

sind, ist eine relativ einfache und mit geringen Kosten verbundene Methodik zur Ermittlung solcher Werte zu erarbeiten. Da es sich bei den hier geforderten Grenznutzungsdauerwerten um Richtwerte handelt, wird eingeschätzt, daß die über den Umsatz der Niederlassungen der VVHB errechneten durchschnittlichen Grenznutzungsdauerwerte trotz ihrer Fehlerhaftigkeit eine Grundlage für Abschätzungen darstellen.

Zur Einschätzung der Verschleißteile bei Neu- und Weiterentwicklungen besteht die Möglichkeit, die errechneten Werte für die Grenznutzungsdauer der Verschleißteile des Typenvorläufers zu verwenden, wenn auf Grund der Verwendung gleicher oder ähnlicher Teile solche Schlußfolgerungen möglich sind. Außerdem kann nach Serienbeginn durch die Errechnung der Grenznutzungsdauer eine Kontrolle des Grenznutzungsdauer-Richtwertes erfolgen.

Zur Ausarbeitung der Grenznutzungsdauerwerte für Verschleißteile bei den bereits in Serie befindlichen Erzeugnissen kann die errechnete Grenznutzungsdauer als Ausgangsbasis benutzt werden, wenn eine Errechnung auf Grund vorhandener Primärdaten möglich ist.

Eine Ersatzteilplanung für länger als zwei Jahre in Serie gefertigter Erzeugnisse auf Grund errechneter Grenznutzungsdauerwerte scheidet aus, da von den Umsätzen ausgegangen wird und diese bei Rückrechnung wieder die Ausgangsdaten

sind. Für die Ersatzteilplanung sollte eine genaue Analyse des Umsatzes je Position weitergeführt werden, damit alle bedarfsbildenden Faktoren berücksichtigt werden. Die wesentlichste Aufgabe zur Verbesserung der Ersatzteilplanung ist das Vorhandensein und vor allem die Anwendung der Verschleißgrenzen (Aussonderungsgrenzen und Schrottgrenzen) im Instandsetzungssektor der Landwirtschaft.

Bei Anwendung vorhandener Verschleißgrenzen und damit eines etwa gleichen Niveaus der Instandsetzung in der DDR ist eine repräsentative Ermittlung der wirklichen Grenznutzungsdauer der Einzelteile zum Zweck der Ersatzteilplanung nicht notwendig, da das aufgezeichnete statistische Material in den Zirkulationsorganen eine präzise und vor allem statistisch gesicherte Aussage ergibt, die auch alle anderen bedarfsbildenden Faktoren beinhaltet. Daraus folgt, daß zur Verbesserung der Ersatzteilplanung und -versorgung die Erarbeitung wissenschaftlich begründeter Verschleißgrenzen für Baugruppen und Einzelteile sowie deren Anwendung bei der Instandsetzung unbedingt erfolgen muß.

Die Verwendung der Grenznutzungsdauerwerte zur Ersatzteilplanung ist dort notwendig, wo kein statistisches Material über den Umsatz bzw. Verbrauch vorliegt. Das ist bei Neukonstruktionen der Fall.

Literatur

- [4] —: Forschungsteilbericht: Bedarfsvorhersage für Landmaschinenersatzteile. Institut für Datenverarbeitung, Dresden-Klotzsche, 1967
A 7424/11

Aus unseren Ingenieurschulen für Landtechnik

Dipl.-Ing. M. DELITZ, KDT*

Berechnung von Schleuderscheiben

1. Allgemeines

In der Landtechnik sind vielfach Aggregate als Baugruppen oder selbständige Maschinen zu finden, die das Gut mit Hilfe von Zentrifugal- und Coriolisbeschleunigung auf eine Abwurfgeschwindigkeit bringen und dann auf einer ballistischen Bahn gegen Luftwiderstand im freien Wurf fördern. Dazu gehören u. a.

- Bodenfräsen
- Schleuderscheiben für Kalk, Mineraldünger, Sand, Jauche, Gülle, Stäubemittel
- Aufnahmetrommeln
- Wurfförderer
- Schleuderradrodler für Kartoffeln
- Kreiselradpumpen.

An allen genannten Aggregaten wirken Zentrifugal- und Corioliskraft, Gewicht, Reibungswiderstände und Trägheitskräfte auf die zu beschleunigenden Teilchen.

