

diesem Fall die Zugeinrichtung am B 200 unter Zuhilfenahme des zweiten angeschweißten Zuglaschenpaares nach links, so wird man erreichen, daß sich der Traktor „automatisch“ an der Furchenwand führt.

1.2. Einfluß der Anbaumaße der Pflugkörper auf die Zugeinstellung

Die Einstellung der Pflugkörper erfolgt beim B 200 nach dem Anbauschema in der Bedienungsanleitung. Durch Einhalten der darin vorgeschriebenen Maße wird die Voraussetzung für eine ordnungsgemäße Arbeit des Pfluges geschaffen und die Gefahr vermieden, daß Pflug und Traktor kollidieren. Dies gilt insbesondere bei der Verwendung von Kombivorschneidern.

Unter diesem Vorbehalt kann man den Kupplungspunkt K seitlich verschieben, indem die Pflugkörper auf dem Werkzeugträger gegenüber dem vorgeschriebenen Maß a weiter vorn oder hinten angebracht werden. Rückt man z. B. die Pflugkörper weiter nach vorn, so verschiebt sich der Kupplungspunkt nach links, ohne daß die Punkte D und F ihre Lage verändern.

2. Zugeinstellung beim Traktor K-700 mit Aufsattel-Beetpflug B 500

Der Traktor K-700 fährt mit dem Pflug B 500 außerhalb der Pflugfurche. Damit die Punkte D, K und F auf der Längs-Symmetrielinie des Traktors liegen, müssen Arbeitsbreite B des Pfluges und Spurweite S des Traktors eine bestimmte Größe haben. Die hierfür gültige Beziehung lautet $B = S + b + \text{Sicherheitsabstand}$, wobei b die Reifenbreite des Traktortriebrades ist. Für den Pflug B 500 ist $B = 2500$ mm. Der Traktor K-700 besitzt die Maße $S = 1910$ mm und $b \approx 600$ mm, so daß die obige Forderung erfüllt ist.

Zusammenfassung

— Für die richtige Zugeinstellung von Traktor-Pflug-Aggregaten gilt die Regel: „Die Punkte D, K und F müssen auf der Längs-Symmetrielinie des Traktors liegen“.

— Für Traktoren, die außerhalb der Pflugfurche arbeiten, muß die Spurweite des Traktors gleich sein der Arbeitsbreite des Pfluges, abzüglich der Reifenbreite eines Traktortriebrades und des Sicherheitsabstands Traktorreifen-Außenkante bis Pflugfurche.

— Für Traktoren, die in der Pflugfurche arbeiten, muß die Spurweite des Traktors gleich oder kleiner sein der Arbeitsbreite des Pfluges, zuzüglich der Reifenbreite eines Traktortriebrades, d. h., die Punkte D, K und F können auch auf einer Geraden liegen, die in Fahrtrichtung gesehen geringfügig links neben dem Hinterachsmittelpunkt M des Traktors vorbeigeht. In diesem Fall führt sich der Traktor „automatisch“ an der Furchenwand.

— Von besonderer Bedeutung ist, daß der Kupplungspunkt K auf der Verbindungsgeraden DF liegt. Das ist durch seitliches Verschieben von K erreichbar.

— Wird diese Regel beachtet, so stellen sich die beiden unteren Lenker während der Arbeit bei losen Spannketten symmetrisch zur Längs-Symmetrielinie des Traktors ein. Infolge der losen Spannketten wird die Lenkung des Traktors durch schwankenden Arbeitswiderstand kaum beeinflusst.

— Neben dem ordnungsgemäßen Zustand von Traktor und Pflug hat die richtige Zugeinstellung von Traktor-Pflug-Aggregaten eine große ökonomische Bedeutung.

