

Mähmechanismen

Von Dipl.-Ing. A. WICHA, Berlin-Leipzig

DK 631.354.022

Seit es Mähmaschinen gibt, steht auch die Frage der Konstruktion ihres Schneideapparates zur Diskussion. Der Fingerbalken ist zu häufig die Ursache von Betriebsstörungen bei diesen Maschinen, als daß er die Ideallösung darstellen könnte. Die Versuche mit fingerlosen Mähwerken – zwei sich seitlich bewegende Gegenmesser – haben ebenfalls noch nicht restlos befriedigt. Gegen beide Systeme spricht auch der hohe Ersatzteilbedarf. Der Verfasser behandelt nun in seiner Studie neben dem allgemein gebräuchlichen Fingerbalken mit Messern auch den Kettenmesserbalken und weist in seinem Schlußwort auf dessen Vorzüge hin. Für unsere Leser wäre es ohne Zweifel interessant, wenn unsere Mähmaschinenfachleute hierzu Stellung nehmen würden; außerdem könnte eine Diskussion befruchtend auf die weitere technische Entwicklung einwirken.

Die Redaktion

1. Allgemeines über Schneidwerkzeuge und Schneidevorrichtungen

A. Sichel

Die Sichel ist eines der ältesten Kulturgeräte, vorhistorische Exemplare aus Bronze sind in vielen Museen zu finden.

Die Sichel ist ein Werkzeug zum Abschneiden von Getreide oder Gras und Futter mit der Hand, das aus einer halb- oder gebogenen, in eine Spitze auslaufenden Stahlklinge mit Handgriff besteht.

Die Arbeit damit ist anstrengend und langwierig und hat der Sichte und Sense Platz gemacht.

B. Sichte oder Hippe

Die Hausichte ist ein Werkzeug zum Abhauen des Getreides und steht in der Mitte zwischen Sichel und Sense; es hat das Blatt der letzteren, jedoch kürzer, und einen nur armlangen Stiel. Die Sichte ist nur auf dem nordwesteuropäischen Kontinent verbreitet gewesen.

C. Sense

Die Sense besteht aus dem stählernen Blatt und dem hölzernen, mit Handhaben versehenen Baum (Stiel).

Bei der Arbeit treten die Kräfte des Schwungs und des Schneidkeils in Wirkung.

Das Schärfen der Blattschneide geschieht durch das Dengeln, das eine Randverdünnung des zähweichen Stahlblechs erzeugt, deren Rauheiten mit dem Wetzstein abgewetzt werden.

In manchen Ländern werden die Sensenblätter nur auf Schleifsteinen geschliffen.

Neuerdings werden die Sensen durch die Mähmaschinen ersetzt.

D. Mähmaschinen

Mähmaschinen sind Maschinen zum mechanischen Ersatz der Arbeit des Mähens. Schon Plinius und Palladius erwähnen einen Apparat, mit dem die Gallier ihr Getreide abzubringen pfligten. Er bestand aus einem zweirädrigen Karren, dessen hinterer Kastenrand mit scharfen eisernen horizontalen Zähnen versehen war, und wurde von Ochsen geschoben, wobei die abgerissenen Ähren in den Kasten fielen. Die ersten wirklichen Mähmaschinen stammen aus dem Jahre 1799 und bestanden aus einem System von Sensen oder Sichel, die an einer vertikalen Welle befestigt waren und beim Fortbewegen des Wagens sich drehten, die Halme am unteren Ende abzuschneiden und fortschleuderten. Besser war die 1811 von James Smith in Schottland eingeführte Mähmaschine, deren wesentlicher Teil ein kreisförmiges rotierendes Messer war und die eine Vorrichtung besaß, die die Halme in regelmäßigen Schwaden ablegte. 1826 konstruierte Patrick Bell in Schottland die erste Mähmaschine mit geradlinig hin- und hergehenden scherenartigen Klingen, die sich über ähnlichen festliegenden Schneideklingen bewegten und die Halme am unteren Ende abschnitten.

Bei den heutigen Mähmaschinen kommen gewöhnlich nur noch zwei Arten von Schneidvorrichtungen in Anwendung, und zwar solche mit um eine Achse sich drehenden schraubenförmigen (Archimedische Schraube) Messern und solche mit hin- und hergehenden, nach dem Scherenprinzip wirkenden Messern. Die erstere Art kommt nur noch bei den handgetriebenen Rasenmähern vor, die zum Abschneiden des Rasens in Garten- und Parkanlagen dienen.

