

Die Literatur, die den Studierenden der Ingenieurschulen für Landtechnik als Studienmaterial im Fach Landmaschinen-technik zur Verfügung steht, weist einige Unzulänglichkeiten auf. Dies betrifft u. a. die Ermittlung der Antriebsleistung von Fingerschneidwerken. Es sind teilweise einander widersprechende, aber auch unvollständige und sogar nicht-zutreffende Angaben zu finden. Im folgenden soll daher ein Vorschlag unterbreitet werden, wie die genannte Berechnung möglichst einfach durchgeführt werden kann. Dabei sollen nur die strittigen Probleme näher untersucht werden. Allgemein Bekanntes wird nur angeführt und nicht erläutert oder bewiesen. Um den Rechenaufwand möglichst gering zu halten, werden weitestgehend Vereinfachungen vorgenommen.

1. Die am Messer auftretenden Widerstände

Es sollen nur die vom Messerantrieb ständig aufzubringenden Energien ermittelt werden. Die Berechnung der Reibungswiderstände Schneidwerk/Boden bei Anbaunähbalken und Halm/Finger, die vom Fahrtrieb überwunden werden müssen, wird als bekannt vorausgesetzt.

Die zu untersuchenden Widerstandskräfte sind:

- Schnittwiderstand und
- Reibungswiderstände an der Messerführung

Die Beschleunigungsenergie wird nur einmal beim Anfahren des Schneidwerks benötigt. Die dazugehörige Beschleunigungsleistung ist von der Beschleunigungszeit bzw. vom zur Verfügung stehenden Antriebsdrehmoment abhängig. Für die Berechnung der Antriebsleistung ist sie nicht von Bedeutung. „In Anbetracht der wechselnden Vorzeichen der während des Betriebes auftretenden periodischen Beschleunigungskraft F_a bei jeder Viertelumdrehung ist die Summe der Beschleunigungsenergien einer vollen Kurbelumdrehung gleich Null“ [1] (Bild 1), also ohne Einfluß auf die nötige Antriebsleistung.

Durch die Beschleunigungskraft entsteht jedoch eine Normalkraft auf die Messerführung. Die Folge ist vor allem beim geschränkten Kurbeltrieb ein relativ hoher Reibungswiderstand, der nicht vernachlässigt werden darf.

2. Die Komponenten der Antriebsleistung

2.1. Die Schnittleistung

Der spezifische Schnittwiderstand p_s ist von verschiedenen Schneidparametern abhängig; u. a. von:

2.1.1. Keil-, Frei- und Spanwinkel an der Schneide sowie an der Gegenschneide. Diese Parameter sind standardisiert und damit konstant.

2.1.2. Die Schärfe der Klingenschneide. Sie ist je nach Einsatzdauer des Schneidwerks unterschiedlich. Sie soll $\Delta = 20$ bis $40 \mu\text{m}$ Schneidendicke betragen. Klingen mit $\Delta \geq 100 \mu\text{m}$ gelten als stumpf. Da sich eine bestimmte Schärfe nicht vorschreiben läßt, müssen bei der experimentellen Ermittlung von p_s Messerklingen mittlerer Schärfe Verwendung finden.

2.1.3. Schnittrichtung. Je nach Standort in bezug auf die Gegenschneide werden die Halme vor dem Schnitt in Ab-

hängigkeit von der Höhe des Messers über dem Erdboden verschieden stark abgelenkt. Der Ermittlung von p_s muß folglich ein mittlerer Schnittwinkel zugrundeliegen.

2.1.4. Schnittgeschwindigkeit. Beim Mittelschnittbalken schneidet das Messer während des gesamten Hubes. p_s muß hier bei der mittleren Messergeschwindigkeit ermittelt werden. Beim Normalschnittbalken wird zwischen 80 bis 100 % der maximalen Messergeschwindigkeit geschnitten. Das ist bei der experimentellen Ermittlung von p_s zu berücksichtigen.

2.1.5. Zügigkeit. Die Halme werden von der aktiven Klinge an die Gegenschneide gepreßt und dort geschnitten. Der Gleitwinkel ist konstant. Er beträgt bei den in der DDR üblichen Klingen nach TGL 5006 $\tau = 30^\circ$. Ein zügiger Schnitt mit veränderlichem Gleitwinkel nach [2] ist bei Fingerschneidwerken nicht zu erwarten, da auch die im freien Schnitt gemähten Halme der Messerbewegung folgen, bevor sie abgeschnitten werden. Maschinen, die im freien Schnitt Pflanzenhalme abmähen, besitzen, um die Trägheit der Halme ausnutzen zu können, $v_M = 30$ bis 60 m/s. Die maximale Messergeschwindigkeit der Fingerschneidwerke liegt z. Z. nicht über $v_M = 6$ m/s.