Literatur

- [1] Genschmer, G.: Der ZT 300 im Einsatz mit Aufsattelpflügen. Informationen der Land- und Nahrungsgütertechnik der DDR (1973) H. 11, S. 212—213. A 1200

Für die kritische Durchsicht des Manuskripts und für wertvolle Hinweise dankt der Autor den Kollegen Dipl.-Ing. Mägdefäßer, VEB Traktorenwerk Schönebeck, und Dipl.-Ing. Buschkowski, VEB Bodenbearbeitungsgeräte Leipzig

Zur Energiebilanz an der Bodenfräse unter besonderer Berücksichtigung der Rotorabdeckung¹⁾

Dr.-Ing. W.-D. Kalk, KDT, Forschungszentrum für Bodenfruchtbarkeit Müncheberg der AdL der DDR

1. Einführung

Um in der Landwirtschaft der DDR die Kosten für die Bearbeitung des Bodens zu senken, sind die Bodenbearbeitungsmaßnahmen so zu gestalten, daß die für das Pflanzenwachstum optimalen Bodenzustände mit niedrigem Energieaufwand und hoher Arbeitsproduktivität erreicht werden. Diesen Zielen waren Untersuchungen an der Fräse und Scharfräse [1][2] gewidmet. Die exakte Analyse der Zerkleinerungsvorgänge an den Fräs Werkzeugen und an der Rotorabdeckung erfordert die genaue Kenntnis der Energiebilanz und der an diesen Arbeitsorganen zu nutzenden Energie.

In den folgenden Betrachtungen werden Energieverluste durch die technische Auslegung (Getriebe, Lager, Rollwiderstand, Luftbewegung) nicht einbezogen. Es wird ausschließlich der Prozeß der Bodenzerkleinerung behandelt.

2. Theoretische Überlegungen

Einige Autoren [3][4][5] berücksichtigen bei der Bestimmung des Energieaufwands und der spezifischen Arbeit der Fräse lediglich das Drehmoment an der Rotorwelle. Zur vollständigen Energiebilanz und für die Ermittlung der exakten spezifischen Arbeit ist es

jedoch notwendig, die Translationsenergie einzubeziehen [6][7][8], da bei Gleichlaufräsen [5] ein Teil der am Rotor zugeführten spezifischen Arbeit als Schubenergie zurückgewonnen wird. Die Einbeziehung der Rotorabdeckung in die Energiebilanz erfolgte bisher noch nicht.

Die dem Fräsrotor als Drehmoment zugeführte Energie w_D (Bild 1) wird in Reib-, Schnitt- und Beschleunigungsenergie umgewandelt [3][9][10].

Die Reibenergie w_R ist an der Zerkleinerung des Bodens nicht beteiligt. Sie ist deshalb Verlustenergie (w_{RV}). Die Größe der Reibenergie wird entscheidend von den Konstruktionsparametern der Werkzeuge beeinflusst. Die infolge der Reibenergie auf die Werkzeuge wirkenden Kräfte führen dazu, daß ein Teil der Reibenergie als Schubenergie w_{RS} zurückgewonnen wird (Bild 1). Die Schubenergie errechnet sich grundsätzlich als Produkt aus der Horizontalkomponente der am Fräsrotor angreifenden Kraft und dem Weg in Bewegungsrichtung der Fräse. Die Schnittenergie w_C ist an der Zerkleinerung des Bodens beteiligt. Die zum Schnitt erforderliche Energie wird dem Boden als Nutzenergie zugeführt. Infolge der Schnittkräfte an den Werkzeugen wird ein Teil der Schnittenergie als Schubenergie zurückgewonnen.

