

Gegen eine solche Lösung sprechen jedoch die bereits angeführten sehr hohen Anlagekosten und ein verhältnismäßig niedriger Wirkungsgrad.

Die angeführten konkreten Beispiele der Berechnung des Energiebedarfs und -verbrauchs sowie der möglichen Erzeugung des Großbetriebes bzw. der Landwirtschaftlichen Produktionsgenossenschaft dürften diese Feststellungen bestätigen.

4. Schlußfolgerung

Bei einer kritischen Betrachtung der Wirtschaftlichkeit von Humus- und biologischen Gasanlagen im Hinblick auf die energetischen Faktoren kann auf der Grundlage vorliegender Teilergebnisse dieses Forschungsgebietes zusammenfassend folgendes gesagt werden:

Die mesophile Faulung ist der thermophilen Faulung energie-wirtschaftlich überlegen. Die Anlagekosten sind für das thermo-phile Gärungsverfahren zwar bedeutend geringer, die Energie-bilanz gestaltet sich aber so ungünstig, daß die Anlagen un-wirtschaftlich arbeiten.

Die Energiebilanz ist nicht unwesentlich von der Isolierung der Faulräume abhängig, da eine Isolierung über einen K -Wert von $0,4 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ unwirtschaftlich ist. Die Isolierkosten werden dann höher als der Wert des durch eine sehr gute Isolierung eingesparten Gases. Es hat sich erwiesen, daß die Verluste an Energie durch Wärmestrahlung und -leitung bei Faulraumbehältern unter 100 m^3 eine ansteigende Tendenz zeigen und aus diesem Grunde das Volumen von 100 m^3 die unterste Grenze darstellt. Die Wirtschaftlichkeit von Humus- und biologischen Gasanlagen ist von der richtigen Konstruktion und Auslegung abhängig, wenn Anlagen nicht große Energiemengen für den Eigenbedarf verbrauchen sollen.

Eine Energieautarkie für die Landwirtschaft ist auf Grund der derzeitigen Erkenntnisse auf dem Gebiet der biologischen Gaserzeugung und auf Grund der zur Verfügung stehenden Ausgangsstoffe nicht möglich. Die maximale Energieerzeugung liegt in den Sommermonaten. In den Wintermonaten wird

durch die Außentemperaturen die Gaserzeugung nachteilig beeinflusst.

Es muß der weiteren Forschung vorbehalten bleiben, neue Möglichkeiten zu finden, um auf technischem und biologischem Gebiet die Energiebilanz im Interesse einer besseren Wirtschaftlichkeit positiv zu gestalten.

Wenn ich bewußt energiewirtschaftliche Fragen in den Vordergrund meiner Ausführungen gestellt habe, so deshalb, weil die Bedeutung dieser Fragen oft unterschätzt wird und weil beim Bau von Anlagen auf diesem Gebiet häufig Fehler gemacht werden.

Humus- und biologische Gasanlagen können niemals ausschließlich vom Standpunkt der Energie aus betrachtet werden. Die Wirtschaftlichkeit solcher Anlagen ist nicht zuletzt von der Erzeugung eines wertvollen Humusdüngers abhängig zur Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit. Darüber hinaus müssen die betriebs- und arbeitswirtschaftlichen Vorteile, die sich bei der Errichtung solcher Anlagen ergeben, für die Wirtschaftlichkeit mit ausschlaggebend sein.

Literatur

- [1] Tieljen: Methan und Stalldünger. Landbauforschung (1954) H. 4, S. 80.
- [2] Imhoff: Biologische Gasgewinnung aus Abfallstoffen. Rundschau Deutscher Techniker (1944) H. 5/6, S. 4.
- [3] Schmidt-Eggersgluß: Defu-Mitteilungen (1951) H. 9.
- [4] Kertscher: Biogasgewinnung. Wissenschaftliche Zeitschrift der Universität Rostock 2. Jg., H. 3 der Reihe Mathematik und Naturwissenschaften, S. 209.
- [5] Neuling: Der Wärmehaufwand für den Betrieb von Biogasanlagen. Deutsche Agrartechnik (1955) H. 6.
- [6] Rosegger: Neue Wege in der Stallentmischung. Deutsche Agrartechnik (1955) H. 6, S. 200.
- [7] Keefer: A new Method of Heating Sludge Digesters. Water Work and Sewerage (1946) Nr. 93, S. 236 bis 238.
- [8] Downes: Gas Collection and Sludge Heating. Sewage Works Journal (1932) Nr. 4, S. 72 bis 82.
- [9] Miles: Evaluation of Methodes of Heating Sludge. Sewage Works Journal (1947), März, S. 161 bis 169.
- [10] Smith-Morris: Use of the Heat Pump for Digester Heating. Sew. Ind. Wast (1953), Nr. 25, S. 1369.
- [11] Feldmann: Biogas - energiewirtschaftlich gesehen. Landtechnische Forschung (1954) H. 3, S. 65 bis 78. A 2143

Die Arbeitsorgane der Futterzerkleinerungsmaschinen¹⁾

Von Prof. I. I. SMIRNOW, Moskau, Gastprofessor an der TH Dresden

DK 631.363.4.001.2

Die Futterzubereitung besteht aus folgenden Arbeitsgängen: Waschen, Reinigen, Zerschneiden, Quetschen, Zermahlen, Dämpfen oder Kochen, Abmessen und Vermischen des Futters. Besonders wichtig ist dabei das Zerschneiden des Futters, das noch nicht genügend erforscht ist.

Zerschnitten werden sowohl Rauhfutter (Heu, Stroh, verschiedene Pflanzenstengel, Grünfutter usw.) als auch Hackfrüchte (Kartoffeln, Futterrüben, Steckrüben und andere) und Kürbisartige Früchte (Kürbisse, Futtermelonen und andere).

Das Rindviehrauhfutter soll eine Schnittlänge von 20 bis 35 mm und das Rauhfutter für Pferde und Schafe eine Schnitt-

länge von 8 bis 20 mm haben. Das auf diese Weise zerkleinerte Futter wird danach mit kochendem Wasser übergossen oder gedämpft und mit Kraffutter vermengt. Das als Streu verwendete Stroh soll eine Schnittlänge von 45 mm haben. Zur Fütterung des Geflügels wird Grünfutter und Silofutter zerschnitten, und zwar beträgt die Schnittlänge für Hühner und Enten 5 bis 10 mm und für Gänse 10 bis 15 mm. Das zur Fütterung von Schweinen vorgesehene Heu wird in 10 bis 15 mm lange Stücke geschnitten.

Zum Zerschneiden werden Maschinen mit Stahlmessern benutzt, die an Schwungrädern oder Trommeln befestigt werden. Sie heißen Häckselmaschinen oder Häcksler.

