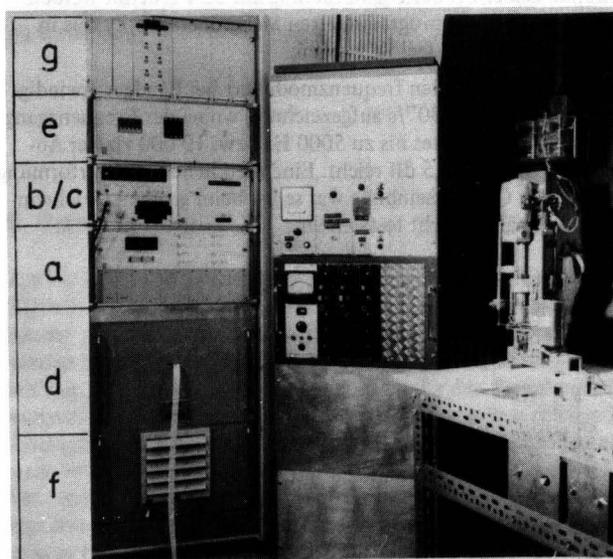


Bild 2. Meßschrank — Datenerfassungsanlage.

- | | | | |
|---|--|---|---|
| a | Meßstellenumschalter MU | d | Lochstreifenstanzer |
| b | Analog-Digital-Umsetzer (nach dem Integrationsprinzip mit zwei verschiedenen Integrationszeiten arbeitend) | e | Einschub für Adressenschalter und Zykluszähler. |
| c | Ausgabekoppler AST | f | Belüftungseinrichtung |
| | | g | Potentiometereinschub zur Meßsignalanpassung |

Die Meßgeschwindigkeit der Anlage wird in erster Linie durch die Stanzgeschwindigkeit des Streifenlochers (150 Zeichen/s) und durch die Meßzeit des Analog-Digital-Umsetzers (ADU) bestimmt, wobei letztere wie folgt formuliert werden kann.

$$\tau_M = a + b \cdot U.$$

Darin stellt a eine Zeitspanne dar, die sich nach Bild 3 aus den konstanten Zeitintervallen, Integrationszeit, Dachzeit und Wartezeit additiv ergibt, während die Entladezeit proportional mit der Meßsignalspannung U wächst. Die Größen a und b lassen sich aus den technischen Daten des ADU ermitteln. Wird die längere Integrationszeit des ADU von 20 ms gewählt, so werden Netzspannungseinstreuungen auf Meßgeber und -leitungen ausintegriert. Je nach der Größe des Signals (U) sind zwischen 14 und 22 Messungen/s möglich, wenn nach Ablauf eines Abfragezyklus für alle programmierten Meßstellen automatisch durch die Anlage jeweils wieder ein neuer Zyklus gestartet wird (Dauerzyklusbetrieb). Im Einzelzyklusbetrieb muß dagegen der Benutzer durch Tastendruck oder durch ein externes Steuersignal nach Ablauf eines Abfragezyklus jeweils wieder einen neuen starten; hiermit sind nur bis zu 10 Messungen/s möglich. Diese Betriebsart bietet jedoch den Vorteil, daß die Anlage ähnlich wie in [3] durch äquidistante Taktimpulse gesteuert werden kann. Deren Frequenz, die innerhalb gewisser Grenzen frei gewählt werden kann, legt die Auflösung eines Meßvorganges durch die Registrieranlage in eine bestimmte Anzahl von Einzelmesswerten fest. Der Einzelzyklusbetrieb wurde daher auch zur Digitalisierung der Meßsignale der Kraft-Dehnungsuntersuchungen angewendet, womit bei zwei programmierten Meßgrößen pro Zyklus (Kraft F und Weg s) eine Registriergeschwindigkeit von 5 Zyklen/s möglich war.

Das Taktsignal von sinus- bzw. rechteckförmigem Charakter wurde während der Aufzeichnung der Meßsignale bei der Versuchsdurchführung auf eine freie Spur des Analogbandes aufgespielt. Durch die Verringerung der Bandgeschwindigkeit zur zeitlichen Dehnung der Versuchsabläufe bei der Digitalisierung wird auch die Taktfrequenz entsprechend verkleinert. Diese ist bei der Aufnahme während der Versuchsdurchführung geeignet zu wählen.