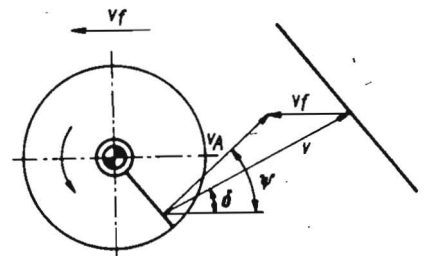
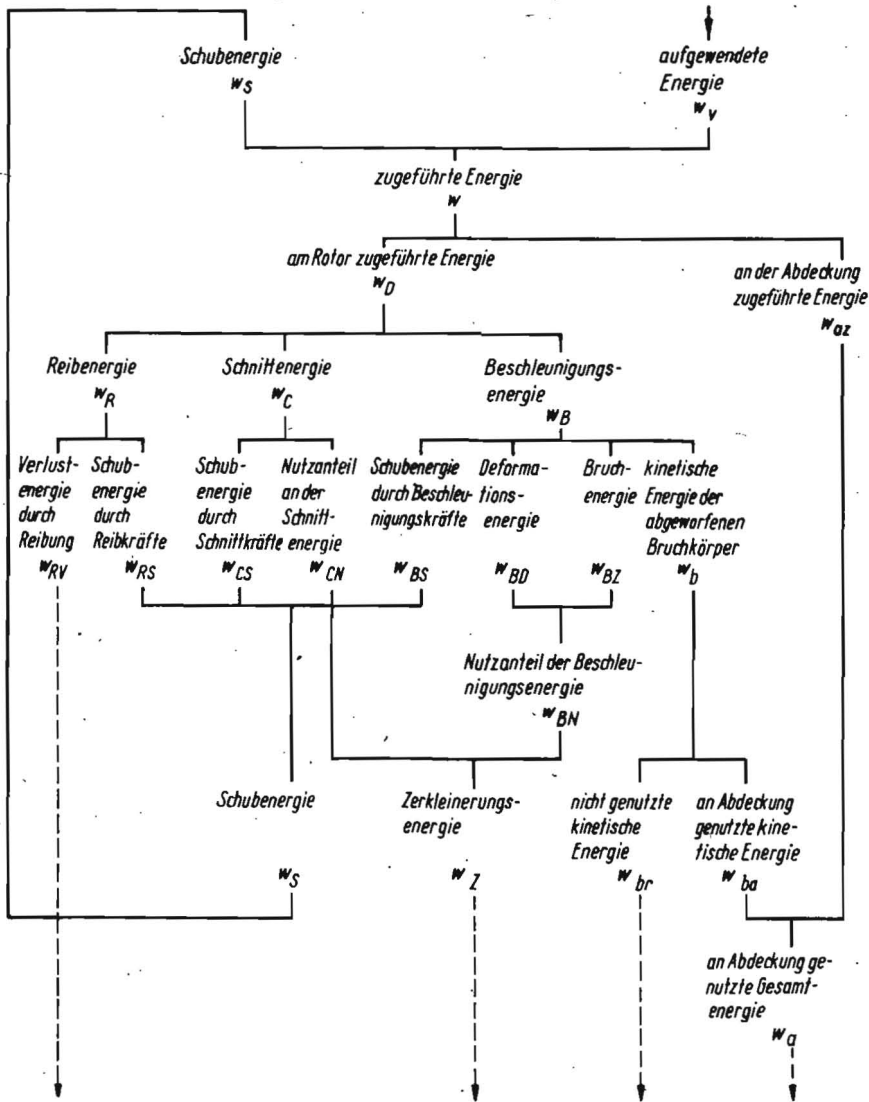


Bild 2. Geschwindigkeiten der von den rotierenden Werkzeugen abgeworfenen Bruchkörper

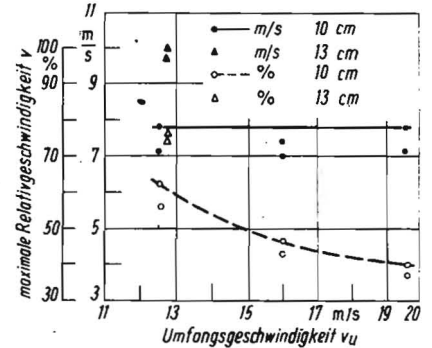


Bild 3. Maximale Relativgeschwindigkeit v der Bruchkörper gegenüber der Fräsenabdeckung als Funktion der Umfangsgeschwindigkeit v_u für zwei Fräsisengrößen h_b ; Bodenart: sandiger Lehm. Bodendichte $\rho = 1,64 \text{ g/cm}^3$. Bodenfeuchte $w_0 = 8,6\%$, $w_{10} = 12,8\%$

Bild 1. Energiefluß in einer Fräse (Schema)