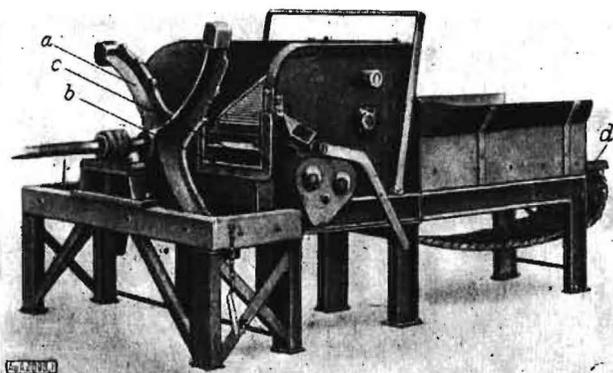


Bild 1. Häckselmaschine für Rauh- und Grünfutter

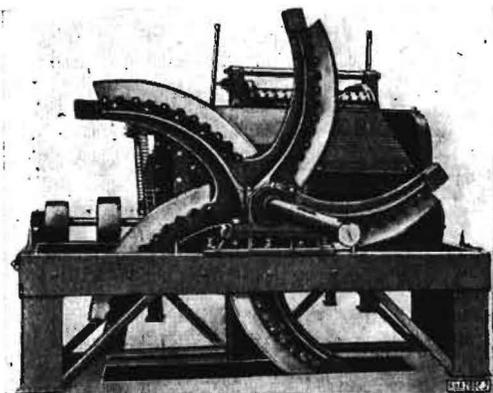


Bild 2. Schelbenschneidwerk des Silohäckslers Grumbach

¹⁾ Anmerkung der Redaktion s. S. 401, unten rechts

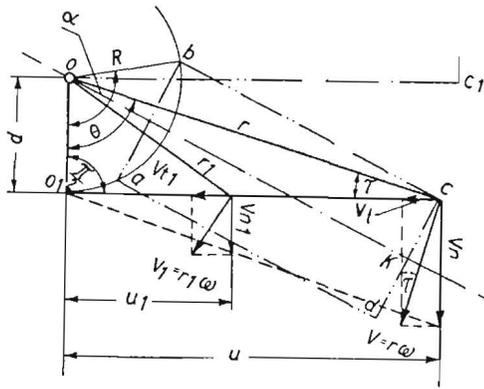


Bild 3

Die Hauptteile der Häckselmaschinen für Rau- und Grünfutter (Bild 1) sind: *a* Messerwerk, *b* Mundstück, *c* Einzugsrollen, *d* Zuführlade mit oder ohne Zuführband und Treibwerk. Außerdem sind einige Silohäcksler mit Preßtrommel und Fördergebläse ausgerüstet.

Der technologische Schneidprozeß des Futtergutes verläuft folgenderweise: Das in die Zuführlade eingelegte Schnittgut wird durch die Einzugsrollen erfaßt, vorgepreßt und dann dem Messerwerk zugeführt (in Bild 1 sind die Messer abgenommen). Hat das Messerwerk das Gut zerkleinert und ist ein Fördergebläse vorhanden, so wird die Schnittmasse dem Silohälter zugeführt, ohne Fördergebläse aber in besondere Gruben abgeleitet.

Der Hauptteil eines Silohäckslers ist sein Scheiben- bzw. Trommelschneidwerk. In Bild 2 ist das Scheibenschneidwerk des Silohäckslers Grumbach dargestellt. Das Schneidwerk besteht aus einem an der Triebwelle starr angebrachten fünfarmigen Messerträger, an dessen Arme Messer mit gekrümmten Schneiden angeschraubt werden.

Die Arbeitsorgane der Häcksler zerschneiden das Futter mit Messerschneiden. Entweder bewegt sich die Schneidkante, die durch die gegeneinander geneigten Ebenen der Messerfacetten gebildet wird, senkrecht zu sich selbst oder die Bewegung setzt sich aus zwei Bewegungen zusammen, von denen die eine senkrecht und die andere parallel zur Schneidkante gerichtet ist.

Im ersten Falle hackt die Schneide, ohne zu ziehen. Der von der Schneide gebildete Keil dringt in das Schnittgut ein, drückt es zunächst mit seinen Seitenflächen und zerreißt und spaltet es danach.

Im zweiten Falle ist der Schnitt ziehend. Durch das Ziehen wird die erforderliche Schnittkraft bedeutend vermindert, und der Schnitt ist besser.

Damit in den Scheibenradhäckslern die Schneide das zugeführte Schnittgut vollständig zerschneidet, muß sich das Messer im Drehpunkt *O* (Bild 3) um den Überstreichungswinkel α drehen. Der Winkel α hängt von der Schneidkantenlänge, von der Strecke *R* zwischen Punkt *b* des Mundstückes *abcd* und der Drehachse *O*, den Strecken *ab* und *ad* und der Lage des Mundstückes gegenüber der waagerechten Mittellinie *Ok* ab. Bei der Bestimmung des Überstreichungswinkels α sind außerdem eine Reihe von konstruktiven Forderungen zu erfüllen. Z. B. müssen die Messer sich ohne Schwierigkeiten und zuverlässig am Schwungrad befestigen lassen, ihre Einstellung muß leicht geregelt werden können usw.

Die Größe des Überstreichungswinkels α ist von großem Einfluß auf die Gleichmäßigkeit der Schwungradrotation. Wenn er richtig gewählt wird, so arbeitet das Schneidwerk mit geringer Ungleichmäßigkeit. Die Ungleichmäßigkeit in der Arbeit des Schneidwerkes kommt dadurch zustande, daß die Schneiden während einer vollen Umdrehung nur an gewissen Stellen schneiden und das Schneidwerk auf dem übrigen Teil des Kreisumfanges leer läuft. Der Überstreichungswinkel α hat bei den vorhandenen Häckslern folgende Werte:

Schneide	α
gerade	70 . . . 90°
gekrümmt	80 . . . 125°
schraubenförmig (Trommelhäcksler)	80 . . . 90°

Nach der Theorie von Akademiemitglied *W. P. Gorjatschkin* (Ges. Werke, Bd. 5) erfolgt das Schneiden ohne Ziehen, wenn Messer mit gerader Schneide so auf der Scheibe befestigt sind, daß die von der Schneidkante gebildete Gerade *Oc* durch den Drehpunkt *O* verläuft. Wenn jedoch die gerade Schneidkante so liegt, daß sie am Drehpunkt im Abstand *p* vorbeigeht (Bild 3), so kann man die Umfangsgeschwindigkeit $r\omega$ eines beliebigen Punktes der Schneidkante *o₁c* in zwei Komponenten zerlegen, und zwar in die zur Schneidkante senkrechte Geschwindigkeit v_n und in die mit der Schneidkante zusammenfallende Geschwindigkeit v_t . Hierbei ist

$$v_n = r \cdot \omega \cdot \cos \tau = \omega \cdot u \tag{1}$$

und
$$v_t = r \cdot \omega \cdot \sin \tau = \omega \cdot p. \tag{2}$$

An einer geraden Schneide ändert sich v_n in Abhängigkeit von der Lage auf der Schneidkante linear, während die Geschwindigkeit v_t für alle Punkte der Schneidkante gleich ist, weil

$$r \cdot \sin \tau = p = \text{const.}$$

Das Verhältnis zwischen v_t und v_n ist der „Abweichkoeffizient“ des Messers.

$$\varepsilon = \frac{v_t}{v_n} = \text{tg} \tau = \frac{r \cdot \omega \sin \tau}{r \cdot \omega \cos \tau} = \frac{\omega p}{\omega u} = \frac{p}{u} \tag{3}$$

Den Winkel τ nennen wir, weil er die Abweichung der Schneidkante vom Radius angibt, „Abweichwinkel“. Gl. (3) zeigt, daß mit wachsendem v_t auch $\text{tg} \tau$ wächst. Die Wirkung der ziehenden Bewegung an sich ändert sich auf der ganzen Bahn im Grunde genommen nicht, und ein großer $\text{tg} \tau$ äußert sich nur darin, daß der Elementarweg $v_t \cdot dt$, der von einem bestimmten Punkt der Schneide durchleitet wird, größer ist als der Elementarweg $v_n dt$, d. h., daß die ziehende Bewegung größer ist als die gleichzeitige hackende, zur Messerschneide senkrechte Bewegung.

Wir betrachten nun bei einer gekrümmten Schneide einen unendlich kleinen Teil der Schneidenkurve zwischen zwei benachbarten Radienvektoren, deren Länge dr sein und die miteinander einen unendlich kleinen Winkel $d\theta$ bilden mögen. Dann ist für einen beliebigen Punkt einer gekrümmten Schneidkante

$$\text{tg} \tau = \frac{r \cdot d\theta}{dr} \tag{4}$$

Hierbei ist:

- r der Radiusvektor;
- θ der Drehwinkel.