Alle übrigen Mähmaschinen besitzen fast ausnahmslos nach dem Scherenprinzip (Druckschnitt) gebaute Schneidvorrichtungen.

In neuester Zeit entwickelt man noch eine dritte Art von Schneidvorrichtungen, die mit Hilfe von schnellaufenden Bändern, Seilen, Drähten, Ketten u. ä. m. den Halmschnitt am unteren Halmende zu erreichen versuchen. Dieses Prinzip der Halmtrennung wird in nachfolgender Untersuchung als Ketten-schnitt (Zugschnitt) bezeichnet.

Ein Teil einer solchen Schneidvorrichtung ist in Bild 1, 2 und 3 dargestellt. Der eigentliche Träger der Schneidvorrichtung ist eine stählerne Schiene *a*, der sogenannte Fingerbalken. An diesem Fingerbalken sind in gleichen Abständen die Finger *b* mittels Schrauben *c* befestigt. Die Finger *b* bestehen aus schmiedbarem Weichguß, Stahl oder Stahlblech, besitzen eine nach vorn kielartig auslaufende Spitze und sind bis nahe an die Spitze mit einem waagrecht liegenden Schlitz versehen. Außerdem sind an den Fingern beiderseits Vorsprünge *d* angebracht, mit denen die Finger aneinanderstoßen, wodurch sie auch in seitlicher Richtung sicher gehalten werden. Die Messer werden durch eine Anzahl annähernd dreieckiger Messerblätter (Messer-klingen) *e* gebildet, die nebeneinander an einer Stahlschiene

2. Konstruktion und Berechnung des Scherenschnittes (Druckschnitt)

Ein Teil einer solchen Schneidvorrichtung ist in Bild 1, 2 und 3 dargestellt. Der eigentliche Träger der Schneidvorrichtung ist eine stählerne Schiene *a*, der sogenannte Fingerbalken. An diesem Fingerbalken sind in gleichen Abständen die Finger *b* mittels Schrauben *c* befestigt. Die Finger *b* bestehen aus schmiedbarem Weichguß, Stahl oder Stahlblech, besitzen eine nach vorn kielartig auslaufende Spitze und sind bis nahe an die Spitze mit einem waagrecht liegenden Schlitz versehen. Außerdem sind an den Fingern beiderseits Vorsprünge *d* angebracht, mit denen die Finger aneinanderstoßen, wodurch sie auch in seitlicher Richtung sicher gehalten werden. Die Messer werden durch eine Anzahl annähernd dreieckiger Messerblätter (Messer-klingen) *e* gebildet, die nebeneinander an einer Stahlschiene

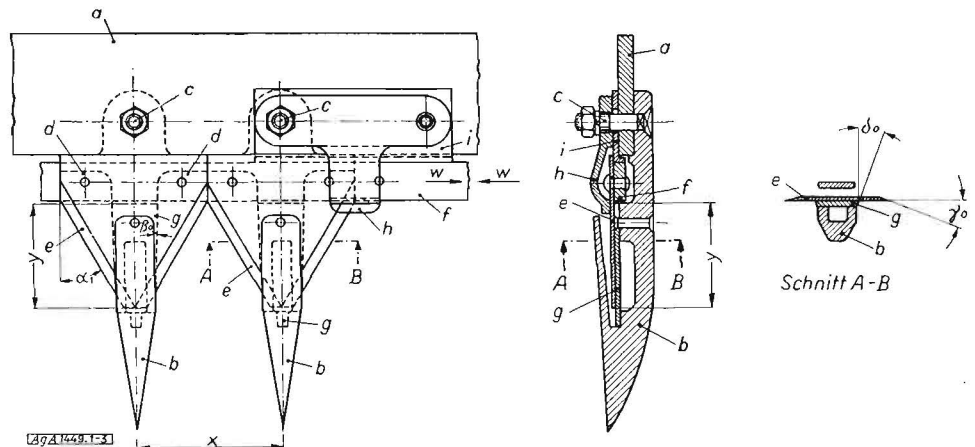


Bild 1, 2 u. 3. Messerbalken (Normalschnitt)

(Messerrücken) f festgenietet sind. Letztere wird durch ein geeignetes Getriebe und einen Exzenter in eine hin- und hergehende Bewegung versetzt. Die nach vorn zusammenlaufenden Kanten der Messerklingen e sind angeschärft und bilden die Schneidekanten der Messer.