Als Anteile der Beschleunigungsenergie w_B kann man Deformationsenergie, Bruchenergie, Schubenergie und kinetische Energie der abgeworfenen Bruchkörper unterscheiden [11]. Die Deformations- und die Bruchenergie sind die Nutzanteile der Beschleunigungsenergie, die für die Zerkleinerung des Bodens aufgewendet werden. Nicht zum Bruch ausreichende Deformationsenergie, die nur zur Verformung des Bodens führt, soll hier nicht besonders behandelt werden. Die Nutzanteile der Schnitt- und der Beschleunigungsenergie ergeben summiert die Energie w_Z , die zur Zerkleinerung des Bodens durch die Fräsworkzeuge genutzt wird (Bild 1). Die gesamte am Rotor zugeführte Schubenergie w_S resultiert aus den Anteilen der Reib-, Schnitt- und Beschleunigungsenergie. Die spezifische kinetische Energie der abgeworfenen Bruchkörper läßt sich nach folgender Gleichung berechnen:

$$w_b = \frac{\rho}{2} \bar{v}_A^2 \quad (1)$$

Die Richtung ψ der Absolutgeschwindigkeit \bar{v}_A der abgeworfenen Bruchkörper ist der Mittelwert der Bewegungsrichtungen aller Bruchkörper (Bild 2). Wird die Fräse ohne Rotorabdeckung eingesetzt, ist die kinetische Energie (Gl. 1) Verlustenergie, wenn man voraussetzt, daß auf den bearbeiteten Boden fallende Bruchkörper nicht zerkleinert werden. Beim Einsatz der Fräse mit Rotorabdeckung wird im allgemeinen ein Teil der Bruchkörper auf die Abdeckung treffen, wobei der Faktor m_a diesen Anteil kennzeichnet. Wenn v_{AO} die mittlere Absolutgeschwindigkeit der

auf die Abdeckung prallenden Bruchkörper ist, läßt sich der an der Abdeckung genutzte Teil der kinetischen Energie (Gl. 1) wie folgt ausdrücken:

$$w_{ba} = m_a \frac{\rho}{2} \bar{v}_{AO}^2 \quad (2)$$

Diese Energie stellt den Teil der dem Boden durch den Rotor zugeführten kinetischen Energie dar, der zur Zerkleinerung an der Rotorabdeckung genutzt wird (Bild 1). Der Aufprall der Bruchkörper auf die Abdeckung erfolgt nicht mit der Absolutgeschwindigkeit \bar{v}_{AO} , sondern mit der Relativgeschwindigkeit \bar{v} , da sich die Rotorabdeckung den sich mit der Absolutgeschwindigkeit \bar{v}_{AO} bewegend Bruchkörpern mit der Fahrgeschwindigkeit v_f entgegenbewegt (Bild 2). Die kinetische Energie der Bruchkörper gegenüber der Abdeckung errechnet sich damit zu

$$w_a = m_a \frac{\rho}{2} \bar{v}^2 \quad (3)$$

Die Differenz der Energie nach den Gleichungen (2) und (3) ergibt die Energie w_{az} , die an der Abdeckung als Zugenergie zugeführt werden muß:

$$w_{az} = m_a \frac{\rho}{2} (\bar{v}^2 - \bar{v}_{AO}^2) \quad (4)$$

Damit liegt die Energiebilanz fest. Bei der Zerkleinerung mit der Fräse wird dem Boden durch den Rotor die Energie w_D und durch die Rotorabdeckung die Energie w_{az} zugeführt (Bild 1). Für den

Zerkleinerungsvorgang wird nur ein Teil dieser Energie w_v aufgewendet, da die Schubenergie w_s zurückgewonnen wird. Diese Energie w_v wird als Zerkleinerungsenergie an den rotierenden Werkzeugen w_z und an der Abdeckung w_a genutzt und in Verlustenergie durch Reibung w_{RV} und nicht genutzte kinetische Energie abgeworfener Bruchkörper w_{br} umgewandelt (Bild 1).