Der Messerdruck *P* fällt bei gleichbleibendem Drehmoment mit wachsendem Radius r s:

$$P = J \frac{d\omega}{dt} : r.$$

Hierbei ist:

- J* das Trägheitsmoment;
- r* der Radiusvektor.

Der Schnittwiderstand des Schnittgutes ist bei unveränderlichem τ konstant. Um also ein konstantes Drehmoment an der Maschinenwelle zu erhalten, muß die Schneidkante so gekrümmt sein, daß der Abweichwinkel τ mit wachsendem Radius *r* allmählich ansteigt.

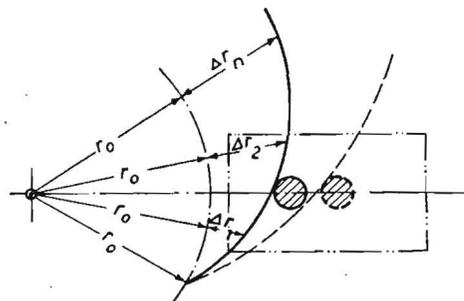


Bild 4

Zur Schneidenform ist folgendes zu sagen:

Das von der Beschickungsvorrichtung zusammengepreßte Futter kommt in das Mundstück des Häckslers, besitzt aber noch eine gewisse Elastizität. Daher wird es im Mundstück durch das Messer innerhalb seiner Elastizitätsgrenzen verlagert und immer neue Punkte der Schneidkante kommen mit ihm in Berührung. Außerdem muß die Schneidkantenkurve so verlaufen, daß bei einer Drehung der Schneidkante um einen unendlich kleinen Winkel eine möglichst große Anzahl von benachbarten Punkten der Schneidkante zum Schneiden kommt und diese im Schnittgut einen Weg zurücklegt, der dem Drehwinkel proportional ist. Die einfachste Messerform, die diese Bedingungen erfüllt, ist eine Scheibe, deren Mittelpunkt mit der Drehachse zusammenfällt. Damit das Futter aber auch geschnitten wird, ist es dann erforderlich, daß das Mundstück mit dem Schnittgut auf die Schneidkante zu bewegt wird. Diese Forderung zu erfüllen, ist aber sehr schwer, weil sich die entsprechenden Vorrichtungen schwer konstruieren lassen. Um nun das Schnittgut schneiden zu können; ohne es quer zu bewegen, muß die Schneidkante die Form einer Kurve haben, deren Radius allmählich anwächst (Bild 4):

$$r_0 < r_0 + \Delta r_1 < r_0 + \Delta r_2 < \dots < r_0 + \Delta r_n.$$

Je geringer die Differenz zwischen benachbarten Radien ist, um so länger ist auch die Schneidkantenkurve für einen bestimmten Schnitt, um so weniger tief dringt die Schneide bei jedem n -ten Teil des Überstreichungswinkels α in das Schnittgut ein und um so größer sind die Elemente der ziehenden Bewegung gegenüber den Elementen der hackenden Bewegung.

Wenn mit zwei Schneiden geschnitten wird, muß nach den Gesetzen der Mechanik folgende Bedingung erfüllt werden: der Schneidenwinkel χ , d. h. der Winkel zwischen zwei geraden Schneiden oder zwischen der Tangente einer gekrümmten Schneide und der unteren Mundstückkante (dem Gegenmesser) darf nicht größer sein als die Summe der Reibungswinkel zwischen den zu zerschneidenden Halmen und dem Messer bzw. dem Gegenmesser:

$$\chi \leq \varrho + \varrho_1 \text{ oder } \chi \leq 2\varrho, \text{ wenn } \varrho = \varrho_1.$$

Hierbei ist:

- ϱ der Reibungswinkel zwischen Schnittgut und Schneide;
- ϱ_1 der Reibungswinkel zwischen Schnittgut und unterer Mundstückkante.

Wenn also $\chi = 2\varrho$ ist, so rutscht das Schnittgut nicht weg und wird von der Schneidkante zerschnitten. Wenn aber $\chi > 2\varrho$ ist, so wird das Schnittgut von der Schneidkante weggestoßen und so lange nicht zerschnitten, bis $\chi = 2\varrho$ wird.

h möge der senkrechte Abstand der unteren Mundstückkante von der Drehachse sein (Bild 5), r der Radiusvektor der Schneid-

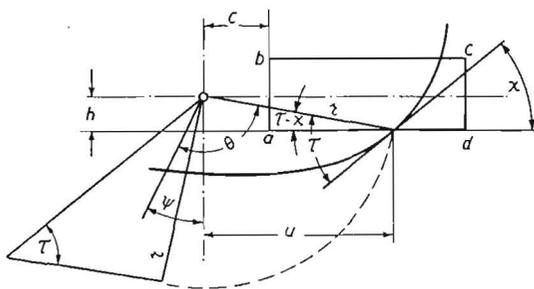


Bild 5

kantenpunkte und u der waagerechte Abstand des Schnittpunktes an der unteren Mundstückkante vom Drehpunkt. Dann erhalten wir folgende Beziehungen:

$$\begin{aligned} r^2 &= u^2 + h^2, \\ u &= r \cdot \cos(\tau - \chi), \\ h &= r \cdot \sin(\tau - \chi), \\ h &= u \cdot \operatorname{tg}(\tau - \chi). \end{aligned} \quad (5)$$

Für χ ergibt sich dabei folgender trigonometrischer Ausdruck:

$$\chi = \tau - \arccos \frac{u}{r} = \tau - \arcsin \frac{h}{r} = \tau - \arctg \frac{h}{u} \leq 2\varrho. \quad (6)$$

Setzen wir für h den entsprechenden Ausdruck aus den Gl. (5) ein, so erhalten wir

$$h = u \cdot \frac{\operatorname{tg} \tau - \operatorname{tg} \chi}{1 + \operatorname{tg} \tau \cdot \operatorname{tg} \chi}.$$

Wenn wir diesen Ausdruck umformen und nach $\operatorname{tg} \chi$ auflösen, erhalten wir

$$\operatorname{tg} \chi = \frac{u \operatorname{tg} \tau - h}{u + h \operatorname{tg} \tau}. \quad (7)$$

Nach $\operatorname{tg} \tau$ aufgelöst, ergibt sich

$$\operatorname{tg} \tau = \frac{h + u \operatorname{tg} \chi}{u - h \operatorname{tg} \chi}. \quad (8)$$

Für den Schneidenwinkel χ wählt man meist $40 \dots 45^\circ$. An der Seite des Mundstückes, an der das Material durch die senkrechte Wand cd am Fortgleiten verhindert wird, kann χ einen Wert von 50° erreichen. Der Abweichwinkel τ muß mit wachsendem Radiusvektor r oder mit wachsendem $u = \sqrt{r^2 - h^2}$ ansteigen. Er hat meist Werte zwischen $20 \dots 60^\circ$. Die Länge des gleichzeitig schneidenden Schneidkantenparts soll möglichst klein sein.