Der im freien Wurf wirkende Luftwiderstand ist um so weniger zu vernachlässigen, je geringer die Dichte des zu fördernden Mediums, je geringer die Teilchengröße, je kleiner die Fördermenge und je größer die Abwurfgeschwindigkeit sind. Bei kleiner Fördermenge gewinnt der Widerstandsbeiwert der Fördergutteilchen zunehmend an Bedeutung, da dann der Fördergutstrahl oder -schleier an Kompaktheit verliert und das einzelnen Teilchen dem Luftwiderstand stärker ausgesetzt ist.

Im vorliegenden Beitrag sollen Schleuderscheiben, wie sie beispielsweise an Schleuderdüngerstreuern Verwendung finden, untersucht werden. Berechnet werden soll die Abwurfgeschwindigkeit, mit der die Teilchen die Scheibe verlassen, ferner soll versucht werden, eine Aussage über Antriebsleistung und Drehmoment zu treffen.

2. Formen von Schleuderscheiben

Schleuderscheiben sind kreisrund flach oder nach außen kegelförmig ansteigend. Sie besitzen eine vertikale Drehachse und rotieren mit konstanter Winkelgeschwindigkeit. Damit das Gut tangential auf Umfanggeschwindigkeit beschleunigt werden kann, sind sie an der Oberseite mit Leitschaufeln versehen. In der Praxis haben normale und rückwärts ausgestellte gerade oder gekrümmte Schaufeln den Vorrang. Theoretisch sind natürlich auch in Drehrichtung nach vorn gekrümmte Schaufeln möglich. Bei ihnen treten jedoch infolge hoher Corioliskräfte große Reibungsverluste auf. In Bild 1 sind Schleuderscheiben- und Schaufelformen dargestellt.

Die Schaufeln können in zwei Grenzformen auftreten:

- Rückwärts gekrümmte Schaufel, bei der gerade die Corioliskraft gleich Null wird. Die Form hängt von der Scheibendrehzahl und dem Reibungsfaktor Gut/Scheibe ab. Es treten geringe Reibungsverluste auf. Die Abwurfgeschwindigkeit (und damit auch die Wurfweite) ist gering.
- Normale Schaufel mit größerer Abwurfgeschwindigkeit und Wurfweite. Die Reibungsverluste sind jedoch ebenfalls größer.

3. Kräfte am Masseteilchen

Bild 2 zeigt jeweils ein Masseteilchen während der Bewegung. Nach dem Prinzip von d'Alembert erhält man für den allgemeinen Fall (rückwärts angestellte Schaufel- und keglige Schleuderscheibe) folgendes Kräftegleichgewicht:

$$F_Z \cdot \cos \alpha \cdot \cos \beta - m \cdot g \cdot \sin \alpha \cdot \cos \beta - F_R - F = 0 \quad (1)$$

* Ing.-Schule für Landtechnik, Berlin-Wartenberg (Direktor: Dipl.-Ük. K. SCHMIDT)

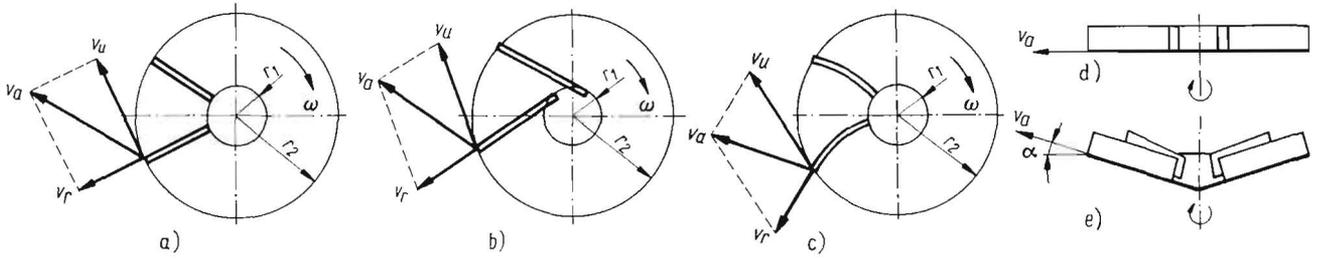
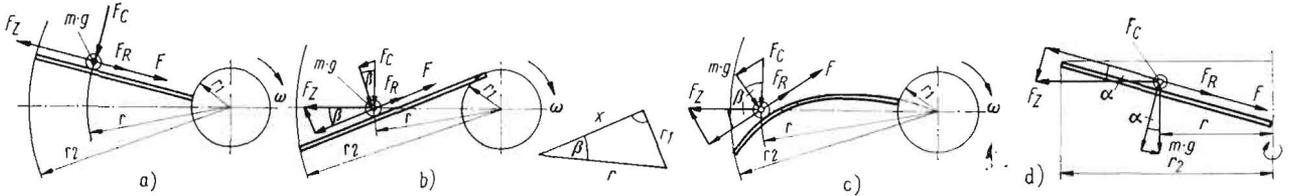