Das verwendete siebenspurige Analogbandgerät erlaubt Bandgeschwindigkeiten von 15/16, 3 3/4, 15 und 30"/s; daraus ergibt sich ein maximales Geschwindigkeitsverhältnis $v_T = 32$. Wird dieses größte Verhältnis ausgenutzt, so kann ein Vorgang von einer Sekunde Dauer bei der Digitalisierung auf 32 s gedehnt werden und damit bei zwei programmierten Meßgrößen pro Zyklus in 160 Einzelzyklen aufgelöst werden.

Die Meßsignale wurden frequenzmoduliert bei Bandgeschwindigkeiten von 15 bzw. 30"/s aufgezeichnet, wobei der Frequenzgang des Analogbandgerätes bis zu 5000 Hz bzw. 10 000 Hz bei Abweichungen von $\pm 0,5$ dB reicht. Eine merkliche Signalverformung oder andere Qualitätseinbuße war selbst beim größten Geschwindigkeitsverhältnis nicht feststellbar.

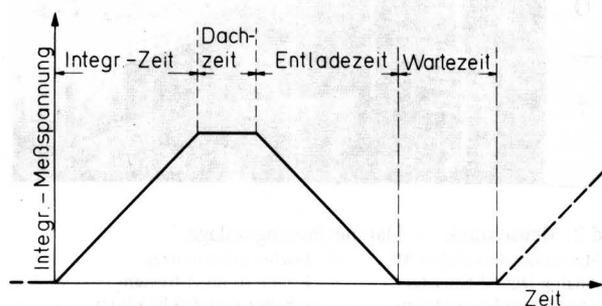


Bild 3. Definition der Meßzeit des ADU.

4. Versuchsdurchführung

Bild 4 zeigt schematisch das Versuchsgerät und den Datenfluß während der Aufzeichnung der Signale beim Versuch sowie während der Digitalisierung durch das Datenerfassungssystem.

Zugkraft und Dehnungsweg werden mit Hilfe konventioneller Methoden durch Biegestab mit DMS in Vollbrückenschaltung und induktivem Weggeber erfaßt, deren Signale durch Trägerfrequenzverstärker verstärkt werden.

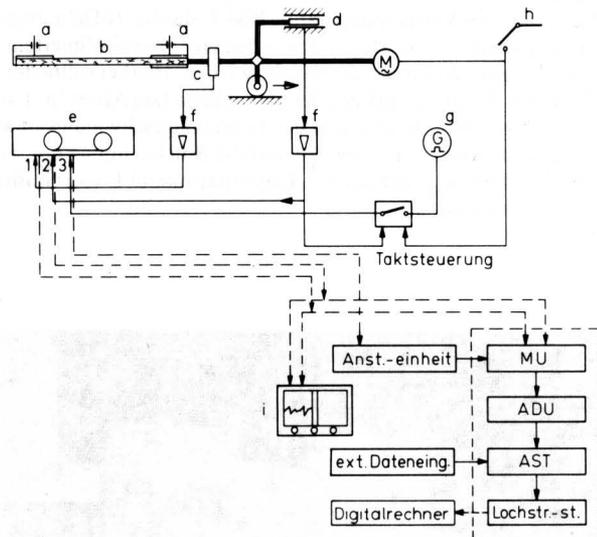


Bild 4. Versuchsgerät und Datenfluß während der Signalaufzeichnung und Digitalisierung, schematisch.

- | | |
|-------------------------|--|
| a Einspannvorrichtungen | f Meßverstärker |
| b Halm | g Frequenzgenerator |
| c Kraftgeber | h Antriebsschalter für Versuchsvorrichtung |
| d Weggeber | i XY-Schreiber |
| e Analogbandgerät | |

Vor Versuchsbeginn muß der durch die Schwungmassen verzögerte Anlauf des Analogbandgerätes (etwa 6 s bei 15"/s, etwa 8 s bei 30"/s) auf die Nenndrehzahl abgewartet werden. Danach wird bei Betätigung des Antriebsschalters h der Versuchsvorrichtung der Dehnungsvorgang eingeleitet; durch die gleichzeitig eingeschaltete Stromversorgung der Taktsteuereinheit gelangen die Impulse eines Frequenzgenerators auf eine freie Spur (hier Spur 3) des Analogbandes. Parallel hierzu werden die Meßsignale von Kraft und Weg über die Meßverstärker auf die ersten beiden Spuren des Analogbandes aufgespielt. Noch vor dem Ende des Meßvorganges kann das Taktsignal durch ein externes negatives Signal – z. B. versuchsbedingt – abgeschaltet werden, um nicht mehr interessierende Registrierungen durch die Datenerfassungsanlage zu vermeiden. Im vorliegenden Fall geschah dies durch das Wegsignal U_s entsprechend einem Weg s_{Gr} bei dem mit Sicherheit der Halmbruch erfolgt war.

