

$$M_y = M_{yI} - P_x \cdot l_1 - P_z \cdot l_3 \quad (7)$$

(P_x ist aus Gl. (3) und P_z aus Gl. (5) einzusetzen).

$$M_z = M_{zV} + P_x \cdot l_1 + P_y \cdot l_3 \quad (8)$$

(für M_{zV} ist das gemessene Torsionsmoment an der Stelle V einzusetzen, P_x folgt aus Gl. (3) und P_y aus Gl. (4))

Die konstruktive Gestaltung eines 6-Komponenten-Meßgrindels (Bild 5) erfolgte unter den Gesichtspunkten einer universellen Einsetzbarkeit und der Erreichung größtmöglicher Dehnungen an den Meßstellen bei ausreichender Festigkeit. Jedoch ist hier eine Differenzschaltung zur 1-Komponentenmessung nicht möglich. Dazu müssen jetzt beide Meßstellen für M_{yI} und M_{yII} getrennt in Anspruch genommen werden.

Die Befestigungsstellen sind so gestaltet, daß man mit geeigneten Zwischenstücken verschiedene Werkzeuge am Grindel und diesen an verschiedenen Halterungen befestigen kann.

Der neue 12-Kanal-Lichtpunkt-Direktschreiber vom VEB Meßgerätewerk Zwönitz bietet die Möglichkeit, Kräfte- und Momentenmessungen künftig ohne Verstärker und Trägerfrequenzgenerator durchzuführen. Die Meßbrücke wird mit 12 V Gleichspannung gespeist (Bild 6). Der Abgleich der Brücke erfolgt mit einer zusätzlichen feinstufig regelbaren Spannungsquelle. Die elektrodynamisch gedämpften Typen der neuen Stiftgalvanometer ermöglichen einen Ausschlag von 80 mm bei 1, 0,05 mA Maximalbelastung und bei 2, 0,4 mA Maximalbelastung [3].

Das bedeutet 40- bzw. 5fache Empfindlichkeit einer Meßschleife MSD8. In [4] wird ein komplettes verstärkerloses Dehnmeßgerät in Baukastenform vorgestellt, das in ähnlicher Form für die vorliegende Meßeinrichtung geeignet ist. Der Abgleich der Meßbrücke mit zusätzlicher, regelbarer Spannungsquelle (Bild 6) bietet den Vorteil, daß keine Verluste durch Spannungsabfall an den Widerständen auftreten.

Bisher wurden mehrfach 1-Komponentenmessungen mit gutem Erfolg in Labor- und Feldversuchen durchgeführt, in 2 Fällen 3-Komponentenmessungen. 6-Komponentenmessungen erfolgten bisher nur mit einer Modelleinrichtung zur Überprüfung des Meßprinzips [5]. Die gegenseitige Beeinflussung der Meßstellen ist abhängig von der Homogenität des Materials, der Genauigkeit und Übereinstimmung der k -Faktoren der DMS und von der Genauigkeit ihrer Anbringung. Die Homogenität des Werkstoffes kann vom Anwender nicht beeinflußt werden. Die Genauigkeit der

Anbringung der DMS ist, sorgfältige Arbeitsweise vorausgesetzt, in nur engen Grenzen beeinflussbar, so daß das Hauptaugenmerk auf die k -Faktoren der DMS zu richten ist. Für die einwandfreie Kompensation der Längskräfte bei Messung der Biegebeanspruchung (beispielsweise soll $M_{yIII} - M_{yIV}$ gemessen werden, und P_x ist zu kompensieren) muß die Bedingung erfüllt sein, daß die Empfindlichkeiten der DMS 1 und 2 und der DMS 3 und 4 gleich groß sind. Weiterhin ist Bedingung beim Auftreten weiterer Biegemomente (z. B. M_y), daß die Empfindlichkeiten der Halbbrücken DMS 1,2 und DMS 3,4 gleich groß sind. Die Empfindlichkeiten können durch Reihen- und Parallelwiderstände zu den DMS beeinflußt werden [6].