Bild 1 (oben). Schleuderscheiben- und Schaufelformen
 a) Normale Schaufeln
 b) Rückwärts angestellte gerade Schaufeln
 c) Rückwärts gekrümmte Schaufeln mit geringer Corioliskraft
 d) Flache Schleuderscheibe für waagerechten Wurf
 e) Keglige Schleuderscheibe für schräg aufwärts gerichteten Wurf
 v_u Umfangsgeschwindigkeit der Scheibe, v_r relative Abwurfgeschwindigkeit, v_a absolute Abwurfgeschwindigkeit

Bild 2 (unten). Kräfte am Masseiteichen
 a) Teilchen an der normalen Schaufel,
 b) Teilchen an der rückwärts angestellten Schaufel,
 c) Teilchen an der rückwärts gekrümmten Schaufel,
 d) Teilchen auf der kegigen Schleuderscheibe (mit normalen Schaufeln);
 r_1 Abstand des Aufgabepunktes von der Drehachse, r augenblicklicher Abstand von der Drehachse, r_2 Abstand des Abwurfpunktes von der Drehachse, F_Z Fliehkraft, F_C Corioliskraft, F_R Reibungswiderstand, F Trägheitskraft, β Schaufelanstellwinkel zur Normalen, α Steigungswinkel der Schleuderscheibe. In a); b) und c) bewegen sich die Teilchen auf einer ebenen Schleuderscheibe.



Darin sind zu setzen:

Die Zentrifugalkraft

$$F_Z = m \cdot r \cdot \omega^2 \quad (2)$$

Der Reibungswiderstand an der Scheibe und an der Schaufel

$$F_R = m \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot \cos \beta \cdot \mu + F_Z \cdot \sin \alpha \cdot \cos \beta \cdot \mu + m \cdot g \cdot \sin \alpha \cdot \sin \beta \cdot \mu + (F_C \cdot \cos \beta - F_Z \cdot \sin \beta) \cdot \mu \quad (3)$$

Die Trägheitskraft

$$F = m \cdot x''; \quad x = k_1 \cdot r \quad (4)$$

$$F = m \cdot (k_1 \cdot r)''$$

Die Corioliskraft

$$F_C = 2 \cdot m \cdot \omega \cdot r' \quad (5)$$

Man erhält für den allgemeinen Fall eine inhomogene lineare Differentialgleichung:

$$(k_1 \cdot r)'' + 2 \cdot \omega \cdot \cos \beta \cdot \mu \cdot r' - \omega^2 \cdot (\cos \alpha \cdot \cos \beta - \sin \alpha \cdot \cos \beta \cdot \mu + \sin \beta \cdot \mu) \cdot r + g \cdot (\sin \alpha \cdot \cos \beta + \cos \alpha \cdot \cos \beta \cdot \mu + \sin \alpha \cdot \sin \beta \cdot \mu) = 0 \quad (6)$$

Die drei Sonderfälle a); b) und c) in Bild 2 haben folgende Besonderheiten:

Normale Schaufel, ebene Scheibe

$$k_1 = 1$$

$$\alpha = 0$$

$$\beta = 0$$

Rückwärts angestellte Schaufel, ebene Scheibe

$$k_1 = \cos \beta$$

$$\alpha = 0$$

$$\beta = \arcsin r_1 : r$$

Rückwärts gekrümmte Schaufel, ebene Scheibe

$$k_1 = f(\beta)$$

$$\alpha = 0$$

$$\beta = f(r) \text{ oder } \beta = \text{konstant}$$

Im folgenden soll am Sonderfall a) gezeigt werden, wie mit Gleichung (6) weitergearbeitet wird.