In Bild 5 ist die relativ einfache Schaltung dieser Taktsteuereinheit dargestellt: Über einen hochohmigen Spannungsteiler erhält die Basis des Transistors BC 108 nach dem Einschalten der Netzversorgung durch den Antriebsschalter h der Versuchsvorrichtung eine positive Vorspannung, so daß der Transistor durchgesteuert und der Relaiskontakt für den Steuertakt vom Frequenzgenerator geschlossen wird. Die Ansprechschwelle für die Wiederabschaltung des Taktes läßt sich mit Hilfe des Potentiometers einstellen. Durch das hohe Teilungsverhältnis zwischen Basisvorwiderstand und Potentiometer und durch den niedrigen Ausgangswiderstand des Trägerfrequenzverstärkers bleibt der Einfluß der Versorgungsspannung auf das Meßsignal "Weg" vernachlässigbar gering.

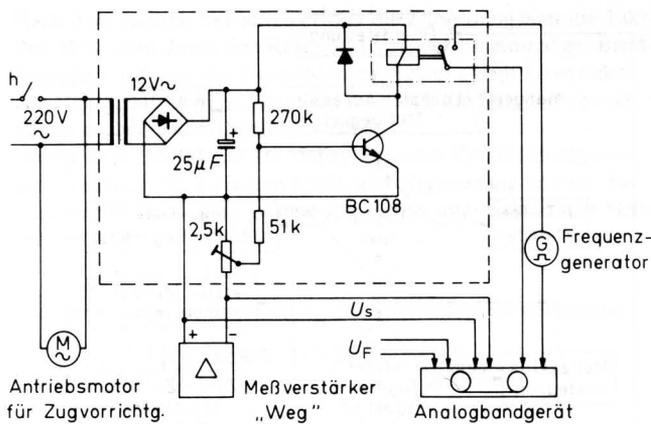


Bild 5. Einheit zur Taktsteuerung.

Der Informationsgehalt der drei Analogbandspuren nach der Aufnahme wird schematisch durch Bild 6 wiedergegeben. Für die Wahl der Taktfrequenz ist die Meßgeschwindigkeit n_a der Digitalisierungsanlage, die Anzahl der abzufragenden Meßgrößen in einem Zyklus m_M und das gewünschte Geschwindigkeitsverhältnis v_T zwischen Aufnahme und Wiedergabe maßgebend. Die maximale Taktfrequenz f_T errechnet sich demnach aus

$$f_T = \frac{n_a}{m_M} \cdot v_T$$

Es darf dabei für n_a der Wert von 10 Messungen/s nicht überschritten werden, damit die Datenerfassungsanlage bei der Digitalisierung nicht aus dem Takt gerät. Soll die Taktfrequenz nachträglich geändert werden, so kann die Variation während der Meßwertdigitalisierung durch eine kleine Zusatzelektronik und einen Frequenzgenerator zwischen dem Taktausgang des Analogbandgerätes und der Ansteuereinheit der Datenerfassungsanlage erfolgen. Bild 7 zeigt das Schaltbild dieser Einheit in Verbindung mit den übrigen Geräten, die für Taktfrequenzen ≥ 2 Hz und Spannungen am Takteingang von $\geq 0,5$ V geeignet ist.

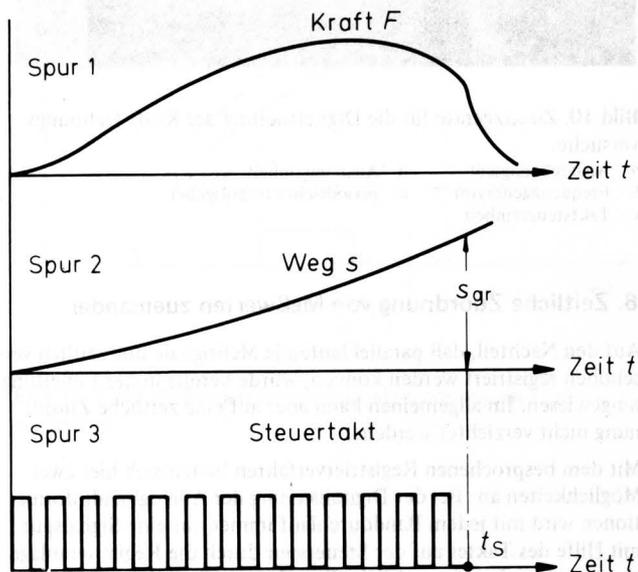


Bild 6. Informationsgehalt der drei Analogbandspuren nach der Aufnahme.