Der Winkel ψ , um den sich das Messer dreht, wenn sich der Schnittpunkt an der unteren Mundstückkante um gleiche Strecken verlagert, soll mit wachsendem u ansteigen, und zwar

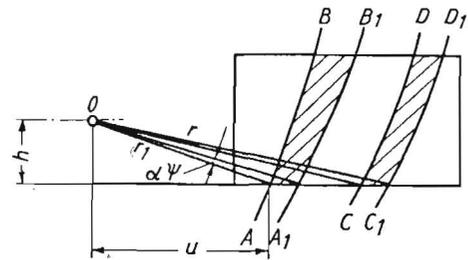


Bild 6

aus folgendem Grunde (Bild 6): Die Schneidkante möge sich um einen unendlich kleinen Winkel $d\psi$ drehen und dabei das Schnittgut in der Fläche ABB_1A_1 zerschneiden. Je weiter sich die Schneidkante längs der unteren Kante bewegt, um so schwieriger wird das Schneiden, weil das Drehmoment durch Vergrößerung des Hebels ansteigt. Folglich muß die Schneidkante eine Form haben, bei der die Schnittfläche ABB_1A_1 bei Drehung des Messers um den gleichen Winkel $d\psi$ sich allmählich verringert, d. h., es muß sein

$$\text{Fläche } CDD_1C_1 < \text{Fläche } ABB_1A_1.$$

Wenn sich die gekrümmte Schneidkante AB (Bild 7) um den Winkel ψ dreht, geht der Punkt B in die neue Lage B_1 auf der unteren Mundstückkante über, d. h., der Punkt B beschreibt einen Kreisbogen mit dem Radius OB und dem Drehpunkt in O . Wir zeichnen nun ein rechtwinkliges Dreieck mit $OB = r$ als Hypotenuse, $OD = OE = h$ und $BD = EB_1 = u$ als Katheten und mit den Winkeln $\angle OB_1E = \angle OBD = (\tau - \chi)$ und $\angle EO B_1 = \frac{\pi}{2} - (\tau - \chi)$ und erhalten dann den Ausdruck

$$\psi = \theta - \left[\frac{\pi}{2} - (\tau - \chi) \right]. \quad (9)$$

Da aber $\angle EO B_1 = \angle DOB$, so ist auch $\angle DOE = \angle BO B_1 = \psi$.

Aus dem rechtwinkligen Dreieck $EO B_1$ folgt ferner

$$\begin{aligned} u &= h \cdot \operatorname{tg} \left[\frac{\pi}{2} - (\tau - \chi) \right], \\ u &= r \cdot \sin \left[\frac{\pi}{2} - (\tau - \chi) \right], \\ h &= r \cdot \cos \left[\frac{\pi}{2} - (\tau - \chi) \right]. \end{aligned} \quad (10)$$

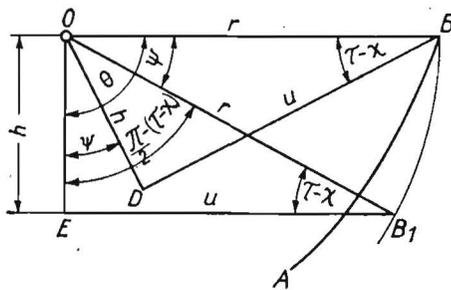


Bild 7

Folglich können wir schreiben, daß

$$\psi = \theta - \arctan \frac{u}{h} = \theta - \arcsin \frac{u}{r} = \theta - \arccos \frac{h}{r} \quad (11)$$

Wir ersetzen die Kurve der Schneidkante durch eine Reihe unendlich kleiner Elemente AB, BC, CD, ... die zwischen den benachbarten Radien OA, OB, OC, ... liegen. Die Winkel Δθ zwischen den Radien sind gleich (Bild 8). Die von den Winkeln τ, τ₁, τ₂ ... abhängenden Differenzen Δr, Δr₁, Δr₂ ... zwischen benachbarten Radien sind dann nicht konstant. Dasselbe betrifft die Größen Δu, Δu₁, Δu₂, die auf einer durch den Drehpunkt gehenden Geraden liegen.

Wenn wir mehrere Zeichnungen nach Bild 8 anfertigen, so stellen wir fest, daß die Veränderung dieser Größen in folgender Weise vor sich geht: wenn die Schneidkante gerade ist, so nimmt der Winkel τ mit wachsendem θ ab, und die Größen Δr und Δu steigen an. Wenn die Schneidkante die Form einer archimedischen Spirale hat, dann ist Δr = Δr₁ ... und Δu = Δu₁ ...; wenn r schneller anwächst als es bei einer archimedischen Spirale der Fall ist, d. h., wenn wir es mit einer logarithmischen Spirale zu tun haben, so wächst Δu allmählich an.

Gorjatschkin weist darauf hin, daß die archimedische Spirale eine Grenzcurve darstellt: auf der einen Seite von ihr liegen Kurven, bei denen Δu mit wachsendem θ abnimmt, und auf der anderen Seite Kurven, bei denen Δu zunimmt.

Hieraus folgt: Da sich bei einer archimedischen Spirale tgτ als Funktion von θ und r linear ändert, so sind alle Kurven, bei denen sich tgτ nach einer konkaven Kurve ändert, als Schneidkantenform verwendbar. Kurven, bei denen sich tgτ nach einer konvexen Kurve oder waagerechten Geraden ändert, sind als Form der Schneidkante unbrauchbar.

Am günstigsten ist es, eine archimedische Spirale als Form der Schneidkante zu wählen.

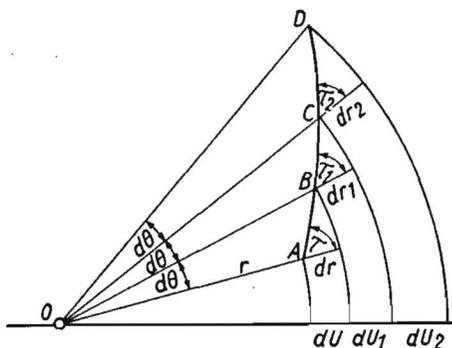


Bild 8

Wenn wir der Schneidkante die Form einer archimedischen Spirale geben und die Lage des Drehpunktes zum Mundstück entsprechend wählen, so können wir erreichen, daß der Abweichwinkel τ stetig in dem Maße anwächst, wie sich der schneidende Teil der Schneidkante vom Drehpunkt entfernt. Hierbei liegt der Schneidenwinkel χ ebenfalls in den günstigsten Grenzen, und das Drehmoment an der Welle ist am niedrigsten. Ungefähr die gleichen Ergebnisse erhält man bei Messern, deren Schneidkanten außermittige Kreisbögen bilden.

Diese Messer sind wesentlich einfacher als Messer mit Schneidkanten von der Form einer archimedischen Spirale.

Die sowjetischen Strohhäcksler haben Messer mit außermittigen kreisförmigen Schneidkanten.

Die archimedischen Spiralen der Messerschneidkanten haben folgende Gleichung (Bild 5):

$$r = r_0 + A\theta \quad \text{oder} \quad \frac{r}{A} = \frac{r_0}{A} + \theta \quad (12)$$

Hierbei wird r₀ von der Lage des Mundstückes gegenüber der Drehachse bestimmt. Es ist

$$r_0 = \sqrt{c^2 + h^2}$$

Bei h = 0 ist r₀ = r_{min} = c.

Mit Hilfe der Beziehungen (5) und (11) können wir der Gleichung der archimedischen Spirale folgende Form geben:

$$\sqrt{u^2 + h^2} = \sqrt{c^2 + h^2} + A \left(\psi + \arctan \frac{u}{h} \right) \quad (13)$$

Der Abweichwinkel τ wird mit Hilfe der Gl. (4) bestimmt.

