

- [6] *Krekeler, Karl*: Zerspanbarkeit der metallischen und nichtmetallischen Werkstoffe. Berlin 1951. S. 38.
- [7] *Knapp, Werner*: Über die Schneidfähigkeit und Schneidhaltigkeit von Messerklingen. Diss. T.H. Aachen 1928.
- [8] *Fischer-Schlemm, W.E.*: Der Einfluss des Watenwinkels auf die Schneidhaltigkeit von Mähmesserklingen (In diesem Heft).
- [9] *Schulze, K.H.*: Über den Schneidvorgang an Grashalmen (In diesem Heft).
- [10] *Gronarz, Hans*: Untersuchungen über den Schneidvorgang bei Mähmaschinen. Diss. T.H. Hannover 1925. Landmaschine (1928) S. 693 ff. und 709 ff.
- [11] *Schmaltz, G.*: Technische Oberflächenkunde. Berlin 1936.
- [12] *Wallich, A. und F. Hunger*: Untersuchung der Drehbarkeit von Leichtmetallen. Masch.bau/Betrieb 16 (1937) S. 81 ff.
- [13] *Forster, A.*: Oberflächenmessung durch Profiltasten. Werkstattstechn./Masch.bau 39 (1949) 161/66.
- [14] *Kienzle, O. und A. Heiss*: Die Oberflächenabstastung in zwei Richtungen. Werkstattstechn./Masch.bau 41 (1951) 73/81.
- [15] *Heiss, A.*: Schartigkeit von Werkzeugschneiden. Theorie und Messung derselben mittels Saphirmessschneide. Werkstattstechn./Masch.bau 41 (1951) 233/238.
- [16] *Dinglinger, E.*: Die Schneiden-Schartigkeit von Hartmetall nach dem Feinstschleifen mit Diamantschleifscheiben. Werkstattstechn./Masch.bau 42 (1952) 50/55.
- [17] *Stroppe, Th.*: Studien über den Verschleiss von Schneiden für halmartiges Schnittgut. (In diesem Heft).
- [18] *Mialki, Werner*: Zerkleinerung von Weichstoffen in der Lebensmittelverarbeitung. Chemie-Ingenieur-Technik 23 (1951) 473/476.

Institut für Landtechnische Grundlagenforschung
der Forschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode
Direktor: Prof. Dr.-Ing. W. Kloth

Anschrift des Verfassers: Obering. Theodor Stroppe, (20b) Braunschweig, Bundesallee 50

STUDIEN ÜBER DEN VERSCHLEISS VON SCHNEIDEN FÜR HALMARTIGES SCHNITTGUT

Von Th. Stroppe

Das Schneidwerk der Mähmaschinen, von dem in Bild 1 des vorhergehenden Aufsatzes [1] ein Ausschnitt gezeigt wurde, ist für den Getreide- wie auch den Grasschnitt das gleiche. Ein wesentlicher Unterschied liegt in der Führung der Mähmesser. Beim Schnitt der weichen Gräser müssen die Mähmesserklingen mit verhältnismässig enger Passung über die Gegenschneide (Fingerplatte) geführt werden, während bei den Getreidehalmen infolge ihrer grösseren Steifigkeit die Klaffung bis zu 1 mm betragen kann, ohne dass unter halbwegs günstigen Bedingungen die Schnittwirkung wesentlich beeinflusst wird. Ein Unterschied besteht ausserdem in der Messergeschwindigkeit, die bei den Grasmähern bis zu 50% höher als bei den Getreidemähern ist. Die Schneidkanten der Klingen sind gerade (Bild 1) oder mit feinen Zahnspitzen versehen. Die nachstehend beschriebenen Verschleissversuche wurden mit sogenannten glatten Klingen (d.s. Klingen mit gerader Schneidkante) durchgeführt. Eine Betrachtung über die Versuchserfahrungen mit gerippten Klingen schliesst sich an.