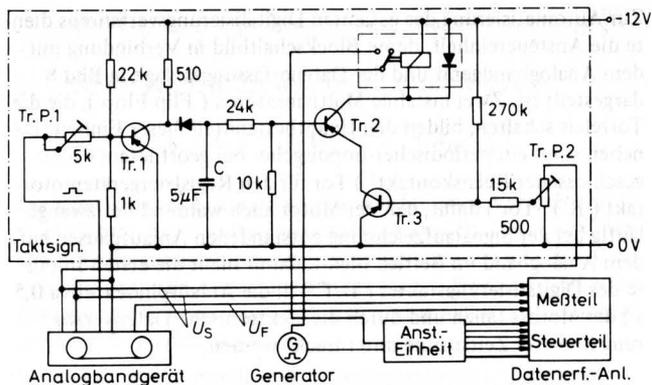


Bild 7. Einheit zur Takttransformation während der Digitalisierung.

Mit den ersten und allen weiteren positiven Rechteckimpulsen des Taktsignals wird der Transistor Tr. 1 gesperrt und der Kondensator C negativ aufgeladen. Die Diode verhindert eine Entladung des Kondensators über die Kollektor-Emitterstrecke von Tr. 1. Durch die negative Ladung von C wird der Transistor Tr. 2 leitend; Tr. 3 befindet sich durch die negative Basisvorspannung im leitenden Zustand. Über den nunmehr geschlossenen Relaiskontakt gelangt die veränderte Steuerfrequenz des Generators über die Ansteuereinheit in die Datenerfassungsanlage. Mit einer durch die Entladezeit des Kondensators bedingten Verzögerungszeit von ca. 700 ms wird nach Abklingen des Originaltaktes auch der neue Steuertakt abgeschaltet. Zum vorzeitigen Abschalten des neuen Taktes wird dem Transistor Tr. 3 an seiner Basis eine positive Spannung von mindestens 0,5 V zugeführt, die wie in Bild 7 der Wegspur des Analogbandes entnommen wird. Höhere Spannungen können mit dem Potentiometer Tr. P. 2 abgeschwächt werden. Damit ist es möglich, den Abschaltzeitpunkt der neuen Steuerfrequenz auf den des Originaltaktes abzustimmen und überflüssige Registrierungen zu vermeiden.

5. Digitalisierung

Zur Rationalisierung des gesamten Arbeitsablaufes erfolgte eine Digitalisierung immer erst, nachdem sämtliche Spuren der Analogbänder vollständig die Meß- und Taktinformationen auf der gesamten Bandlänge enthielten bzw. eine Versuchsreihe abgeschlossen war. Bild 4 zeigt durch die Strichlinierung den Signalverlauf während der Digitalisierung, wobei gleichzeitig, sofern gewünscht, Analog-Schriebe von Kraft und Weg auf einem X Y-Schreiber erstellt werden konnten.

Ein Steuertakt vom Analogband veranlaßt die Datenerfassungsanlage jeweils zur Digitalisierung der Meßwerte eines Zyklus, wie in diesem Fall des Kraft- und Wegsignals. Damit ist nicht nur ein automatischer Digitalisierungsbetrieb für einen Versuch, sondern für alle weiteren Vorgänge, die auf dem Analogband aufgezeichnet wurden, bei kontinuierlichem Bandlauf möglich. In den Meßpausen, die durch den Vorlauf des Analogbandes (siehe Abschnitt 4) zu Beginn einer jeden Messung entstanden waren, wurde bei Bedarf das Schreiberpapier gewechselt und die neue Versuchskennziffer (Adresse) über die externe Dateneingabe dem Lochstreifen eingegeben.