Aus Bild 5 folgt jedoch tgτ = $\frac{r}{A}$. Das ergibt

$$\text{tg}\tau = \frac{r \cdot d\theta}{dr} = \frac{r}{A}$$

Mit Hilfe von Gl. (4) und (21) erhalten wir also

$$\text{tg}\tau = \frac{r \cdot d\theta}{dr} = \frac{r}{A} - \frac{r_0}{A} + \theta = \frac{\sqrt{u^2 + h^2}}{A} \quad (14)$$

Hierbei ist

$$\text{tg}\tau_{\text{min}} = \frac{\sqrt{h^2 + c^2}}{A} = \sqrt{\left(\frac{h}{A}\right)^2 + \left(\frac{c}{A}\right)^2}$$

und

$$\text{tg}\tau_{\text{max}} = \sqrt{\left(\frac{h}{A}\right)^2 + \left(\frac{b+c}{A}\right)^2}$$

Der Schneidenwinkel χ wächst zum Schluß des Schneidvorganges an und wird nach der Gl. (7) bestimmt, d. h., es ist

$$\begin{aligned} \text{tg}\chi &= \frac{u \cdot \text{tg}\tau - h}{u + h \text{tg}\tau} = \frac{u \cdot \sqrt{h^2 + u^2} - Ah}{Au + h\sqrt{h^2 + u^2}} \\ &= \frac{r \cdot \sqrt{r^2 - h^2} - Ah}{A\sqrt{r^2 - h^2} + h \cdot r} \end{aligned}$$

Der Drehwinkel ψ vergrößert sich mit wachsendem u und r nach der Gl. (11)

$$\psi = \theta - \arctan \frac{u}{h} = \theta - \arccos \frac{h}{r}$$

Wie bereits gesagt, werden bei der Mehrzahl der Scheibenstrohhäcksler Messer verwendet, die außermittig zum Drehpunkt liegende kreisförmige Schneidkanten haben. Daher ist die Berechnung außermittiger kreisförmiger Schneidkanten besonders wichtig, und wir wollen uns mit ihr ausführlicher befassen.

Die Gleichung eines außermittigen Kreises mit dem Radius R und der Außenmittigkeit l (Bild 9) lautet

$$R^2 = l^2 + r^2 + 2lr \cos\theta \quad (15)$$

Aus den rechtwinkligen Dreiecken ao'b, bdc, io'd folgt (Bild 10):

$$u \cdot \sin\psi = h \cdot \cos\psi + r \cdot \cos(\pi - \theta)$$

oder

$$r \cdot \cos\theta = h \cdot \cos\psi - u \sin\psi \quad (16)$$

Ferner ist

$$r^2 = u^2 + h^2$$

Setzen wir diese Werte in die Gl. (15) ein, so erhalten wir

$$R^2 = l^2 + u^2 + h^2 + 2l(h \cos\psi - u \sin\psi)$$

Aus dem schiefwinkligen Dreieck OO'd folgt:

$$l \cdot \sin(\pi - \theta) = R \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2} - \tau\right)$$

oder

$$l \cdot \sin\theta = R \cos\tau \quad (17)$$

Wenn wir in demselben Dreieck ein Lot aus der Spitze O auf die Seite $O'd$ fällen, erhalten wir

$$r + l \cdot \cos \theta = R \cdot \sin \tau. \quad (18)$$

Teilen wir Gl. (18) durch Gl. (17), so erhalten wir

$$\operatorname{tg} \tau = \frac{r + l \cdot \cos \theta}{l \sin \theta}. \quad (19)$$

Gl. (19) kann noch weiter umgeformt werden: Aus der Gl. (16) erhalten wir

$$\cos \theta = \frac{h \cdot \cos \psi - u \sin \psi}{r}.$$

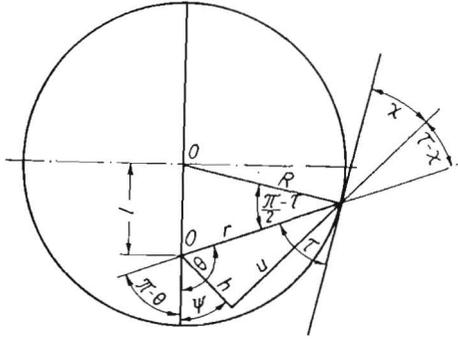


Bild 9

Dem Zähler der Gl. (19) kann man demnach folgende Form geben:

$$r + l \cos \theta = r + l \frac{h \cdot \cos \psi - u \sin \psi}{r}$$

oder

$$r + l \cos \theta = \frac{l(h \cos \psi - u \sin \psi) + r^2}{r}. \quad (20)$$

Weiter folgt aus dem rechtwinkligen Dreieck $O'ed$ von Bild 10:

$$h \cdot \sin \psi + u \cdot \cos \psi = r \cdot \sin(\pi - \theta).$$

Wenn wir die linke und die rechte Seite dieser Gleichung mit l multiplizieren und die Gleichung entsprechend umformen, erhalten wir einen neuen Ausdruck für den Nenner der rechten Seite der Gl. (19)

$$l \cdot \sin \theta = \frac{l(h \cdot \sin \psi + u \cos \psi)}{r}. \quad (21)$$

Wenn wir nun den Ausdruck für $r + l \cdot \cos \theta$ der Gl. (20) und den Ausdruck für $l \cdot \sin \theta$ der Gl. (21) in die Gl. (19) einsetzen, erhalten wir

$$\operatorname{tg} \tau = \frac{l(h \cos \psi - u \cdot \sin \psi) + r^2 + h^2}{l(h \cdot \sin \psi + u \cdot \cos \psi)}. \quad (22)$$

Wenn sich die Schneidkante im Uhrzeigersinne von A nach B bewegt (Bild 11), so wird der Winkel τ zunächst kleiner als $\frac{\pi}{2}$ (diesen Wert hat er bei $\theta = 0$ und $r = r_{\min}$), bis sein Tangens folgenden Wert erreicht:

$$\operatorname{tg} \tau = \frac{\sqrt{R^2 - l^2}}{l}. \quad (23)$$

Wenn sich die Schneidkante dann weiterbewegt, so vergrößert sich τ wieder und erreicht bei $\theta = \pi$ den Wert $\frac{\pi}{2}$. Hierbei erreicht der Radiusvektor seinen Höchstwert und ist dann $r = r_{\max} = R + l$.

Der Schneidwinkel χ wird nach der Gl. (7) bestimmt; wenn wir den Wert für $\operatorname{tg} \tau$ aus der Gl. (22) in die Gl. (7) einsetzen und die entsprechenden Umformungen vornehmen, erhalten wir

$$\operatorname{tg} \chi = \frac{-u^2 l \cdot \sin \psi + u^3 + h^2 u - h^2 l \sin \psi}{u^2 l \cdot \cos \psi + h^2 \cdot l \cdot \cos \psi + u^2 h + h^3} = \frac{(u - l \sin \psi)(u^2 + h^2)}{(h + l \cos \psi)(u^2 + h^2)} = \frac{u - l \sin \psi}{h + l \cdot \cos \psi}. \quad (24)$$

Der Drehwinkel ψ wird nach der Gl. (11) ermittelt.

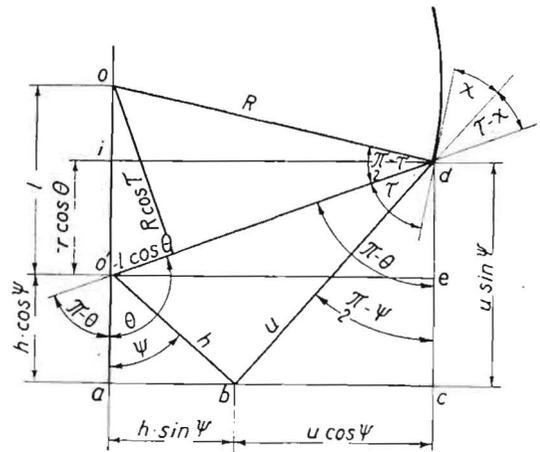


Bild 10

Bei der Wahl der anderen Abmessungen der Messer mit außermittigen kreisförmigen Schneidkanten kann man folgende theoretischen und empirischen Werte benutzen: Es wurde bereits gesagt, daß bei Änderung des Winkels θ von π auf $\frac{\pi}{2}$ sich der Winkel τ von $\frac{\pi}{2}$ auf einen gewissen Wert τ_{\min} verringert und danach, wenn der Winkel θ von $\frac{\pi}{2}$ auf 0 fällt, wieder auf $\frac{\pi}{2}$ anwächst (Bild 11).