Im neuen wie auch im abgenutzten Zustand wurde die Form der Mikroschneide im Abgiessverfahren ermittelt und die Schneidkante und deren Rückgang in dem im vorhergehenden Aufsatz [1] angegebenen Messverfahren an jeweils 22 Messstellen (Bild 1) festgestellt. Bei den Versuchen wurde der Schneidverschleiss in seiner Verteilung über die Klingenslänge, in Abhängigkeit von der Zeit bzw. von der Flächenleistung sowie von der Härte des Schneiden-

werkstoffes und der Art des Schnittgutes (Gras und Getreide) ermittelt.

Mit Rücksicht auf die kurze Erntezeit durften die Mähversuche nicht stunden- oder gar tagelang zum Vermessen der im Versuch abgenutzten Klingen unterbrochen werden, obwohl es versuchstechnisch sehr angenehm gewesen wäre, den allmählichen Schneidenrückgang an ein und denselben Klängen zu ermitteln, um dadurch Unterschiede im Klingenerkstoff weitgehend auszuschalten. Es mussten deshalb

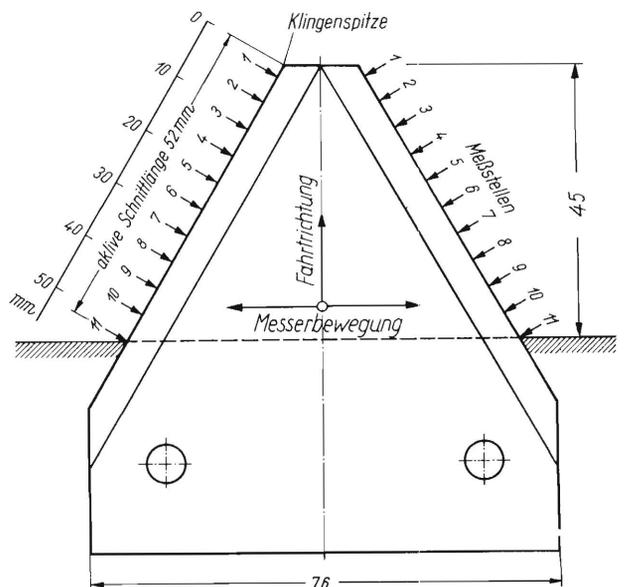


Bild 1. Mähmesser Klinge nach DIN Land 300 mit den Messstellen zur Ermittlung des Schneidverschleisses.

Zahlentafel 1. Mähmaschinen-Schneidwerke und die Schnittleistung bei den Versuchen.

Versuchsklinge	A glatt ²⁾		D gerippt ³⁾	B glatt ²⁾		C glatt ²⁾				E gerippt ⁴⁾		
Schneidwerk	Mähdrescher			Anbau- mäherwerk		Zapfwellenbinder				Mäh- drescher		
Mähmaschine												
Arbeitsbreite	Fuss	7			5		7				12	
Kurbeldrehzahl	U/min	310			750		335				340	
Teilung Klingen	mm	76			76		76				102	
„ Finger	mm	76			76		76				51	
Messerhub	mm	152			76		140				102	
Schnitt je Hub		2			1		1,8				2	
Messergeschwindigkeit in Hubrichtung (max.)	m/s	2,5			3,0		2,5				1,8	
Schnittleistung		Roggen ⁵⁾	Weizen ⁶⁾	Weizen ⁶⁾	Weizen ⁶⁾	Gras ⁷⁾	Gras ⁷⁾	Samen- gras ⁷⁾	Roggen ⁷⁾	Hafer- Gerste ⁷⁾	Weizen ⁷⁾	Getreide ⁸⁾
Schnittgut			40	100		11	22	16	24	70	84	~ 1100
Mähweg	km	142	140		164	33		194				
Fahrtgeschwindigkeit	m/s	0,95	1,0	1,6	1,6	1,2	1,6	0,8	1,2	1,6	1,6	0,95
Fahrtweg je Schnitt	mm	46	48	78	78	48	64	40	60	80	80	42
Klingentiefe ¹⁾	mm	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	40
Fahrtweg je Schnitt Klingentiefe		1,0	1,1	1,7	1,7	1,1	1,4	0,9	1,3	1,8	1,8	1,0