4. Berechnung der Abwurfgeschwindigkeit am Beispiel der ebenen Schleuderscheibe mit normalen Schaufeln

Unter Berücksichtigung der obengenannten Besonderheiten erhält man die Differentialgleichung

$$r'' + 2 \cdot \omega \cdot \mu \cdot r' - \omega^2 \cdot r + g \cdot \mu = 0 \quad (6.1)$$

Lösungsansatz für den homogenen Teil der Differentialgleichung:

$$r_h = c \cdot e^{\lambda \cdot t}$$

$$r_h' = c \cdot \lambda \cdot e^{\lambda \cdot t}$$

$$r_h'' = c \cdot \lambda^2 \cdot e^{\lambda \cdot t}$$

In 6.1 eingesetzt:

$$c \cdot \lambda^2 \cdot e^{\lambda \cdot t} + c \cdot 2 \cdot \omega \cdot \mu \cdot \lambda \cdot e^{\lambda \cdot t} - c \cdot \omega^2 \cdot e^{\lambda \cdot t} = 0$$

$$\lambda^2 + 2 \cdot \omega \cdot \mu \cdot \lambda - \omega^2 = 0$$

$$\lambda_1 = \omega \cdot (\sqrt{1 + \mu^2} - \mu); \quad \lambda_2 = -\omega \cdot (\sqrt{1 + \mu^2} + \mu)$$

Da die Reibungszahlen jedoch nicht konstant sind, ist es zulässig, $\sqrt{1 + \mu^2} \approx 1$ zu setzen. Die Lösung der zugehörigen homogenen Dgl. von 6.1 ist dann:

$$\lambda_1 = \omega \cdot (1 - \mu); \quad \lambda_2 = -\omega \cdot (1 + \mu)$$

$$r_h = c_1 \cdot e^{\omega \cdot (1 - \mu) \cdot t} + c_2 \cdot e^{-\omega \cdot (1 + \mu) \cdot t} \quad (6.1.1)$$

Lösungsansatz für die Störfunktion:

$$r_{St} = K_2$$

$$r_{St}' = 0$$

$$r_{St}'' = 0$$

In 6.1 eingesetzt

$$-\omega^2 \cdot K_2 + g \cdot \mu = 0$$

Die Lösung der Störfunktion von (6.1):

$$r_{St} = K_2 = \frac{g \cdot \mu}{\omega^2} \quad (6.1.2)$$

Die Lösung von (6.1) ist mit (6.1.1) und (6.1.2):

$$r = c_1 \cdot e^{\omega \cdot (1-\mu) \cdot t} + c_2 \cdot e^{-\omega \cdot (1+\mu) \cdot t} + \frac{g \cdot \mu}{\omega^2} \quad (7)$$

Einmalige Ableitung nach der Zeit und Einsetzen der Anfangsbedingungen

$$\begin{aligned} r(t=0) &= r_1 \\ r'(t=0) &= 0 \end{aligned}$$

ergibt die Konstanten

$$\begin{aligned} c_1 &= \frac{\omega^2 \cdot r_1 - g \cdot \mu}{\omega^2} \cdot \frac{1 + \mu}{2} \\ c_2 &= \frac{\omega^2 \cdot r_1 - g \cdot \mu}{\omega^2} \cdot \frac{1 - \mu}{2} \end{aligned}$$

Diese in (7) eingesetzt, ergibt die endgültige Lösung:

$$r = \frac{1}{\omega^2} \left[(\omega^2 \cdot r_1 - g \cdot \mu) \cdot \left(\frac{1 + \mu}{2} \cdot e^{\omega \cdot t \cdot (1-\mu)} + \frac{1 - \mu}{2} \cdot e^{-\omega \cdot t \cdot (1+\mu)} \right) + g \cdot \mu \right] \quad (8)$$