3. Experimentelle Untersuchungen

Um die an der Rotorabdeckung konkret zur Verfügung stehende Energie festzustellen, wurden die von den rotierenden Werkzeugen abgeworfenen Bruchkörper kinematographisch aufgenommen. Bei den Untersuchungen in der Bodenrinne der TU Dresden wurde die Kamera auf dem Meßwagen so angeordnet, daß die Relativgeschwindigkeit \bar{v} zwischen abgeworfenen Bruchkörpern und Fräse sowie die Richtung δ der mittleren Relativgeschwindigkeit bestimmt werden konnten (Bild 2). Die für die Gleichungen (1) und (2) erforderlichen Größen lassen sich geometrisch bestimmen [12]. Die Ergebnisse sind im Bild 3 angegeben. Bei den untersuchten Werkzeugen zeigt sich, daß für die Bissenweite 10 cm bei zunehmender Umfangsgeschwindigkeit der Werkzeuge die obere Grenze der Relativgeschwindigkeit der Bruchkörper gegenüber der Fräsenabdeckung etwa konstant ist. Bei größeren Bissenweiten liegt eine größere Relativgeschwindigkeit vor.

Der Abwurfbereich der Bruchkörper war unabhängig von der Umfangsgeschwindigkeit und der Bissenweite. Unter Zugrundelegung des Schwerpunktes der Bissen als Abwurfpunkt ergab sich der Abwurfbereich der Bruchkörper zu $0^\circ \leq \delta \leq 40^\circ$.

Für die Umfangsgeschwindigkeit $v_u = 12,8$ m/s und die Bissenweite $b_b = 13$ cm ($v_t = 8,2$ km/h) betrug die kinetische Energie der von den rotierenden Werkzeugen abgeworfenen Bruchkörper 8 % der gesamten zugeführten Energie w . Diese kinetische Energie ist im Vergleich zu aus der Literatur bekannten Untersuchungsergebnissen [3] [5] [10] gering. Für Winkelmessung wird bei Umfangsgeschwindigkeiten von 7 m/s die „Beschleunigungsenergie“ mit 30 bis 50 % der am Rotor zugeführten Energie angegeben. Erst eine Analyse der Begriffsinhalte dieser „Beschleunigungsenergie“ erlaubt den Vergleich mit der kinetischen Energie der abgeworfenen Bruchkörper. Regge [3] gliederte die dem Fräsrotor zugeführte Energie in Reib-, Deformations- und Beschleunigungsenergie. Er faßte theoretisch die kinetische Energie der abgeworfenen Bruchkörper als Beschleunigungsenergie auf, stellte aber experimentell fest, daß die Beschleunigungsenergie den 2,7- bis 4,5fachen Wert der kinetischen Energie der Bruchkörper annimmt. Die Differenz ist erklärbar, wenn der nicht in der Reib- und Deformationsenergie [3] enthaltene Anteil der dem Boden zugeführten Beschleunigungsenergie w_{BN} (Bild 1), der zur Bildung spezifischer Oberfläche genutzt wird, Berücksichtigung findet.

Söhne und Eggenmüller [10] bezogen neben der kinetischen Energie der abgeworfenen Bruchkörper einen Teil der Reibenergie in die Definition ihrer Beschleunigungsenergie ein. Außerdem wurden im Vergleich zu den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit zu hohe Geschwindigkeiten bei der Berechnung der kinetischen Energie angenommen [5]. Die Absolutgeschwindigkeit v_A (Bild 2) der abgeworfenen Bruchkörper wird mit dem Faktor 0,4 bis 0,7 aus der Umfangsgeschwindigkeit der Werkzeuge errechnet, gegenüber 0,29 im oben angegebenen experimentellen Beispiel. In Gleichlauffräsen kann die horizontale Absolutgeschwindigkeit v_A maximal die Differenz aus Umfangsgeschwindigkeit der rotierenden Werkzeuge und Fahrgeschwindigkeit der Fräse sein, da beide entgegengerichtet sind.

$$v_A \approx v_u - v_f \quad (5)$$

Damit liegt fest, daß die in der Literatur angegebenen „Beschleunigungsenergien“ die kinetische Energie der abgeworfenen Bruchkörper nur als Anteil enthalten.

Nimmt man an, daß die Hälfte der von den Werkzeugen abgeworfenen Bruchkörper auf die Abdeckung prallen ($m_a = 0,5$), so beträgt im gewählten Beispiel die an der Abdeckung genutzte kinetische Energie w_{ba} 4,3 % und die an der Abdeckung zugeführte Energie w_{az} 5,3 %. Die an der Fräsenabdeckung zu nutzende Energie w_a beträgt damit 9,6 % der der Fräse zugeführten Energie w .