1) siehe auch Bild 1. 2) glatte Klinge nach DIN Land 300. 3) gerippte Klinge nach DIN Land 300. 4) gerippte Klinge (Case) Teilung 102 mm (s. Bild 29).
5) Administration der FAL Völknerode. 6) v. Veltheim'sche Gutsverwaltung Deustedt. 7) Dr. H. Wätjen, Rittergut Cremlingen. 8) Stadtgüter Berlin 1935.

etwa 10 Versuchsklingen an geeigneten Stellen in das jeweilige Versuchsmesser eingebaut und in gewissen Zeitabständen zwei oder drei Klingen davon entnommen und durch andere Versuchsklingen ersetzt werden. So hatten wir am Ende des jeweiligen Versuches zur Auswertung eine grössere Anzahl Klingen, die 1, 2, 3 oder mehr Stunden in demselben Schnittgut gearbeitet hatten.

Schneidwerke und Klingenwerkstoff

Die Versuche wurden unter feldmässigen Bedingungen an nicht besonders hergerichteten Mähmaschinen-Schneidwerken (Zahlentafel 1) durchgeführt, um die Veränderung der Schneidenform unter betriebsnahen Verhältnissen zu erfassen und zu studieren. Aus denselben Gründen wurden für die Versuche handelsübliche Ersatzklingen (Zahlentafel 2) beschafft und nach dem Vermessen im Anlieferungszustand in die Messer der Schneidwerke eingebaut.

Die untersuchten Messerklingen waren verschiedener Herkunft und aus unlegiertem Stahl hergestellt. Der Stahl der Klinge A entspricht in seiner Zusammensetzung den deutschen Stahlmarken C 85 WS oder C 87 WS. Die Werkstoffe der Klingen B, C und D passen wegen ihres niedrigen Siliziumgehaltes nicht in eine der deutschen Werkzeugstahlnormen und sind

vermutlich nach besonderen Vorschriften erschmolzen. Die Stähle der Fabrikate A und B dürften, nach dem niedrigen Schwefelgehalt zu schliessen, im Elektrofen hergestellt sein.

Die Härte der Klingen C und D liegen im Toleranzbereich der Gütevorschriften für Mähmesserklingen (DIN Land 301)¹⁰⁾. Bei den Klingen A sind sämtliche Härtewerte höher als in der Normvorschrift angegeben. Die Klingen B sind in ihrer Härte von Klinge zu Klinge sehr unterschiedlich und waren z.T. erheblich härter als die Norm empfiehlt.

Eine vorbildliche Härtezone nach Bild 2 haben die glatten Messerklingen A und C, während die B-Klingen eine zu breite, sich nicht über die ganze Länge der Schneidkante erstreckende Härtezone (Bild 3) hatten; auch war die Härtezone dieser Klingen von Klinge zu Klinge verschieden. Da ausserdem wie bereits erwähnt, die Vickershärte von Klinge zu Klinge grosse Unterschiede aufwies (HV = 500–920), so kommt die Vergütung der B-Klingen qualitativ bei weitem nicht an die der anderen drei Klingen heran.

Die äussere Form und auch die Härtezone der gerippten Messerklingen D entsprechen denen in Bild 2.

10) Die nach DIN Land 301 vorgeschriebene Brinellhärte HB = 400 bis 570 entspricht einer Vickershärte HV = 420 bis 660. (Das Normblatt DIN Land 301 wird z.Zt. neu überarbeitet).

Zahlentafel 2. Analyse und Härte der untersuchten Messerklingen.