Die unter 2.1.1 bis 2.1.5 genannten Schneidparameter sind bei Fingerschneidwerken entweder konstant oder liegen in der Nähe eines Mittelwertes. Der spezifische Schnittwiderstand p_s muß daher unter mittleren normalen Verhältnissen experimentell bestimmt werden (evtl. mit einem Streubereich). Als Parameter sind nicht die obengenannten, sondern Pflanzenart und, um den Grad der Verholzung berücksichtigen zu können, der Feuchtigkeitsgehalt oder Reifegrad anzugeben.

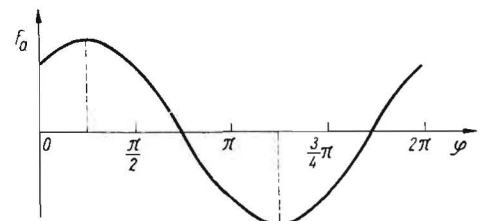


Bild 1. Beschleunigungskräfte am geschränkten Kurbeltrieb in Abhängigkeit vom Kurbelwinkel

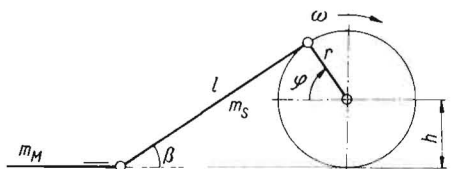


Bild 2. Geschränkter Kurbeltrieb

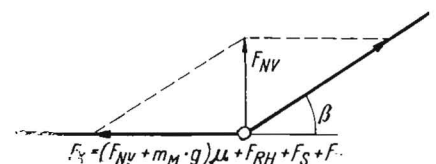


Bild 3. Kräfte am geschränkten Kurbeltrieb

* Ingenieurschule für Landtechnik Berlin-Wartenberg (Direktor: Dipl.-Ök. K.-E. SCHMIDT)

Bei bekanntem spezifischen Schnittwiderstand muß noch das Verdichtungsverhältnis

$$i = \frac{A_{St}}{A_b}$$

gegeben sein. Es ist das Verhältnis der Summe der Stengelquerschnitte A_{St} zur vom Schneidwerk je Zeiteinheit beschriebenen Fläche A_b . Die Schnittarbeit W_S je Messerhub ist damit:

$$\begin{aligned} W_S &= p_S \cdot b_S \cdot H_W \cdot z \\ &= p_S \cdot A_{St} \\ &= p_S \cdot A_b \cdot i \\ W_S &= p_S \cdot B \cdot s \cdot i \end{aligned} \quad (1)$$

Es bedeuten:

$p_S \cdot b_S = F_S$ Schnittwiderstand
 b_S mittlere wirksame Schnittbreite je Messer
 H_W wirksamer Hub $A_b = B \cdot s$
 z Klingenzahl B Arbeitsbreite
 $A_{St} = b_S \cdot H_W \cdot z$ s Vorschub

Mit der Vorschubzeit t_s erhält man die Schnittleistung:

$$P_S = \frac{W_S}{t_s} = p_S \cdot B \cdot i \cdot \frac{s}{t_s}$$

Darin ist der Quotient s/t_s die Vorschubgeschwindigkeit.

$$v_F = \frac{s}{t_s}$$

Endgültig ergibt sich damit die Schnittleistung zu:

$$P_S = p_S \cdot i \cdot B \cdot v_F \quad (2)$$

2.2. Die Reibung am Messerrücken

Nach [3] erhält man die Normalkraft F_{NH} , die das Messer horizontal an seine Führung preßt, zu:

$$F_{NH} = F_S \cdot \tan \tau; \quad \tan \tau = \tan 30^\circ \approx 0,58$$

Mit $F_S =$ mittlerer Schnittwiderstand

Der Reibungswiderstand am Messerrücken:

$$\begin{aligned} F_{RH} &= F_{NH} \cdot \mu \\ &= 0,58 F_S \cdot \mu \\ &= 0,58 \cdot \frac{W_S}{H_W} \cdot \mu \end{aligned}$$

Diese Reibungsarbeit ist nur während des Auftretens der Normalkraft, also nur während des wirksamen Hubes zu verrichten.