Die Gegenschneiden der Messer werden durch gehärtete Schneideplatten (Fingerplatten) g gebildet, die in den Schlitzen der Finger liegen und mit letzteren fest vernietet sind. Damit die Messer sich nicht von den Fingerplatten abheben können, sind auf der oberen Seite des Fingerbalkens noch Platten (Messeralter) h aufgeschraubt, die auf der Messerfläche leicht aufliegen und so dem Messer auch oben eine Führung geben. Der Messerrücken f wird noch durch die einstellbaren Messerführungsplatten (Reibplatten) i abgestützt. Die Anzahl der Finger und die Anzahl der Messerklingen ist beim Normalschnittbalken gleich, wobei in der Ruhelage die Mittelachse der Messer mit der Mittelachse der Finger zusammenfällt. Der Hub des Messers ist derart, daß sich jedes Messer zwischen zwei Fingern verschiebt. Eine derartige Schneidevorrichtung ist für gut gepflegte Wiesen mit starkem und dichtem Graswuchs sowie für Getreide geeignet. Sie genügt aber nicht, wenn es darauf ankommt, dicht am Boden zu schneiden, wie dies besonders beim zweiten Schnitt (Grummet) oder bei Gebirgswiesen mit schwachem und dünnem Graswuchs notwendig wird. Dafür ist eine engere Fingerstellung, also Erhöhung der Fingerzahl erforderlich.

Gegenüber dem *Normalfingerbalken*, bei dem die Anzahl der Messer und der Finger in dem Verhältnis 1:1 angeordnet sind, ist dieses Verhältnis bei *Mittelschnittbalken* 2:3 und bei *Tiefschnittbalken* 1:2.

Die Messerklingen e und die Fingerplatten g sind entweder mit *glatten* oder *seilenartig gerippten* Schneidekanten versehen. Erstere verwendet man für Gras, Klee und weiche Halme, letztere für starke Halme, Raps u. dgl.

Die Messerklingen e und die Fingerplatten g sind entweder mit glatten oder seilenartig gerippten Schneidekanten versehen.

Erstere verwendet man für Gras, Klee und weiche Halme, letztere für starke Halme, Raps u. dgl.

2,1 Mittlere Messergeschwindigkeit im Hin- und Hergang

In Bild 4 und 5 ist der Antriebsmechanismus des Schneidewerkes gezeichnet. Die Antriebskurbel mit dem Kurbelradius r ist mit dem Mähmesser durch die Pleuelstange (Länge l) gekoppelt und liegt k [mm] über dem Mähmesser. Ist z. B. die Länge der Pleuelstange $l = 800$ mm,

der Kurbelradius $r = 36$ mm und die Höhe der Kurbelachsenlage über dem Mähmesser $h = 250$ mm,

so wird der Messerhub x :

$$x = x_1 - x_2 = k \cdot \left(\frac{1}{\text{tg } \epsilon_1} - \frac{1}{\text{tg } \epsilon_2} \right) \dots \text{ [mm]}, \quad (1)$$

$$\sin \epsilon_1 = \frac{k}{l+r}, \quad (2)$$

$$\sin \epsilon_2 = \frac{k}{l-r}, \quad (3)$$

$$x_1 = \sqrt{(l+r)^2 - k^2} = \sqrt{(800+36)^2 - 250^2} = 798 \text{ mm}, \quad (4)$$

$$x_2 = \sqrt{(l-r)^2 - k^2} = \sqrt{(800-36)^2 - 250^2} = 722 \text{ mm}, \quad (5)$$