Versuchsklinge	Klinge Nr.	Analyse in %						Vickershärte ⁹⁾ kg / mm ²
		C	Si	Mn	P	S	Cr	
A	E 519	0,84	0,32	0,66	0,020	0,005	0,02	680 – 800
B	E 286	0,69	0,12	0,54	0,020	0,004	0,09	500 – 920
C	E 484	0,82	0,13	0,51	0,016	0,016	0,12	600 – 670
D	E 531	0,90	0,08	0,34	0,012	0,022	0,05	570 – 610
E	(928)	0,62	0,28	0,69	0,033	0,023	–	300 – 500

9) nach DIN Land 301 geprüft, jedoch auf der geschliffenen Klingenunterseite.

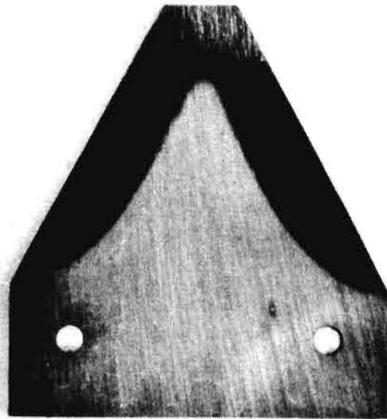


Bild 2. Unterseite einer gehärteten Mähmesser Klinge (A) mit vorbildlicher Härtezone (2/3 natürl. Grösse). Ätzung mit 5%iger wässriger Salpetersäure

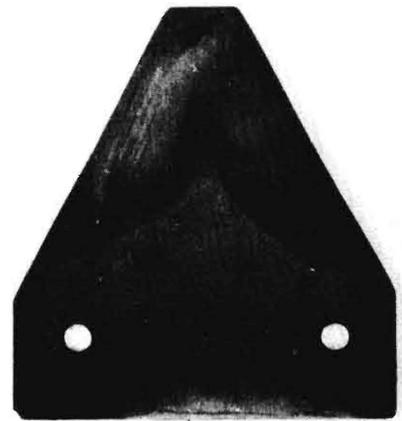


Bild 3. Unterseite einer gehärteten Mähmesser Klinge (B) mit zu breiter, sich nicht über die ganze Länge der Schneidkante erstreckender Härtezone (2/3 natürl. Grösse). Ätzung mit 5%iger wässriger Salpetersäure

Die Versuche mit den gerippten Mähmesserklingen *E* amerikanischer Herkunft (*Case*) liegen Jahre zurück [2]. Sie haben einen Spitzenwinkel von 100° gegen nur 60° bei den deutschen Klängen nach DIN Land 300. Ihr Verschleiss wird in der Schlussbetrachtung zum Vergleich herangezogen.

Mähmesserverschleiss im Roggen

Für den Verschleissversuch im Roggen stand ein Mährescher (Zahlentafel 1) zur Verfügung. Gemäht wurde ein Schlag von 120 Morgen Roggen in etwa 41 Stunden reiner Mähzeit bei einer Fahrgeschwindigkeit von etwas unter 1 m/s. Das Schneidwerk legte dabei einen reinen Mähweg von insgesamt 142 km zurück. Mit Rücksicht auf die Verarbeitbar-

keit des mannshohen Roggens im Mährescher wurde mit einer Stoppelhöhe von 30 bis 40 cm gearbeitet. Das war insofern günstig, als dadurch die Klängenschneiden verschleissmässig nur von den Getreidehalmen beansprucht wurden und die sekundären Einflüsse auf den Verschleiss bei der sonst üblichen niedrigen Stoppelhöhe von 10 bis 15 cm (an den Halmen haftende Erde, Sandteilchen oder gar Maulwurfs- hügeln) nicht zur Wirkung kommen konnten.