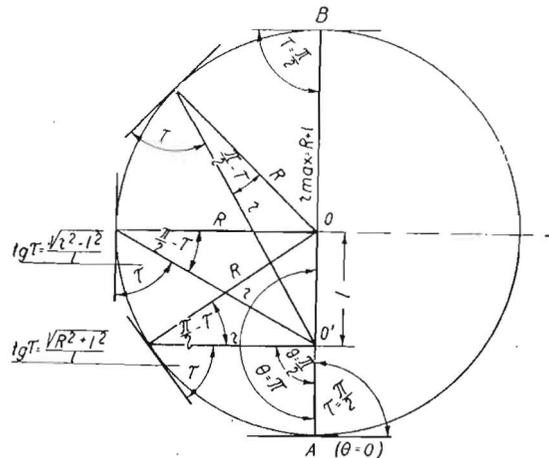


Bild 11

Folglich ist bei $\theta = \frac{\pi}{2}$

$$r = \sqrt{R^2 + l^2}.$$

Wir erhalten dann aus Bild 11

$$\operatorname{tg} \tau = \frac{\sqrt{R^2 - l^2}}{l}$$

oder

$$\operatorname{tg} \tau = \frac{\sqrt{1 - \left(\frac{l}{R}\right)^2}}{\frac{l}{R}}.$$

Hieraus folgt, daß das Verhältnis $\frac{l}{R}$ auf die Veränderung des Winkels τ einen Einfluß hat. Dieses Verhältnis ist auch entscheidend für die Ermittlung einiger anderer Abmessungen des Scheibenschneidwerkes. Es wird durch Untersuchung des Schneidvorganges oder nach empirischen Werten festgelegt. Hierbei wird ein möglichst großes Verhältnis gewählt, da sich der Schneidwinkel χ mit steigendem Verhältnis $\frac{l}{R}$ verringert. Gorjatschkin fand folgende Werte für den Winkel τ in Abhängigkeit vom Verhältnis $\frac{l}{R}$:

$\frac{l}{R} = 0,5, 0,6, 0,7, 0,75, 0,8, 0,9, 1$
 $< \tau_{\min} = 60^\circ, 53^\circ, 45^\circ 40', 41^\circ 30', 37^\circ, 25^\circ 30', 0^\circ$

Die Fläche, die von außermittigen kreisförmigen Schneidkanten überstrichen wird, ist innen von einem Kreis mit dem Halbmesser $(R - l)$ und außen von einem Kreis mit dem Halbmesser $(R + l)$ begrenzt (Bild 12), d. h., die Fläche ist ein ringförmiger Streifen von der Breite $2l$. Der Mundstückquerschnitt muß innerhalb dieses Ringes liegen. Wir bezeichnen mit

- c den waagerechten Abstand zwischen Messerdrehpunkt und Seitenkante des Mundstückes;
- b Mundstückbreite;
- a Mundstückhöhe;
- h senkrechter Abstand der Unterkante des Mundstückes vom Drehpunkt des Messers.

Wenn wir vom Verhältnis $\frac{l}{R}$ ausgehen, können wir bei der Berechnung folgende Beziehungen verwenden:

c wird etwas größer gewählt als der Halbmesser des Innenkreises, d. h., es ist

$$c > (R - l) \text{ oder } \frac{c}{R} > \left(1 - \frac{l}{R}\right);$$

Die Breite b des Mundstückes wird etwas kleiner als $2l$ gewählt.

$$b < 2l \text{ oder } \frac{b}{R} < 2 \frac{l}{R};$$

Setzen wir $\frac{a}{b} = \frac{1}{x}$, so ist

$$x a = b \text{ oder } \frac{a}{R} < \frac{x \cdot l}{2 \cdot R}.$$

Bei den sowjetischen Maschinen ist $x = 2 \dots 7$, und bei den Maschinen der deutschen Firma Grumbach & Co. ist $x = 1,34$.

Der Abstand h wird etwas kleiner als c gewählt:

$$h < c \text{ oder } \frac{h}{R} < \left(1 - \frac{l}{R}\right).$$

Nachdem wir die Verhältnisse $\frac{c}{R}$, $\frac{l}{R}$, $\frac{a}{R}$ und $\frac{h}{R}$ ermittelt haben, bestimmen wir unter Verwendung der Gl. (5) bei $u = c$ die Verhältnisse $\frac{r_{\min}}{R}$ und $\frac{r_{\max}}{R}$:

$$\frac{r_{\min}}{R} = \sqrt{\frac{h^2}{R^2} + \frac{c^2}{R^2}}$$

und

$$\frac{r_{\max}}{R} = \sqrt{\frac{h^2}{R^2} + \left(\frac{c+b}{R}\right)^2}.$$

Danach werden mit Hilfe der Gl. (15) die Winkel θ_{\max} und θ_{\min} bestimmt

$$\frac{R^2}{R^2} = \frac{l^2}{R^2} + \frac{r^2}{R^2} + \frac{2r \cdot l \cdot \cos \theta}{R^2}.$$

Hieraus folgt

$$\cos \theta_{\max} = \frac{1 - \left(\frac{l}{R}\right)^2 - \left(\frac{r_{\max}}{R}\right)^2}{2 \frac{l}{R} \cdot \frac{r_{\max}}{R}}$$

und

$$\cos \theta_{\min} = \frac{1 - \left(\frac{l}{R}\right)^2 - \left(\frac{r_{\min}}{R}\right)^2}{2 \frac{l}{R} \cdot \frac{r_{\min}}{R}}.$$

Nach den Gl. (23), (7) und (11) werden dann die Winkel τ_{\min} , τ_{\max} , χ_{\min} , χ_{\max} und ψ ermittelt.

Bild 13 und 14 zeigen Messer des sowjetischen Silohäckslers RSS-6,0 und eines Silohäckslers der deutschen Firma Grumbach & Co.

Bei einigen Silofutterhäckslern werden neuerdings Messer mit geraden Schneidkanten verwendet, und zwar in Maschinen mit hohen Drehzahlen des Schwungrades. Diese schnell rotierenden

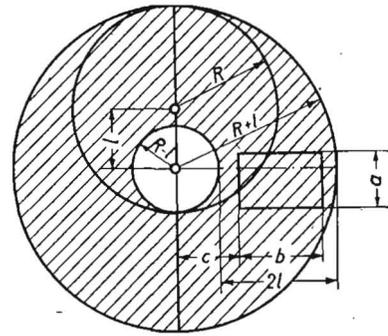


Bild 12

geraden Messer haben den Vorteil, daß sie das Schnittgut weniger stark zusammendrücken und daß jeder Schnitt in einer relativ kurzen Zeit erfolgt. Infolgedessen wird aus dem Schnittgut weniger Nährsaft herausgedrückt. Auch konstruktiv haben diese Messer den Vorteil, daß sie einfacher zu fertigen sind und eine größere Festigkeit besitzen, die sie zum Zerschneiden dicker Stengel geeignet macht. Allerdings müssen Maschinen mit solchen Messern von starken Motoren angetrieben werden. Ein Messer mit gerader Schneide ist auf Bild 15 dargestellt.

Die Schneidkante eines geraden Messers hat folgende Gleichung (Bild 14)

$$r \cdot \cos \theta = p. \tag{25}$$

Der Tangens des Winkels τ zwischen einer geraden Schneidkante und dem Radiusvektor ist

$$\operatorname{tg} \tau = \frac{r \cdot d\theta}{dr} = \operatorname{ctg} \theta = \frac{p}{\sqrt{r^2 - p^2}} = \frac{p}{v}. \tag{26}$$

Hieraus folgt, daß der Winkel $\tau = 90^\circ - \theta$ mit wachsendem r abnimmt. Hieraus folgt wiederum, daß bei Messern mit gerader Schneidkante das ziehende Element des Schnittes gegen Ende der Schneidbewegung abnimmt und der Schnitt sich einem hackenden Schnitt nähert.