In (8) wird $r = r_2$ gesetzt. Die Gleichung läßt sich nicht nach t auflösen. Mit Hilfe einer Wertetabelle und graphischer Lösung wird die Zeit t_2 ermittelt, in der sich das be-

trachtete Teilchen von r_1 nach r_2 bewegt. Anschließend wird (8) nochmals nach der Zeit differenziert:

$$r' = \frac{\omega^2 \cdot r_1 - g \cdot \mu}{2 \cdot \omega} \cdot (1 - \mu^2) \cdot (e^{\omega \cdot t \cdot (1-\mu)} - e^{-\omega \cdot t \cdot (1+\mu)}) \quad (9)$$

Das Ergebnis von (8) wird in (9) eingesetzt.

$$v_r = r'(t_2)$$

Nach Bild 1 läßt sich dann leicht die Abwurfgeschwindigkeit v_a ermitteln.

Bild 3 zeigt die relative und absolute Abwurfgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Reibungsziffer für eine Schleuderscheibe mit den Daten:

$$\begin{aligned} r_2 &= 290 \text{ mm} \\ r_1 &= 50 \text{ mm} \\ n &= 540 \text{ min}^{-1} \end{aligned}$$

5. Ermittlung der nötigen Antriebsleistung

Den Teilchen wird auf der Scheibe in der Zeiteinheit eine Energie mitgeteilt. Diese setzt sich zusammen aus:

- der kinetischen Energie der geworfenen Teilchen (Translationsenergie)
- der Reibungsenergie und
- der Rotationsenergie der Teilchen.

Letztere kann vernachlässigt werden. Die kinetische Energie (Translation):

$$W_{\text{kin}} = \frac{m}{2} \cdot v_a^2 \quad (10)$$

Die Reibungsenergie ist:

$$W_R = \int_{x_1}^{x_2} F_R \cdot dx \quad (11)$$

Für das bereits unter 4. betrachtete Beispiel ist das:

$$W_R = \int_{r_1}^{r_2} (m \cdot g + 2 \cdot m \cdot \omega \cdot r') \cdot \mu \cdot dr \quad (11.1)$$

Der erste Summand des Klammerausdruckes ist die Reibungsenergie auf der Scheibenfläche. Sie beträgt:

$$W_{R1} = m \cdot g \cdot \mu \cdot (r_2 - r_1) \quad (11.1.1)$$

Der zweite Summand des Klammerausdruckes gibt die Reibungsenergie an der Schaufel an. Sie beträgt:

$$W_{R2} = 2 \cdot m \cdot \omega \cdot \mu \cdot \int_{r_1}^{r_2} r' \cdot dr \quad (11.1.2)$$

Der Integrand ist in Abhängigkeit von der Zeit variabel. Für r' muß Gleichung (9) gesetzt werden. r' in (9) ist aber nicht radiusabhängig, sondern zeitabhängig dargestellt. Daher muß substituiert werden:

$$r' = \frac{dr}{dt}; \quad dr = r' \cdot dt$$

Damit kann für (11.1.2) gesetzt werden:

$$W_{R2} = 2 \cdot m \cdot \omega \cdot \mu \cdot \int_0^{t_2} r'^2 \cdot dt \quad (11.1.3)$$

Die Reibungsenergie ist damit:

$$\begin{aligned} W_R &= W_{R1} + W_{R2} \\ &= m \cdot g \cdot \mu \cdot (r_2 - r_1) + 2 \cdot m \cdot \omega \cdot \mu \cdot \int_0^{t_2} r'^2 \cdot dt \\ W_R &= m \cdot \mu \cdot \left[g \cdot (r_2 - r_1) + 2 \cdot \omega \cdot \int_0^{t_2} r'^2 \cdot dt \right] \quad (11.2) \end{aligned}$$

(Schluß auf Seite 242)

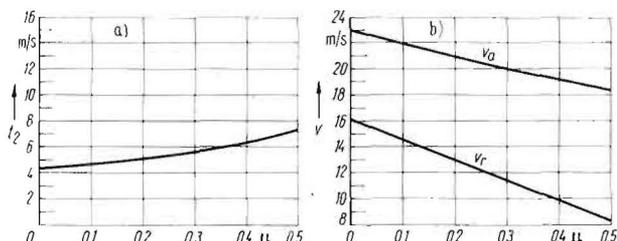


Bild 3. Beschleunigungszeiten und Abwurfgeschwindigkeiten bei einer Schleuderscheibe mit normalen Schaufeln in Abhängigkeit von der Reibungszahl;
 $r_2 = 290 \text{ mm}$; $r_1 = 50 \text{ mm}$; $n = 540 \text{ min}^{-1}$;
 a) Beschleunigungszeit
 b) Absolute und relative Abwurfgeschwindigkeit v_a und v_r