nach Gleichung (1) ist

$$x = 798 - 722 = 76 \text{ mm}.$$

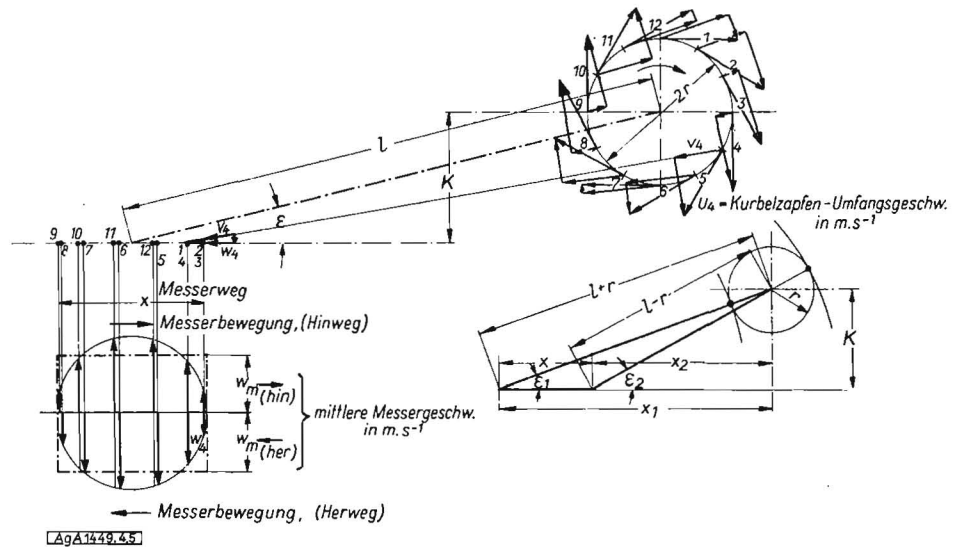


Bild 4 u. 5. Mittlere Messergeschwindigkeit $w_m \rightarrow$ und $w_m \leftarrow$ im Hin- und Hergang

Die maximale Messergeschwindigkeit auf dem Hinweg ist: Kurbelumfangsgeschwindigkeit u [m/s]
Maximaler Kurbelstangen-Anstellwinkel zum Mähmesser im Hinweg $E_{\text{max(Hin)}}$

$$w_{\text{max(Hin)}} = u \cdot \cos E_{\text{max}} \quad [\text{m} \cdot \text{s}]. \quad (6)$$

Nach Bild 6 ist

$$\text{tg } \epsilon'' = \frac{r}{l}, \quad (7)$$

$$l' = \frac{l}{\cos \epsilon''}, \quad (8)$$

$$\sin \epsilon' = \frac{k}{l'} = \frac{k \cdot \cos \epsilon''}{l}, \quad (9)$$

$$E_{\text{max(Hin)}} = \epsilon' + \epsilon''. \quad (10)$$

Nach Gleichung (7) ist

$$\text{tg } \epsilon'' = \frac{36}{800} = 0,045 \quad \epsilon'' = 2^\circ 34,5'.$$

Nach Gleichung (8) ist

$$l' = \frac{800}{0,999} = 800,8 \text{ mm}.$$

Nach Gleichung (9) ist

$$\sin \epsilon' = \frac{250}{800} \cdot 0,999 = 0,3009 \quad \epsilon' = 17^\circ 30'.$$

Nach Gleichung (10) ist

$$E_{\text{max(Hin)}} = 2^\circ 34,5' + 17^\circ 30' \approx 20^\circ.$$

Die max. Messergeschwindigkeit auf dem Herweg ist

$$w_{\text{max(Her)}} = u \cdot \cos E_{\text{max}} \quad [\text{m} \cdot \text{s}]. \quad (11)$$

Nach Bild 7 ist der max. Kurbelstangen-Anstellwinkel zum Mähmesser im Herweg $\epsilon_{\text{max(Her)}}$:

$$\epsilon_{\text{max(Her)}} = \epsilon' - \epsilon'', \quad (12)$$

$$\epsilon_{\text{max(Her)}} = 17^\circ 30' - 2^\circ 34,5' \approx 15^\circ.$$

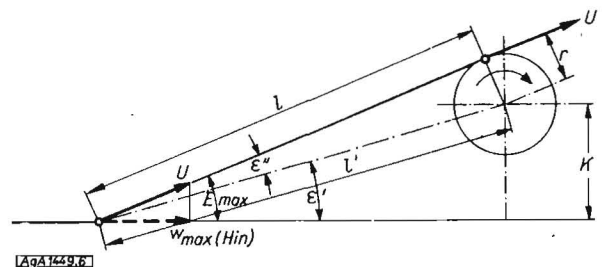


Bild 6. Max. Kurbelstangen-Anstellwinkel $E_{\text{max(Hin)}}$

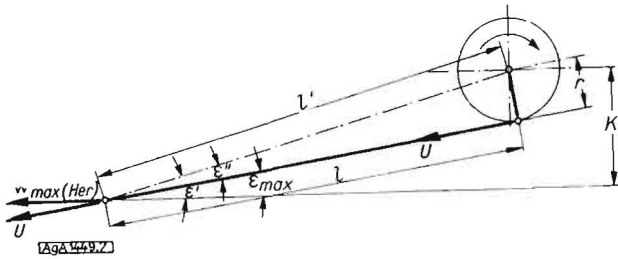


Bild 7. Max. Kurbelstangen-Anstellwinkel $\epsilon_{\max}(\text{Her})$

Der mittlere Kurbelstangen-Anstellwinkel

$$\epsilon_{\text{mittel}} = \epsilon' \quad (13)$$

$$\epsilon_{\text{mittel}} = 17^\circ 30'$$

Das Verhältnis der mittleren Messergeschwindigkeit $w_m \dots \text{m/s}$ zu der Fahrgeschwindigkeit des Schneidwerkes $s \dots \text{m/s}$ wird durch die Form der Messerklinge und des Messerhubs $x \dots \text{mm}$ bestimmt.

In Bild 8 ist die Anordnung und die Dimensionierung der Messerklinge angegeben. Um eine Schnittflächenüberdeckung zu vermeiden sollen die Geschwindigkeiten

$$\frac{w_m}{s} = \frac{a}{b} \quad (14)$$

Die Fahrgeschwindigkeit des Schneidwerkes soll beispielsweise $s = 5,48 \text{ km/h}$, d. s. $1,523 \text{ m/s}$ betragen.

Mittlere Messergeschwindigkeit

$$w_m = s \cdot \frac{a}{b} \dots \text{m/s} \quad (15)$$

Nach Gleichung (15) ist

$$w_m = 1,523 \cdot \frac{45}{54,5} = 1,258 \text{ m/s}$$

2,2 Maximale Messergeschwindigkeit

$$w_{\max} = w_m \cdot \frac{\pi}{2} \dots \text{m/s} \quad (16)$$

$$w_{\max} = 1,258 \cdot 1,57 = 1,975 \text{ m/s}$$

2,3 Kurbelzapfenumlangsgeschwindigkeit

$$u = \frac{w_{\max}}{\cos \epsilon_{\text{mittel}}} \dots \text{m/s} \quad (17)$$

$$u = \frac{1,975}{0,95372} = 2,072 \text{ m/s} \quad \epsilon_{\text{mittel}} = 17^\circ 30'$$

2,4 Kurbeldrehzahl

$$n = \frac{60 \cdot u}{\pi \cdot 2 \cdot r} \dots \text{U/min}$$

$$n = \frac{60 \cdot 2,072}{3,14 \cdot 2 \cdot 0,036} = 550 \text{ U/min}$$

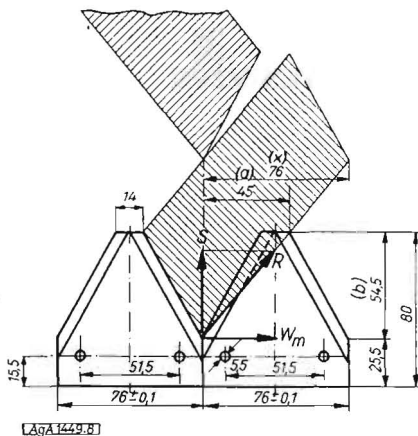


Bild 8. Geschwindigkeitsdiagramm

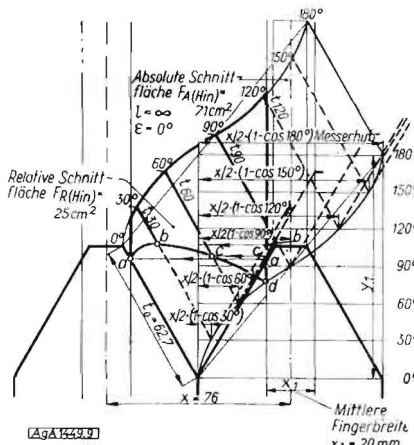


Bild 9. Absolute und relative Schnittfläche je Messerklinge

2,5 Maximalgeschwindigkeit des Messers im Hin- und Hergang

$$w_{\max}(\text{Hin}) = u \cdot \cos \epsilon_{\max}(\text{Hin}) = 2,072 \cdot 0,93969 = 1,947 \text{ m/s}$$