Will man die zeitraubende Arbeit der Anpassung der einzelnen DMS umgehen, besteht eine andere Möglichkeit zur Vermeidung von Meßfehlern darin, bei der Eichung einer solchen 6-Komponenten-Meßeinrichtung die gegenseitige Beeinflussung mit aufzunehmen und für die Auswertung von Meßergebnissen ein Korrektordiagramm aufzustellen. Die gegenseitige Beeinflussung der Meßgrößen ist sehr unterschiedlich und wird bei jeder Meßeinrichtung anders liegen, ihre Größenordnung beträgt überschlägig 2 bis 10% des Vollauschlages der Einzelgrößen. Bei Korrektur der k -Faktoren kann die Beeinflussung unter 2% gehalten werden.

Mit der dargestellten Meßeinrichtung sollte ein neuer Weg gezeigt werden, mit relativ geringem konstruktiven Aufwand, guter Anpassungsfähigkeit und rationell Probleme der Messung räumlicher Kraftsysteme schnell und sicher zu lösen.

Literatur

- [1] REGGE, H.: Ein Gerät zur Darstellung des resultierenden Bodenwiderstandes an Pflüggörnern. Deutsche Agrartechnik 8 (1958), H. 10, S. 457 bis 459
- [2] GETZLAFF, G.: Messung der Kraftkomponenten an einem Pflüggörner. Grundlagen der Landtechnik, H. 1, Düsseldorf 1951, S. 16 bis 24
- [3] Prospekt: Anpassungssteller, Stiftgalvanometer VEB Meßgerätewerk Zwönitz
- [4] WOLFF, J.: Ein verstärkerloses Dehnmeßgerät, Elektronik 15 (1966) S. 9 bis 11
- [5] SOUCEK, R.: Untersuchungen über das Zusammenwirken und das mechanische Verhalten von wichtigen Konstruktionselementen und Baugruppen der Landmaschinen bei dynamischer Belastung. Abschlußbericht zum Forschungsauftrag Nr. 4507 046/5 - 21/3. Institut für Landmaschinentechnik, TU Dresden 1965
- [6] Arbeitskreis Landmaschinentechnik: Schaltungen von Dehnungsmeßstreifen. Arbeitsblätter des Instituts für Landmaschinentechnik, TU Dresden, 1967 (unveröffentlicht) A 7157

Dr. K. BAGANZ*

Untersuchungen über Modellbeziehungen bei Bodenbearbeitungswerkzeugen (2. Mitteilung)¹

Für trockene Reibungsböden konnten für die auftretenden Kräfte Modellbeziehungen nachgewiesen werden, die mit dem Froudeschen Modellgesetz identisch sind.¹ [8]

4. Modellversuche in feuchten Reibungsböden

Mit dem gleichen Reibungsboden, jedoch mit einer Feuchtigkeit $f_T = 1,5$ bis $6,0\%$ (Tafel 2) wurden mit der gleichen Meßeinrichtung einige Meßreihen gefahren, um den Einfluß veränderter Bodenbedingungen auf die Dimensionsgleichungen zu untersuchen.

* Institut für Mechanisierung der Landwirtschaft Potsdam-Bornim der DAL zu Berlin (Direktor: Obering. O. BOSTELMANN)