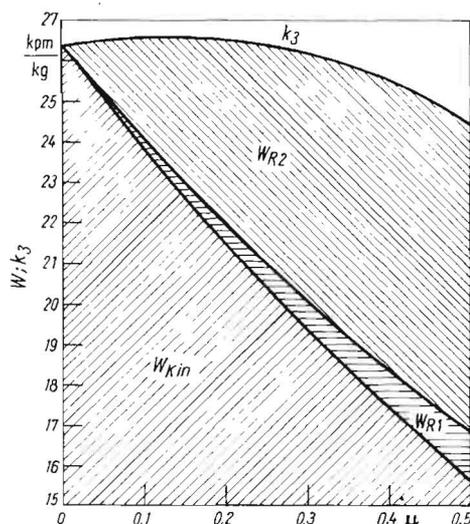


Bild 4. Antriebsenergie für eine Schleuderscheibe mit normalen Schaufeln in Abhängigkeit von der Reibungszahl;
 $r_2 = 290 \text{ mm}$; $r_1 = 50 \text{ mm}$; $n = 540 \text{ min}^{-1}$; W_{kin} kinetische Energie (Wurfenergie); W_{R1} Reibungsenergie an der Schleuderscheibe; W_{R2} Reibungsenergie an der Schaufel; k_3 Faktor zur Bestimmung der Antriebsleistung

Siebscheiben als Arbeitselemente in Kartoffelsammelrodern

Ing. K. ZIEMS, KDT

Aus der Literatur sind in den letzten Jahren Sieborgane in Kartoffelernte- und Aufbereitungsmaschinen bekannt geworden, die als Arbeitselemente Siebscheiben besitzen [1] [2] [3] [4].

Obwohl fast ausschließlich bessere Absiebleistungen als mit den konventionellen Sieborganen erreicht wurden, fehlen konkrete Angaben über geeignete Siebscheibenformen, deren Größenabmessungen, der zulässigen Siebspaltbreite u. a. sowie über aufgetretene Kartoffelbeschädigungen. Eine Reihe Labor- und Feldversuche diente der Klärung einiger dieser Fragen [5].

Die Siebintensität ist bekanntlich wesentlich von der aktiven Bewegung des Gutes während des Siebvorgangs und damit in diesem Fall von der Form und Umfangsgeschwindigkeit der Siebscheiben abhängig, wobei die physikalischen Eigenschaften der Kartoffeln eine obere Grenze für die auftretenden Belastungen setzen. Die Formen der einzelnen Siebelemente dieses Typs sind sehr unterschiedlich und reichen von einfachen runden Stäben über runde und gezahnte Scheiben bis zu vieleckigen z. T. gummierten Elementen (Bild 1).

Nach Auswertung eines Patent- und Literaturstudiums und nach ersten Laborversuchen wurden die Untersuchungen auf runde, exzentrische, bogendreieckförmige und dreieckige Scheiben beschränkt (Bild 2).

Die Siebscheiben sind aus abriebfestem Gummi gefertigt und durch seitliche Blechscheiben stabilisiert; die technischen Daten enthält Tafel 1.

(Schluß von Seite 141)

Die Antriebsenergie beträgt:

$$W = W_{kin} + W_R$$

$$W = \frac{m}{2} \cdot v_a^2 + m \cdot \mu \cdot \left[g \cdot (r_2 - r_1) + 2 \cdot \omega \cdot \int_0^{t_2} r'^2 \cdot dt \right] \quad (12)$$

Damit läßt sich die Antriebsleistung berechnen:

$$P = \frac{W}{t}$$

$$P = \frac{m}{t} \cdot \left\{ \frac{v_a^2}{2} + \mu \cdot \left[g \cdot (r_2 - r_1) + 2 \cdot \omega \cdot \int_0^{t_2} r'^2 \cdot dt \right] \right\} \quad (13)$$

Der Ausdruck in der geschweiften Klammer soll mit k_3 bezeichnet werden. Der Quotient $m/t = Q$ ist die Fördermenge in der Zeiteinheit. Berücksichtigt man noch den mechanischen Wirkungsgrad, dann wird die Antriebsleistung endgültig:

$$P = \frac{Q \cdot k_3}{\eta_m} \quad (14)$$

In Bild 4 sind für das in Abschnitt 4 angeführte Zahlenheispiel Bewegungsenergie und Reibungsenergie je kg Streugut sowie der Faktor k_3 dargestellt. Die Werte müssen jeweils mit der Fördermenge in kg/s bzw. der Masse in kg multipliziert werden.