Hergang:

$$w_{\max}(\text{Her}) = u \cdot \cos \epsilon_{\max}(\text{Her}) = 2,072 \cdot 0,96593 = 2,0 \text{ m/s}$$

2,6 Mittlere Messergeschwindigkeit im Hin- und Hergang

$$w_m(\text{Hin}) = \frac{2}{\pi} \cdot 1,947 = 1,24 \text{ m/s}$$

$$w_m(\text{Her}) = \frac{2}{\pi} \cdot 2,0 = 1,273 \text{ m/s}$$

2,7 Absolute und relative Schnittfläche je Messerklinge während des Hin- und Hergangs.

Die absolute Schnittfläche $F_a[\text{cm}^2]$ (Bild 9) ist diejenige Fläche, die das Messer je Hin- und Hergang bestreicht, wenn zugleich das Messer die Strecke y_1 vorwärts bewegt wird.

$$\frac{x}{y_1} = \frac{w_{\text{mitt}}(\text{Hin})}{s} \quad (19)$$

$$y_1 = 76 \cdot \frac{1,523}{1,24} = 93,4 \text{ mm} \quad F_a = x \cdot y_1 \dots \text{cm}^2 \quad (20)$$

$$F_a = 7,6 \cdot 9,34 = 71 \text{ cm}^2$$

Die relative Schnittfläche $F_R[\text{cm}^2]$ (Bild 9) ist diejenige Fläche des seitlich und vorwärts bewegten Messers, die sich bei direktem Scherenschnitt ergibt.

Die Größe der Fläche $F_{R(\text{Hin})}$ wird planimetrisch mit $F_{R(\text{Hin})} = 25,06 \text{ cm}^2$ ermittelt.

Die Flächendifferenz kann als *Rafl-*Fläche bezeichnet werden, d. h. der Pflanzenbestand auf dieser Fläche F_{Ra} wird durch

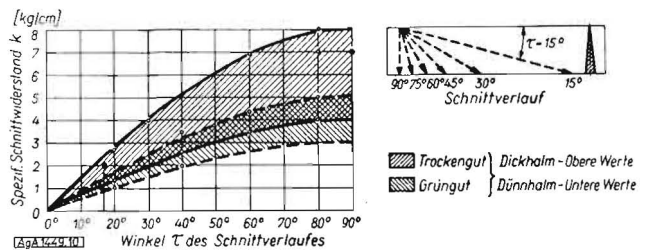


Bild 10. Spezifischer Schnittwiderstand

den Finger und durch das Messer zusammengedrückt und auf die Fläche $F_{R(\text{Hin})}$ verdichtet und dann geschnitten. Das Verhältnis ist

$$\frac{F_{R(\text{Hin})}}{F_a(\text{Hin})} = \frac{25,06}{71} = 0,352 \quad (21)$$

d. h. von der gesamten zu bearbeiteten Fläche F_a ist die effektive Schnittfläche 35,2%.

Für den Messerrückweg (Hergang) kann der gleiche Prozentsatz gesetzt werden.

2,8 Schnitt- und Reibungswiderstand

Die Schnittwiderstandskraft $P[\text{kg}]$ ist von verschiedenen Zustandsgrößen abhängig. Solche sind:

Art des Schnittgutmaterials,

Feuchtigkeitsgehalt des Schnittgutmaterials und Schnittgutpressung infolge der Zusammenraffung.

Der spezifische Druckschnittwiderstand $k[\text{kg/cm}]$ der Messerschneide bei dem Schnittverlaufwinkel $\tau = 90^\circ$ ist nach Diagramm Bild 10

$$\text{Grüngut } k = 3 \text{ bis } 5 \text{ kg/cm}$$

$$\text{Trockengut } k = 4 \text{ bis } 8 \text{ kg/cm}$$