Zur Automatisierung des gesamten Digitalisierungsverfahrens dient die Ansteuereinheit, deren Blockschaltbild in Verbindung mit dem Analogbandgerät und der Datenerfassungsanlage in **Bild 8** dargestellt ist. Zwei bistabile Multivibratoren (Flip-Flop), die die Torrelais schalten, bilden den Hauptbestandteil dieser Einheit. Daneben sorgt ein periodischer Impulsgeber bei geöffnetem (hier: geschlossener Relaiskontakt!) Tor für den Registriergerätemotortakt (R.T.-Tor) dafür, daß der Motor auch während der zwangsläufig bei der Signalaufzeichnung entstandenen Anlaufpausen auf dem Analogband im Betrieb bleibt, damit nicht die ersten Impulse des Digitalisierungstaktes (D.T.) in die Anlaufphase (etwa 0,5 s) des Motors fallen und durch die elektronische Datenverzögerung in dieser Zeitspanne unterdrückt werden.

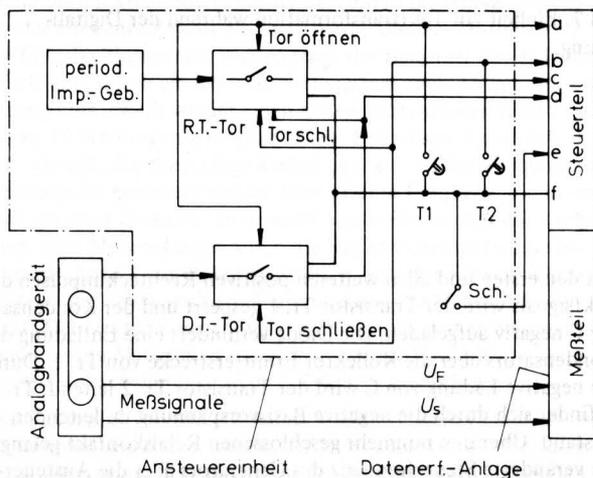


Bild 8. Blockschaltbild des Signalflusses bei der Digitalisierung mit Hilfe der Ansteuereinheit.

- | | |
|-------------------------|------------------------|
| a Lochstreifen-Adresse | d Digitalisierungstakt |
| b Zykluszählerstand | e Anlage blockiert |
| c Registriergerätemotor | f Masse |

Mit Hilfe des Flußdiagramms, **Bild 9**, läßt sich die Arbeitsweise während der Digitalisierung leichter darstellen. Zu Beginn eines Digitalisierungsvorganges befindet sich die Einheit in der Grundstellung, die sich auch durch eine nicht dargestellte Rückstelltaste herbeiführen läßt; beide Tore sind für die Taktimpulse geschlossen. Der jeweilige Betriebszustand der Einheit wird durch zwei Kontrolllampen angezeigt.

Mit der Taste T 1 ("Adresse") wird die Datenerfassungsanlage durch Ausgabe der Versuchskennziffer gestartet, beide Tore sind nunmehr für Taktimpulse geöffnet. Solange keine D.T.-Impulse auf das D.T.-Tor gelangen, wird der Registriergerätemotor durch periodische Taktimpulse des Impulsgebers in Betrieb gehalten. Beim Eintreffen des ersten Digitalisierungsimpulses vom Analogbandgerät wird das R.T.-Tor geschlossen, mit jedem Takt werden nunmehr nacheinander die Meßsignalspuren durch die Datenerfassungsanlage abgetastet. Nach dem letzten Takt wird manuell über die Taste T 2 ("Meßstop") die Grundstellung der Ansteuereinheit herbeigeführt und von der Datenerfassungsanlage der Zykluszählerstand (Speicherplatzreservierung für den Rechner) registriert. In der Grundstellung ist die Anlage für alle Steuersignale mit Hilfe des Schalters Sch bei längeren Meßpausen zu blockieren.

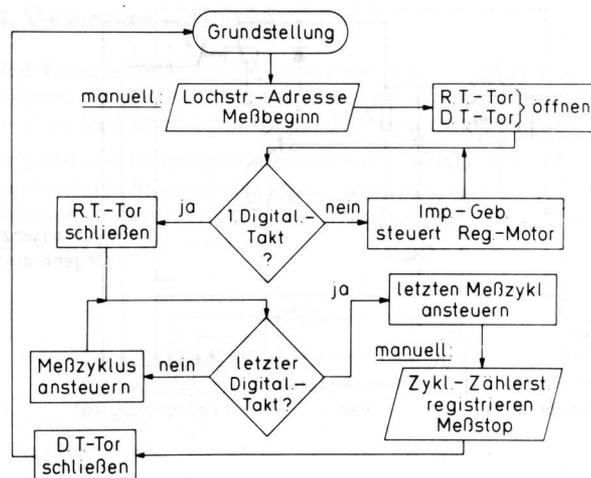


Bild 9. Flußdiagramm für die Anlagensteuerung während der Digitalisierung.