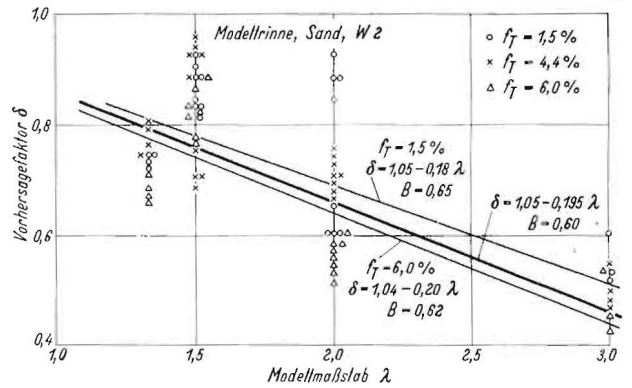
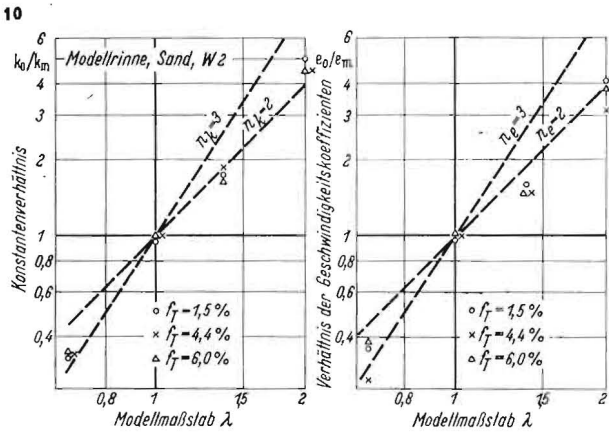
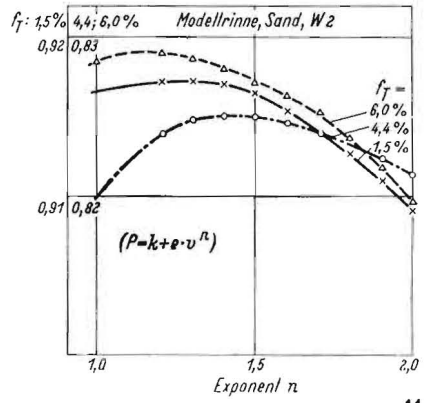
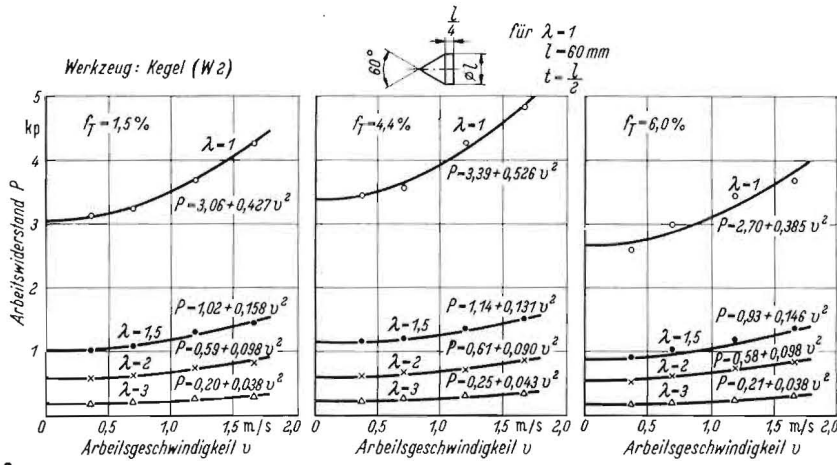
¹ 1. Mitteilung s. H. 12/1965, S. 555 bis 558

4.1. Versuche mit einfachen geometrischen Werkzeugen

Die Versuche wurden mit dem Werkzeug W 2 (Kegel) durchgeführt, die Meßwerte sind in Bild 9 dargestellt.

Wertet man sie — wegen der geringen gemessenen Kohäsion (Tafel 2) — ähnlich aus wie unter 2.2 entsprechend Gl. (14.2) und (15), so ergibt sich eine starke Abweichung von den im trockenen Boden ermittelten Werten für die Exponenten n_k und n_e (Bild 10).

Diese Abweichung kann durch „gestörte“ Modellbedingungen verursacht sein, es ist aber auch möglich, daß die für trockenen Reibungsböden zugrunde gelegte Gorjatschkinische Gleichung (13) für feuchte Böden nicht mehr volle Gültigkeit hat. STORYRA [9] wies nach, daß bei im Boden



arbeitenden einfachen Werkzeugen der Exponent des Geschwindigkeitseinflusses mit zunehmender „Bodenschwere“ kleiner wird und bei stark bindigem Boden lineare Beziehungen zur Geschwindigkeit auftreten.