Für den Schneidenwinkel χ ergibt sich bei einer geraden Schneidkante aus der Gl. (7) folgende Beziehung

$$\operatorname{tg} \chi = \frac{u \operatorname{tg} \tau - h}{u + h \operatorname{tg} \tau} = \frac{u p - h v}{u v + h p}.$$

Der Drehwinkel ψ wird durch folgende Überlegungen bestimmt: Aus dem rechtwinkligen Dreieck Oab (Bild 16) folgt:

$$\psi = \left[\frac{\pi}{2} - (\tau - \chi) \right] - \theta$$

und

$$u = h \operatorname{tg} \left[\frac{\pi}{2} - (\tau - \chi) \right]$$

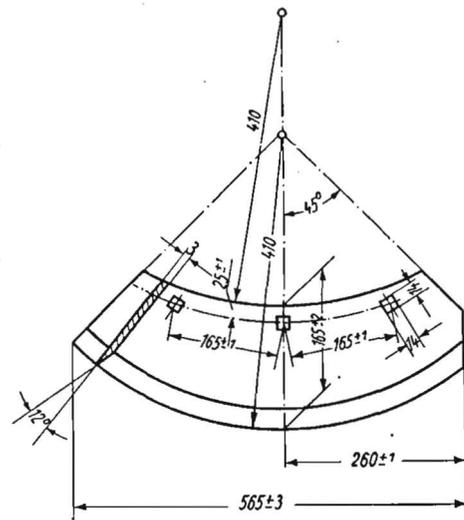


Bild 13

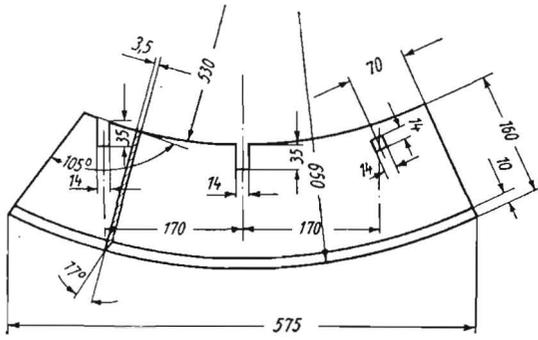


Bild 14

oder

$$\psi = \arctg \frac{u}{h} - \theta.$$

Die Strecke S der Schneidkante, die von der oberen waagerechten Mundstückkante bis zur unteren Mundstückkante reicht, wird auf folgende Weise bestimmt (Bild 17):

1. Solange die Schneidkante noch nicht über den Punkt A (linke untere Ecke des Mundstückes) hinweggegangen ist, d. h. solange der Wert von u zwischen 0 und c liegt, gilt für S_1

$$S_1 = \frac{a}{\sin \chi} - \frac{c - u}{\cos \chi_1}.$$

2. Wenn sich die Schneidkante vom Punkt A zum Punkt D (rechte obere Ecke des Mundstückes) bewegt, d. h., wenn u zwischen C und u_1 liegt, so ist

$$S_2 = \frac{a}{\sin \chi_2}.$$

3. Wenn sich die Schneidkante vom Punkt D zum Punkt B (rechte untere Ecke des Mundstückes) bewegt, d. h., wenn u zwischen u_1 und $b + c$ liegt, dann ist

$$S_3 = \frac{b + c - u_2}{\cos \chi_3}.$$

Richtwert der Silohäcksler mit gerader Schneidkante ist der Radius p (Bild 17). Seine Größe liegt zwischen 100 und 150 mm, c wird etwas größer als p gewählt, d. h.

$$\frac{c}{p} > 1.$$

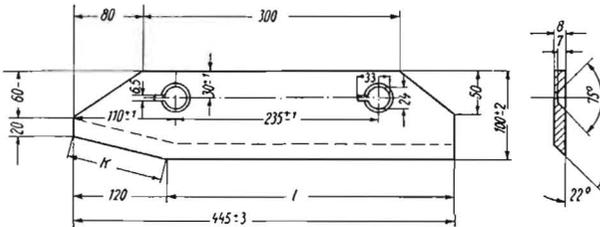


Bild 15

Man wählt $c \approx 1,25 p$.

Der senkrechte Abstand der Mundstückunterkante von der Drehachse wird zweckmäßiger etwas kleiner als p gewählt, da im umgekehrten Falle die Gerade S zu groß wird und den Wert von b erreicht. Ferner würde das Messer sowohl nach der einen als auch nach der anderen Seite schneiden. Es muß also sein:

$$\frac{h}{p} < 1.$$

Das Verhältnis $\frac{h}{p}$ liegt zwischen 0,38 und 0,9. Man wählt hierbei für $\frac{h}{p}$ einen möglichst großen Wert, da, wie wir wissen, mit kleiner werdendem h der Winkel χ anwächst.

Damit die Maschine nicht zu groß wird, soll $b + c$ möglichst nicht größer als 500 mm sein.

Die Schneidkanten der Silohäckslermesser setzen sich gewöhnlich aus zwei Geraden k und l zusammen (Bild 15). Das Messer ist zu seinem Drehpunkt so angeordnet, daß χ nicht größer als 30° wird.

Eine andere Form des Häckslerschneidwerkes ist die Messertrommel. Sie wird bei hand- und gespanntriebenen Stroh- und Silohäckslern, auf Mähhäckslern, Maisvollerntemaschinen und anderen Futterbereitungsmaschinen angewendet.

Einen großen Einsatz finden in der Landwirtschaft der DDR die Trommel-Silohäcksler. Bild 18 zeigt die Gesamtansicht des Stroh-Silohäckslers Typ „F 197“ für Kraftbetrieb.

Die Messertrommel hat meist zwei gußeiserne Scheiben, die starr auf der Trommelwelle befestigt sind. An den Scheiben sind Messer von gewundener Form angeschraubt, wobei alle Punkte ihrer Schneidkanten sich in einem gleichen Abstand von der Trommeldrehachse befinden. Bei langen Trommeln ($L > 500$ mm) können die Messer aus mehreren Teilen bestehen. Dann hat die Trommel entsprechend mehr Scheiben.

Die Schneidkante nm des Trommelmessers (Bild 19) berührt das Schnittgut an der oberen Kante des Häckslermundstückes, drückt zunächst den aus dem Mundstück heraustretenden Teil des Schnittgutes zusammen und schneidet ihn darauf ab. Der Schnitt beginnt an der linken oberen Ecke b des Mauls und endet an der rechten unteren Ecke d .

Die Umfangsgeschwindigkeit $v = \omega r$ eines beliebigen Punktes der Schneidkante kann man in der gleichen Weise wie bei der geraden Schneidkante in zwei Komponenten zerlegen, und zwar in die zur Schneidkante senkrechte Geschwindigkeit $v_n = r\omega \cos \tau$ und die mit der Schneidkante zusammenfallende Komponente $v_t = r \cdot \omega \sin \tau$. Das Verhältnis $\frac{v_t}{v_n} = \operatorname{tg} \tau$ ist der Abweichkoeffizient.

In einer Messertrommel ist der Schneidenwinkel χ dem Abweichwinkel τ gleich. χ und τ sind ferner dem Winkel gleich, den die Windungslinie mit der Mantellinie des Zylinders bildet, auf dem die Schneidkante liegt. Dieser Winkel ist konstant, und folglich ist auch

$$\chi = \tau = \text{const.}$$

Die Trommelbelastung oder das Widerstandsmoment an der Trommelwelle ist dann konstant, wenn die Gesamtlänge der

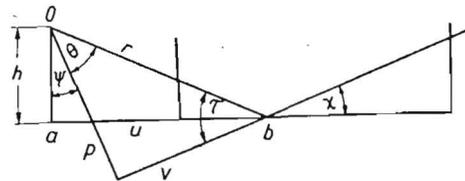


Bild 16

gleichzeitig schneidenden Messerteile auch konstant ist, d. h. wenn

$$\operatorname{tg} \chi \cdot b = \frac{\pi D}{k}.$$

Hierbei ist:

- χ der Schneidenwinkel,
- b die Mundstückbreite,
- k die Messerzahl,
- D der Trommeldurchmesser.