$$W_{RH} = F_{RH} \cdot H_W \quad W_{RH} = 0,58 \cdot W_S \cdot \mu$$

Während eines Doppelhubes tritt sie zweimal auf. Die Reibungsleistung am Messerrücken ist dann:

$$P_{RH} = 2 \cdot 0,58 \cdot \mu \cdot n \cdot W_S \quad (3)$$

2.3. Die Reibung an der Ober- bzw. Unterseite des Messers

Schnittkraft, Beschleunigungskraft und Reibungswiderstände sind periodisch wechselnde Kräfte, die teilweise auch nicht während des ganzen Hubes auftreten. Da sich aber die Schwankungen infolge der kinetischen Energie der bewegten Massen in Richtung des Antriebsmotors immer mehr ausgleichen, genügt es, mit mittleren Werten für Kräfte, Geschwindigkeiten und Beschleunigungen zu rechnen. Es wird auch ein mittlerer Anstellwinkel zugrunde gelegt. Die Beschleunigung am geschränkten Kurbeltrieb beträgt nach [4]:

$$a \approx r \cdot \omega^2 \left[\cos \varphi + \frac{h}{l} \sin \varphi + \frac{r}{l} \cos 2\varphi \right] \quad (4)$$

Die größte Beschleunigung tritt im äußeren Totpunkt des Messers auf. Das ist bei

$$\varphi = \arcsin \frac{h}{l+r} \quad (5)$$

der Fall. Mit hinreichender Genauigkeit genügt es,

$$a_m \approx 0,64 \cdot a_{\max} \quad (6)$$

zu setzen. Die oszillierende Masse beträgt

$$m_{osz} = m_M + m_S \cdot \frac{l_1}{l} \quad (7)$$

$m_M =$ Masse des Messers

$m_S =$ Masse der Schubstange

$l_1 =$ Abstand des Schubstangenschwerpunktes vom Kurbelzapfen

Damit ist die mittlere Beschleunigungskraft:

$$F_{am} = m_{osz} \cdot a_m$$

Die Summe aus mittlerer Reibungskraft am Messerrücken und mittlerem Schnittwiderstand:

$$F_{RH} + F_S = \frac{W_H + W_S}{H} = \frac{W_S(0,58 \cdot \mu + 1)}{H} \quad (8)$$

Durch die wechselnde Richtung von F_{NV} wird das Messer am Gelenk wechselnd angehoben oder heruntergedrückt. Wegen seiner relativ großen Biegsamkeit liegt aber auch während des Anhebens der größte Teil des Messers auf, so daß ständig der Reibungswiderstand $m_M \cdot g \cdot \mu$ eingesetzt werden kann.

Der mittlere Schubstangenstellwinkel berechnet sich aus:

$$\sin \beta_m = \frac{h}{l} \quad (9)$$

Nach Bild 3 gilt:

$$F_x = \frac{F_{NV}}{\tan \beta_m}$$

$$F_{NV} \cdot \mu + m_M \cdot g \cdot \mu + F_{RH} + F_S + F_a = F_{NV} \cdot \cot \beta_m$$

$$F_{NV}(\cot \beta_m - \mu) = m_M \cdot g \cdot \mu + F_{RH} + F_S + F_a$$

$$F_{NV} = \frac{m_M \cdot g \cdot \mu + \frac{W_S(0,58 \cdot \mu + 1)}{H} + m_{osz} \cdot a_m}{\cot \beta_m - \mu} \quad (10)$$

Daraus die Reibungsleistung:

$$P_{RV} = (F_{NV} + m_M \cdot g) \cdot \mu \cdot V_{Mm} \quad (11)$$

Mit der mittleren Messergeschwindigkeit

$$V_{Mm} = 2 \cdot H \cdot n \quad (12)$$

Die Antriebsleistung des Fingerschneidwerks ist die Summe aus Schnittleistung und Reibungsleistung

$$P_F = \frac{P_S + P_{RH} + P_{RV}}{\eta_m} \quad (13)$$

Literatur

- [1] KANAFOJSKY, C.: Theorie, Berechnung und Konstruktion von Landmaschinen, Bd. II/1, S. 80. VEB Verlag Technik Berlin 1961
- [2] ebenda: S. 43
- [3] ebenda: S. 95 bis 97
- [4] BUSCH/PLEYNER: Maschinenteile Bd. V, Schubkurbelgetriebe S. 28. VEB Fachbuchverlag Leipzig 1963