Für die vorliegenden Meßwerte wurde, um den Geschwindigkeitseinfluß genauer zu untersuchen, für die Auswertung die aus (13) abgeleitete allgemeinere Beziehung

$$P = k + e \cdot v^n \quad (13.1)$$

benutzt und die Kurvenparameter für den Bereich $n = 1,0$ bis $2,0$ berechnet. Der Korrelationskoeffizient $r = \sqrt{B}$ wurde zur Bestimmung der Korrelationsmaximas benutzt (Bild 11). Aus den Mittelwerten über jeweils 4 Größenvarianten ergeben sich nur relativ geringe Maxima des Korrelationskoeffizienten um $n = 1,3$. Dieser Wert des Geschwindigkeitsexponenten wurde für die weiteren Berechnungen zugrunde gelegt.

Hätten die Beziehungen (11.1) und 11.2) noch volle Gültigkeit, würde sich entsprechend (14.2) ergeben

$$P_0 = \lambda^{n_k} \cdot k_m + \lambda^{n_e} \cdot e_m \cdot v_0^{1,3}$$

wobei ebenfalls $n_k = 3$ und $n_e = 2$ sein müßten.

Die Berechnungen entsprechend (15) zeigen jedoch, daß die tatsächlichen Werte $n_k = 2,5$ bis $2,3$ und $n_e = 2,3$ bis $2,1$ wesentlich von dem Erwarteten abweichen (Tafel 3). Durch die Einführung des Exponenten $n = 1,3$ in (13.1) gegenüber $n = 2$ trat keine wesentliche Veränderung in den Exponenten der Modellgleichung ein, wie auch schon auf Grund der

Bild 9. Abhängigkeit des Arbeitswiderstandes von der Fahrgeschwindigkeit für verschiedene Modellmaßstäbe bei unterschiedlicher Feuchtigkeit des Reibungsbodens

Bild 10. Konstantenverhältnis k_0/k_m und Verhältnis der Geschwindigkeitskoeffizienten e_0/e_m bei feuchtem Reibungsboden

Bild 11. Korrelationskoeffizient der Versuchsergebnisse bei verschiedenem Exponent n der Gleichung nach Gorjatschkin

Bild 12. Vorhersagefaktor δ für feuchten Reibungsboden

geringen Unterschiede in der Korrelation zu vermuten war. Daher wurden die Versuchsreihen unter der Annahme gestörter Modellbedingungen weiter verrechnet.

BARNES u. a. [7] gibt z. B. für die Ermittlung der Störfaktoren bei zwei ungenügend erfüllten Modellbeziehungen für 2 Varianten ein Verfahren an, daß für die Gleichungen (11.5) und (11.6) dargestellt werden soll.

Die Gleichung (11.5) wird ergänzt zu

$$\frac{\alpha \cdot c_0}{e_m} = \lambda \cdot \frac{\rho_0}{\rho_m}$$

und die Gleichung (11.6) zu

$$\frac{\beta \cdot \alpha_0}{a_m} = \lambda \cdot \frac{\rho_0}{\rho_m}$$

¹ In der ersten Mitteilung (II. 12/1965) wurde versehentlich für die Bodendichte ρ in allen Gleichungen und im Text das Zeichen ρ gesetzt, wir bitten das zu entschuldigen.