4. Zusammenfassung

Es wurde eine Analyse der an der Bodenfräse auftretenden Energieanteile vorgenommen. Aus der Umsetzung der Energieanteile wurde die vollständige Energiebilanz abgeleitet. An der Rotorabdeckung kann die kinetische Energie der auf die Abdeckung prallenden Bruchkörper für die Zerkleinerung genutzt werden. Diese zur Zerkleinerung genutzte Energie erhöht sich durch an der Abdeckung zugeführte Zugenergie. Für die Zerkleinerung an der Rotorabdeckung können etwa 10 % der am Rotor und an der Abdeckung zugeführten Energie genutzt werden. Die kinetische Energie der abgeworfenen Bruchkörper wird bei zweckmäßiger Wahl der Konstruktions- und Betriebsparameter der rotierenden Werkzeuge 10 % der Gesamtenergie nicht überschreiten.

Literatur

- [1] Kalk, W.-D.; Lucius, J.; Plötner, K.: Diskussion zum Arbeitsprinzip der Schar-Fräse. *agrartechnik* 25 (1975) H. 1, S. 9—11.
- [2] Lucius, J.; Kalk, W.-D.: Experimentelle Untersuchung zur Zuordnung des Vorlockerungswerkzeugs zum Fräsrotor in einer Schar-Fräse. *agrartechnik* 25 (1975) H. 1, S. 11—14.
- [3] Regge, H.: Untersuchungen mit Bodenfräsworkzeugen unter Feldbedingungen bezüglich des Energiebedarfes und der Bodenzerkleinerung. TU Dresden, Dissertation 1966 (unveröffentlicht).
- [4] Wimmer, F.: Untersuchungen über die Bodenaufschließung durch Fräsen mit starren Winkelmessern und gefederten Spitzhaken. TH München, Dissertation 1957.
- [5] Söhne, W.; Thiel, R.: Technische Probleme an Bodenfräsen. *Grundlagen der Landtechnik* (1957) H. 9, S. 39—49.
- [6] Söhne, W.: Einfluß von Form und Anordnung der Werkzeuge auf die Antriebsmomente von Ackerfräsen. *Grundlagen der Landtechnik* (1957) H. 9, S. 69—87.
- [7] Mursch, B.: Untersuchungen an einer Bodenfräse. *Landtechnische Forschung* 7 (1957) H. 4, S. 93—99.
- [8] Adams, W. J.; Furlong, D. B.: Rotary Tiller in Soil Preparation (Fräsen in der Bodenbearbeitung). *Agric. Engng.* (1959) H. 10, S. 600.
- [9] Vinogradov, V. J.; Leontev, J. S.: Vzamodejstvie rotacionnych rabočich organov s počvoj (Wechselwirkung zwischen rotierenden Werkzeugen und Boden). *Traktory i selchozmasiny* 38 (1968) H. 9, S. 29—31.
- [10] Söhne, W.; Eggenmüller, H.: Schnellaufende Bodenfräsen — langsamlaufende Rotorgraber. *Grundlagen der Landtechnik* (1959) H. 11, S. 72—80.
- [11] Lucius, J.: Entwicklung von aktiven Bodenbearbeitungswerkzeugen für die Zerkleinerung vorgelockerten Bodens. TU Dresden, Dissertation 1972 (unveröffentlicht).
- [12] Kalk, W.-D.: Untersuchung des Einflusses der Abdeckung einer Bodenfräse auf das Arbeitsergebnis der Fräse. TU Dresden, Dissertation 1972 (unveröffentlicht). A 1076

1) An der Technischen Universität Dresden, Sektion, Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik erarbeitet

Folgende Fachzeitschriften des Maschinenbaus erscheinen im VEB Verlag Technik:

agrartechnik; Die Eisenbahntechnik; die Technik; Feingerätetechnik;

Fertigungstechnik und Betrieb; Hebezeuge und Fördermittel; Kraftfahrzeugtechnik;

Luft- und Kältetechnik; Maschinenbautechnik; Metalverarbeitung; Schmierungstechnik;

Schweißtechnik; Seewirtschaft