Bild 10 zeigt außer Meßverstärkerschrank und Datenerfassungsanlage (**Bild 2**), das für die Meßwertaufzeichnung und -digitalisierung notwendige Zubehör.



Bild 10. Zusatzgeräte für die Digitalisierung der Kraft-Dehnungsversuche.

- | | |
|---------------------|----------------------------|
| a Analogbandgerät | d Ansteuereinheit |
| b Frequenzgenerator | e periodischer Impulsgeber |
| c Taktsteuereinheit | |

6. Zeitliche Zuordnung von Meßwerten zueinander

Auf den Nachteil, daß parallel laufende Meßsignale nur zeitlich verschoben registriert werden können, wurde bereits in der Einleitung hingewiesen. Im allgemeinen kann aber auf eine zeitliche Zuordnung nicht verzichtet werden.

Mit dem besprochenen Registrierverfahren bieten sich hier zwei Möglichkeiten an: Bei der Digitalisierung der Analogbandinformationen wird mit jedem Banddurchlauf immer nur eine Signalspur mit Hilfe des Taktes auf der Steuerspur durch die Registrieranlage abgetastet, wobei eine zeitliche Zuordnung von mehreren parallel laufenden Meßsignalen durch den jeweiligen Beginn des Taktes gegeben ist. Mit diesem Verfahren vervielfacht sich jedoch der Zeitaufwand für die Digitalisierung entsprechend der Anzahl der auftretenden Meßsignale.

Nach dem zweiten Verfahren erfolgt die Zuordnung über die Takt- und Meßzeiten durch den Rechner. Es genügt ein einmaliger Banddurchlauf während der Digitalisierung, da mit einem Steuertakt alle Meßsignalspuren in einem Zyklus durch die Datenerfassungsanlage nacheinander abgefragt werden.

Hierzu ist in Bild 11 der i -te Meßzyklus eines Kraftdehnungsversuches dargestellt. Zwischen Kraft- und Wegmessung im i -ten Zyklus vergeht die Zeit $\tau_{F,i}$. Diese Zeitspanne setzt sich aus der Meßzeit des ADU

$$\tau_M = a + b \cdot U$$

und der konstanten Stanzzeit τ_S des Streifenlochers zusammen:

$$\tau_{F,i} = \tau_{M,i} + \tau_S = a + b \cdot U_{F,i} + \tau_S.$$

Hierin bilden a und b die früher erwähnten Konstanten des ADU und $U_{F,i}$ die der Kraft F proportionale Spannung im i -ten Zyklus. Ebenso kann die Meßzeit für den Weg $\tau_{s,i}$ ermittelt werden, wenn $U_{s,i}$ die dem Weg s analoge Meßspannung im i -ten Zyklus bedeutet:

$$\tau_{s,i} = a + b \cdot U_{s,i} + \tau_S.$$

Bis zur Messung der Kraft im k -ten Zyklus ist während der Digitalisierung die Zeit

$$t_{F,k} = v_T \cdot \sum_{i=1}^{k-1} \tau_{t,i}$$

vergangen. Da sich aber die Taktzeit τ_t aus der konstanten Taktfrequenz f_t gemäß $\tau_t = 1/f_t$ ergibt, folgt für den Zeitpunkt $t_{F,k}$:

$$t_{F,k} = v_T \cdot (k - 1) \cdot \tau_t.$$

Hierin ist v_T das Geschwindigkeitsverhältnis zwischen Aufnahme und Wiedergabe durch das Analogband. Somit gilt für den Zeitpunkt der Wegmessung im k -ten Zyklus:

$$t_{s,k} = v_T \cdot (k - 1) \cdot \tau_t + a + b \cdot U_{F,k} + \tau_S.$$

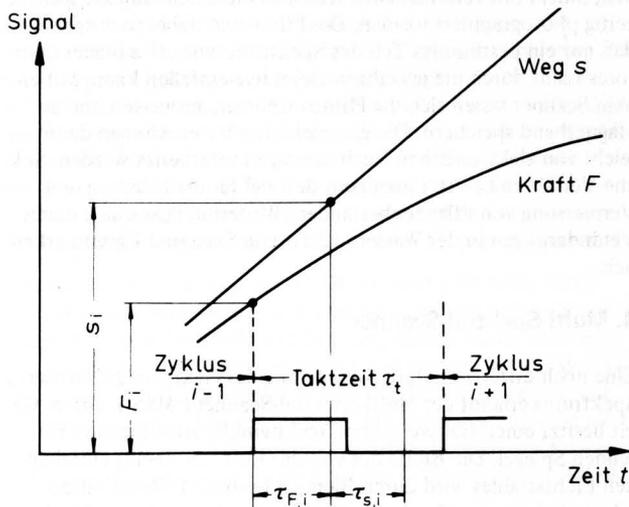


Bild 11. Zeitdefinitionen zur Meßsignalzuordnung im i -ten Meßzyklus.

Nachdem auf diese Weise jedem Weg-Meßwert ein Zeitwert zugeordnet worden ist, kann der Weg s bei der Rechnerauswertung durch ein spezielles Unterprogramm, das aus dem IBM-Hauptprogramm Polynomial Regression [4] abgeleitet wurde, in ein Polynom als Funktion der Zeit entwickelt werden:

$$s = f \left(\sum_1^m t_{s,i} \right) = a_0 + a_1 t_{s,i} + a_2 t_{s,i}^2 + \dots + a_m t_{s,i}^m.$$

So errechnet sich z. B. der Weg für den k -ten Meßzyklus:

$$s_k = a_0 + a_1 t_{s,k} + a_2 t_{s,k}^2 + \dots + a_m t_{s,k}^m.$$

Die Koeffizienten a_i des Polynoms sind für einen Versuch konstante Werte, die vom Rechner ermittelt werden. Dabei wird der Grad des Polynoms durch das Unterprogramm soweit erhöht, bis sich eine optimale Anpassung an den wahren Weg-Zeit-Verlauf ergibt. Auf diese Weise lassen sich gleichzeitig Meßwertstreuungen geringen Ausmaßes ausgleichen.

Werden nunmehr anstelle der Zeitkomponenten $t_{s,k}$ die zum Kraftmeßwert eines jeden Zyklus zugehörigen Zeitkomponenten $t_{F,k}$ eingesetzt, so kann mit Hilfe eines weiteren Unterprogrammes über den Rechner der Wegwert zum Zeitpunkt der jeweiligen Kraftmessung $t_{F,k}$ bestimmt werden:

$$s_k(t_{s,k}) \rightarrow s_k(t_{F,k}) \quad \text{für } t_{s,k} \rightarrow t_{F,k}$$

Auf gleiche Weise ist auch die Zuordnung mehrerer Meßsignale zu demselben Zeitpunkt möglich.

7. Zusammenfassung

Es wird über ein Verfahren berichtet, mit dem schnell ablaufende Versuchsabläufe digitalisiert werden können.

Hierbei wird der Versuch zunächst bei hoher Bandgeschwindigkeit mit einem mehrspurigen Analogbandgerät aufgezeichnet. Gleichzeitig wird ein externer Zeittakt zur Steuerung der digitalen Datenerfassungsanlage bei der Digitalisierung der Meßwerte während des Versuchsablaufes mitaufgespielt.

Zur Automatisierung der Signalaufzeichnung und der Digitalisierung wurden geeignete elektronische Schalt- und Steuerelemente entwickelt.

Darüberhinaus werden zwei Möglichkeiten besprochen, mit denen Meßsignale, die zur gleichen Zeit im Versuch auftreten, einander zugeordnet werden können.

Schrifttum

- [1] Ahlgrim, H.-J. u. K. Krehbiel-Gräther: Untersuchungen zur Deutung des Biegeverhaltens an Pflanzenhalmen. Landbauforschung Völkenrode Bd. 22 (1972) H. 2, S. 117/122.
- [2] Ahlgrim, H.-J. u. R. Günther: Beispiele für die Einsatzmöglichkeiten einer digitalen Datenerfassungsanlage. Landbauforschung Völkenrode Bd. 23 (1973) H. 2, S. 105/110.
- [3] Rohrbach, Chr.: Handbuch für elektrisches Messen mechanischer Größen. Düsseldorf: VDI-Verlag GmbH 1967, S. 397 ff.
- [4] -: IBM-Application Program, 1130 Scientific Subroutine Package(1130-CM-02X), S. 151 ff.