Tafel 2. Kennwerte des Reibungsbodens bei unterschiedlicher Feuchte (Mittelwerte)

Bodenfeuchte f_T [%]	Bodendichte ρ_T [g/cm ³]	Kohäsion c [p/cm ²]	Reibung [-]
0	1,58	10,1	0,50
1,5	1,31	9,1	0,53
4,4	1,30	8,3	0,58
6,0	1,29	8,3	0,59

Die Differenzen in der Kohäsion liegen an der Grenze des Fehlerbereiches (Meßgenauigkeit des benutzten DMS-Schergerätes)

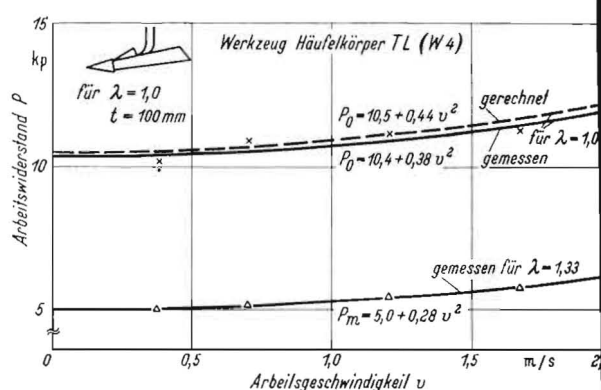
Korngrößen:

... < 0,002 mm	1,7%
< 0,02 ... 0,002 mm	0,0%
< 0,2 ... 0,02 mm	45,8%
< 2 ... 0,2 mm	52,5%

Tafel 3. Exponenten der Modellgleichung n_k und n_e (nach Gleichung (16)) bei unterschiedlichen Exponenten n der Gleichung (15)

f_T [%]	$n = 1,3$		$n = 2,0$	
	n_k	n_e	n_k	n_e
1,5	2,46	2,35	2,44	2,16
4,4	2,38	2,17	2,35	2,19
6,6	2,30	2,10	2,29	2,06

Bild 13. Abhängigkeit des Arbeitswiderstands von der Geschwindigkeit bei einem Häufelwerkzeug (W4) (Meßwerte und umgerechnete Werte für $\lambda = 1,33$ und $\lambda = 1$)



Damit lassen sich die Störfaktoren aus praktischen Meßreihen ermitteln

$$\alpha = \lambda \cdot \frac{c_m}{c_0} \cdot \frac{\rho_0}{\rho_m} \quad (16.1)$$

$$\beta = \lambda \cdot \frac{a_m}{a_0} \cdot \frac{\rho_0}{\rho_m} \quad (16.2)$$

Werden mit ähnlichen Werkzeugen, wie sie später für die Versuchsreihen vorgesehen sind, und unter den „gestörten“ Bedingungen einige Meßreihen mit unterschiedlichen Größenverhältnissen des Werkzeuges gefahren, so unterscheiden sich die Zugkräfte des „Originals“ von denen des „Modells“ um den Vorhersagefaktor

$$\delta = \frac{P_0 \cdot \rho_m}{\lambda^3 \cdot P_m \cdot \rho_0} \quad (17)$$

Aus den ermittelten Werten für α , β und δ läßt sich dann die entsprechende Regression für den Vorhersagefaktor ermitteln

$$\delta = f(\alpha, \beta) \quad (18)$$

Die gegenwärtig in der Literatur zugänglichen Ergebnisse lassen noch keinen umfassenden Schluß darüber zu, in welchem Umfang ein bestimmter Vorhersagefaktor innerhalb gewisser Werkzeuggruppen oder Bodenarten allgemeine Gültigkeit hat.

Die Art dieser Versuchsdurchführung ergab, daß für eine Reihe $f_T = \text{const.}$ ebenfalls α , c und ρ konstant waren. Damit werden für den vollständigen Ansatz der Modellbeziehungen nach (11.1) bis (11.8) der Störfaktoren

$$\alpha = \beta = \lambda$$

und der Vorhersagefaktor

$$\delta = f(\alpha, \beta) = f(\lambda) = \frac{P_0}{\lambda^3 \cdot P_m}$$

Der Vorhersagefaktor wurde als einfache lineare Regression bestimmt (Bild 12). Für die einzelnen Feuchtigkeiten ergaben sich folgende Beziehungen