In den Trommeln von Stroh- und Silofutterhäckslern ist $\chi < 30^\circ$. Die Form und die Abmessungen von Strohhäckslermessern sind in Bild 20 und 21 gegeben.

Das Schnittgut wird den Häckslern ununterbrochen zugeführt, jedoch mit Unterbrechungen geschnitten, deren Zahl und Dauer von der Zahl und der Ausführung der auf der Scheibe oder Trommel befestigten Messer abhängt. In der Zeit, in der ein Messer den Mundstückquerschnitt überstreicht, tritt das Schnittgut an verschiedenen Stellen des Querschnittes verschieden weit durch. Zum Ende des Schnittes ist das Schnittgut am Anfangspunkt c (Bild 17 und 21) am weitesten vorgerückt.

Messer beim Schmieden stärker verformt wird, so verzieht es sich auch bei der nachfolgenden mechanischen und thermischen Bearbeitung in größerem Maße, und die Schneidkante berührt sich mit dem Gegenmesser nicht mehr genau.

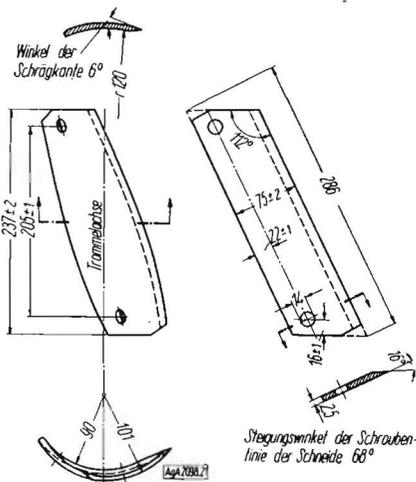


Bild 21

Die zweckmäßigsten Anschließwinkel δ sind durch Versuche ermittelt worden und haben folgende Werte:

Messer	δ
Gerades Messer	22°
Gekrümmtes Messer	12°
Trommelmesser	16°

Zur Fertigung der Messer wird Stahl hoher Festigkeit, hoher Elastizität und hoher Härte genommen. Die Schneide wird in einer Breite von 20...30 mm gehärtet und angelassen. Der

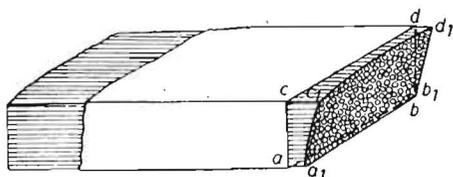


Bild 22

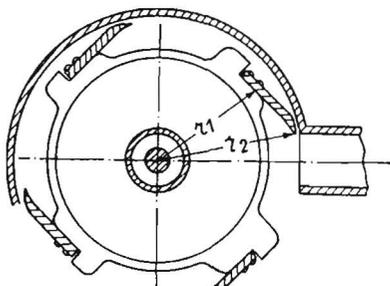


Bild 23

gehärtete Streifen muß eine Härte von $H_{Re} = 47 \dots 56$ und das nichtgehärtete Gebiet eine Härte von $H_{Re} = 38$ haben. Die Messeroberfläche darf keine Risse aufweisen und muß metallisch rein sein. Die Facetten und der ihnen entsprechende Streifen auf der anderen Seite des Messers werden mindestens in der Breite des gehärteten Streifens abgezogen.

Der Güte des Anschliffes ist besondere Aufmerksamkeit zu widmen. Die Schneidkante muß scharf sein, darf keinen Grat haben und nicht dicker sein als 0,1 mm. Die Schneidkanten der scheibenförmigen Messer dürfen nicht mehr als 0,5 mm und

die Schneidkanten der Trommelmesser nicht mehr als 1mm von der vorgeschriebenen Form abweichen.

Je nach Typ und Konstruktion haben die Häcksler 2 bis 8 Messer.

Zur Berechnung der theoretischen Schnittleistung eines Häckslers gibt Gorjatschkin folgende Gleichung:

$$Q = k \cdot a \cdot b \cdot e \cdot n \cdot \gamma \cdot \epsilon \cdot 60 \text{ [kg/h]} \quad (30)$$

Hierbei ist:

- k Messeranzahl;
- a und b die Abmessungen des Häckslermundstücks in m;
- l die Schnittlänge in m;
- n die Drehzahl der Scheibe oder der Trommel in U/min;
- γ das spezifische Gewicht des durch die Zuführung zusammengedrückten Schnittgutes;
- ϵ der Gleitkoeffizient des Schnittgutes zwischen den Einzugsrollen;
- γ hat für Stroh einen Wert von 120...160 kg/m³ und für Grünfutter von 360...500 kg/m³.

Bei praktischen Berechnungen der Schnittleistung wird der Gleitkoeffizient ϵ nicht berücksichtigt, da seine Größe unbekannt

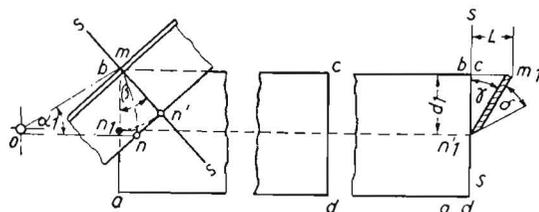


Bild 24

ist. Die Dichte des zusammengedrückten Schnittgutes ist ebenfalls nicht genau bekannt und ändert sich, weil die Beschickung der Maschine ungleichmäßig ist. Der Abstand zwischen den Einzugsrollen oder den Förderbandrollen ändert sich ebenfalls in Abhängigkeit von der Dicke der zwischen ihnen hindurchgehenden Schnittgutschicht. Folglich ergibt die Gl. (30) nur einen angenäherten Wert und die tatsächliche Leistung liegt etwas unter der theoretisch errechneten.

Anmerkung der Redaktion

Für den großen Kreis unserer Leser in den MTS, VEG und LPG bringen wir anschließend eine erläuternde Übersicht über den Inhalt vorstehender Abhandlung. Der Autor erklärt zunächst den Zweck der Häckselmaschine, gibt die unterschiedlichen Schnittlängen des Rohfutters für die verschiedenen Groß- und Kleintiergruppen an und weist auf die Unterschiede zwischen Trommel- und Scheibenradhäcksler hin. Er geht dann auf die Technologie des Schneidprozesses ein und untersucht die einzelnen Arbeitsvorgänge während dieses Prozesses in bezug auf Messerform (flaches Messer am Scheibenradhäcksler, gewundenes Messer bei der Trommelhäckselmaschine) und Verlauf der Schneide (gerade oder gekrümmt). Der Verlauf der Schneide (Schneidenform) ist ausschlaggebend für hackenden oder ziehenden Schnitt und beeinflusst deshalb nicht nur die Qualität der Schneidarbeit, sondern auch die Höhe des für sie notwendigen Energiebedarfs. Als günstigste Schneidenform werden die archimedische Spirale bzw. der außermittige Kreisbogen genannt. Da letztere Form bei der Mehrzahl der Scheibenradhäcksler verwendet wird, ist der Berechnung dieser Schneidkantenform ein großer Raum gewidmet. Wenn bei Silofutterhäckseln gerade Messer verwendet werden, um kurze Schnittzeiten und dadurch bessere Erhaltung des Nährsaftes im Schnittgut zu erreichen, so ist dies nur mit erhöhtem Kraftaufwand möglich. Der Autor geht dann noch auf die Ausführung der Trommelmesser ein und gibt zum Schluß die zweckmäßigsten Anschließwinkel für die Schneidkanten der verschiedenen Messerformen an.