6. Das Antriebsdrehmoment

Aus der Leistung und der Drehzahl berechnet man das Drehmoment

$$M_t = \frac{71620 \cdot P}{n}; \quad \frac{M_t}{\text{kpem}} \quad \frac{P}{\text{PS}} \quad \frac{n}{\text{min}^{-1}} \quad (15)$$

A 7537

Um Kartoffelquetschungen, Steinverklümmungen und Krautwicklungen möglichst auszuschalten, wurde die Stellung der einzelnen Siebwellen zueinander so gewählt, daß der Abstreifwinkel $> 90^\circ$ beträgt. Im Versuchsträger war die jeweilige Siebscheibengruppe hinter der ersten Siebkette angeordnet, auf der Übergabewelle befanden sich bei allen Varianten runde Siebscheiben.

Erprobt wurden die Siebscheibengruppen auf sandigen Lehnböden mit 6 bis 12 Masse% Bodenfeuchte und hohem Erdklutenanteil bei grünem, z. T. angewelktem ungeschlagenem Bewuchszustand. Ferner fand die bogendreieckförmige Siebscheibengruppe in einer Sonderprüfung als Siebelement in einem stationären Erdabscheider unter steinigem und feuchten Einsatzbedingungen Verwendung.

Versuchsauswertung

Die in den Feldversuchen gewonnenen Ergebnisse haben gezeigt, daß die Siebscheiben unter den angeführten Einsatzbedingungen für das Absieben von Erde in Kartoffelsammelrodern verwendbar sind. Trotz der geringen Siebfläche konnte in allen Fällen ein um mindestens 10 Masse% besserer Absiebungsgrad mit den Siebscheiben gegenüber der Siebkette erreicht werden. Die graphisch dargestellten Färsatzergebnisse einer Versuchsreihe veranschaulichen die auf-

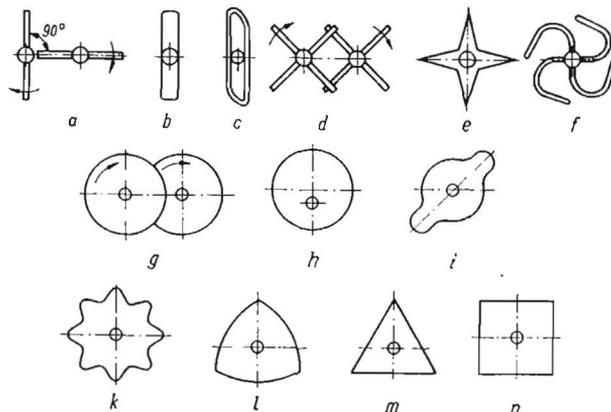


Bild 1. Schematische Darstellung einiger Siebelementarten

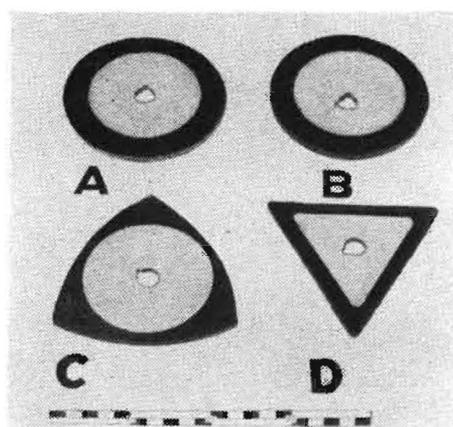


Bild 2. Erprobte Siebscheibenformen: A runde Scheibe, B exzentrisch gelagerte Scheibe, (B' um 120° versetzt gelagerte exzentrische Scheiben), C Bogendreieckscheibe, D gleichseitige Dreieckscheibe