$$f_T = 1,5\% \quad \delta = 1,05 - 0,18 \lambda$$

$$f_T = 4,4\% \quad \delta = 1,06 - 0,20 \lambda$$

$$f_T = 6,0\% \quad \delta = 1,04 - 0,20 \lambda$$

Die Durchstoßpunkte und Neigungen der Geraden für die einzelnen Feuchtigkeiten sind nicht gegeneinander gesichert, so daß für den Feuchtigkeitsbereich $f_T = 1,5$ bis $6,0\%$ gilt

$$\delta = 1,05 - 0,195 \lambda \quad (B = 0,60; r = 0,78)$$

4.2. Versuche mit landtechnischen Werkzeugen

Um die allgemeine Anwendbarkeit eines mit einem bestimmten Werkzeug ermittelten Vorhersagefaktors zu unter-

suchen, wurde der benutzte Reibungsboden durch längeres Lagern vollständig ausgetrocknet und anschließend neu befeuchtet. Bei einer Bodenfeuchte von $f_T = 3,9\%$ und einer mittleren Bodendichte $\rho_T = 1,33 \text{ g/cm}^3$ durchgeführte Meßreihen mit dem schon bei den Untersuchungen benutzten neueren Häufelwerkzeug für Kartoffelkultur (Werkzeug W 4) zeigten, daß mit Hilfe des früher bestimmten Vorhersagefaktors ($\delta = 1,05 - 0,195 \lambda = 0,79$) sich eine befriedigende Übereinstimmung zwischen den aus dem Modell berechneten Werten und den Originalwerten ergab (Bild 13).

Damit konnte nachgewiesen werden, daß für bestimmte Versuchsbedingungen der Vorhersagefaktor langfristig reproduzierbar ist und auch für unterschiedliche Werkzeugformen Gültigkeit hat.

4.3. Anwendung

Der erreichte Stand gestattet die praktische Anwendung der Untersuchungen mit verkleinerten Modellen zur Bestimmung der Kräftebeziehungen bei der Neuentwicklung von im Boden arbeitenden Werkzeugen und Maschinen. Dabei ist die Anwendung nicht nur auf den Landmaschinenbau (Bodenbearbeitungswerkzeuge, Traktoren) beschränkt, vielmehr ergeben sich in der Baumaschinenindustrie und bei Tagebauanlagen ähnliche Probleme bei der Entwicklung von Werkzeugen und Fahrwerken. Verminderte Entwicklungskosten entstehen durch geringeren Bau- und Änderungsaufwand der verkleinerten Ausführung vor allem bei komplizierten Aggregaten (Fahrwerke u. a.) sowie durch Verkürzung der Meßzeiten und Unabhängigkeit vom jahreszeitlichen Witterungsablauf. Bei Untersuchungen an neuentwickelten Häufelwerkzeugen konnte beispielsweise der Arbeitszeitaufwand bei Modelluntersuchungen gegenüber Feldversuchen auf $1/3$ verringert werden, wobei noch einfachere Meßeinrichtungen benutzt wurden.

Zusammenfassung

Bereits geringe Feuchtigkeiten rufen in Reibungsböden Bodenbedingungen hervor, die nur durch Annahme gestörter Modellbedingungen erfaßt werden konnten. Der Vorhersagefaktor erwies sich für gegebene Arbeitsbedingungen als unabhängig von den benutzten Werkzeugformen. Die bisherigen Arbeiten gestatten eine praktische Anwendung der Modellgesetze bei der Entwicklung von Maschinen und Arbeitswerkzeugen für Boden in den verschiedenen Wirtschaftszweigen.

Literatur

- [8] BACANZ, K.: Untersuchungen über Modellbeziehungen bei Bodenbearbeitungswerkzeugen (1. Mitteilung) Dt. Agrartechn. 15 (1965) II. 12, S. 555 bis 558
- [9] SPOPYRA, L.: W pływ szybkości ruchu narzędzia ... Przegląd Mechaniczny (1960) Nr. 9