In das Versuchsmesser wurden Klängen des Fabrikates *A* eingebaut. Der Keilwinkel der Klängen *A* bis *C* beträgt 19° (Bild 4). Die Verschleissform der Schneidkante nach einer Mähzeit von 0,6 bis 41,1 Std., die einem Arbeitsweg von 2 bis 142 km entspricht,

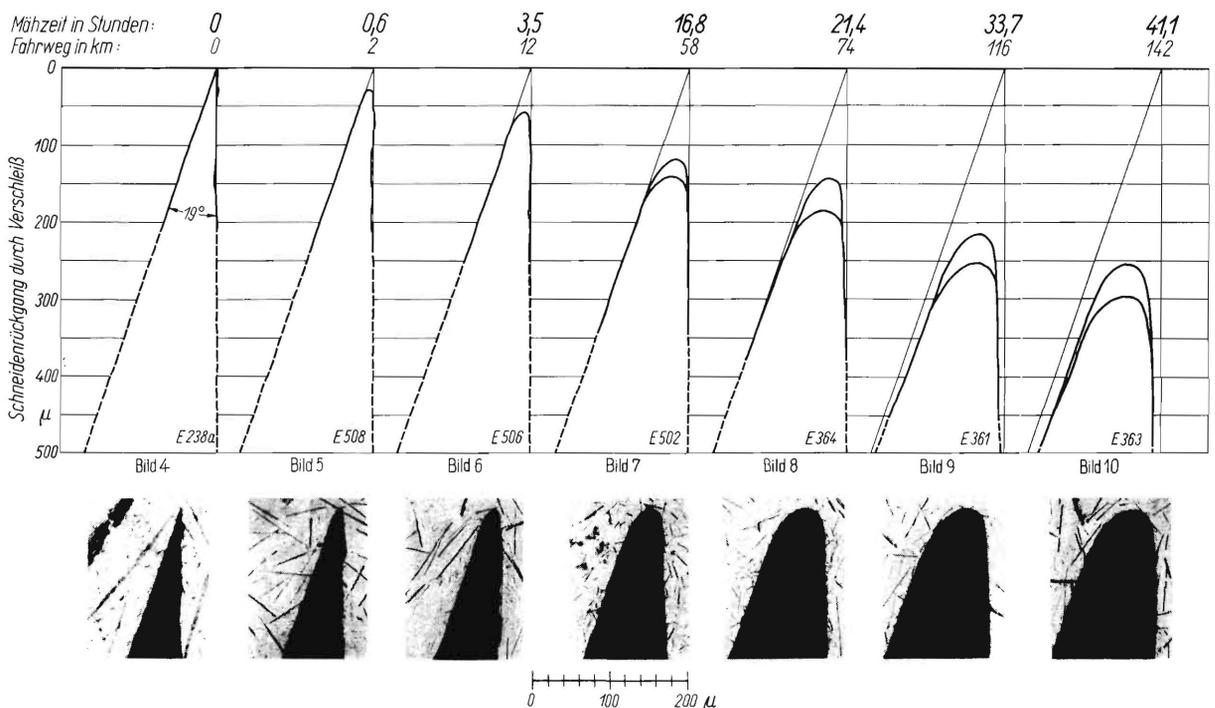


Bild 4 bis 10. Querschnitte durch die Schneidkante von Mähmesserklängen (A) in etwa 10 mm Abstand von der Klingenspitze nach verschiedener Mähzeit im Roggen. Vergrößerung 500:1 (1/5 Wiedergabe). In der oberen Bildreihe ist ausser der Schneidenform auch der jeweilige Schneidenrückgang dargestellt. Die doppelten Umrisslinien in Bild 7 bis 10 zeigen den Unterschied zwischen der rechten und linken Schneide derselben Klinge.

ist in Bild 5 bis 10 dargestellt. Die Abgüsse von der Schneidkante sind in etwa 10 mm Abstand von der Klingenspitze (zwischen Messstelle 2 und 3 in Bild 1) abgenommen worden. Die Schneidkante nimmt beim

Verschleiss allmählich einen parabelförmigen Querschnitt an; bei längerer Mähzeit ist auch auf den Keilflächen in unmittelbarer Nähe der Schneidkante ein Verschleiss feststellbar.

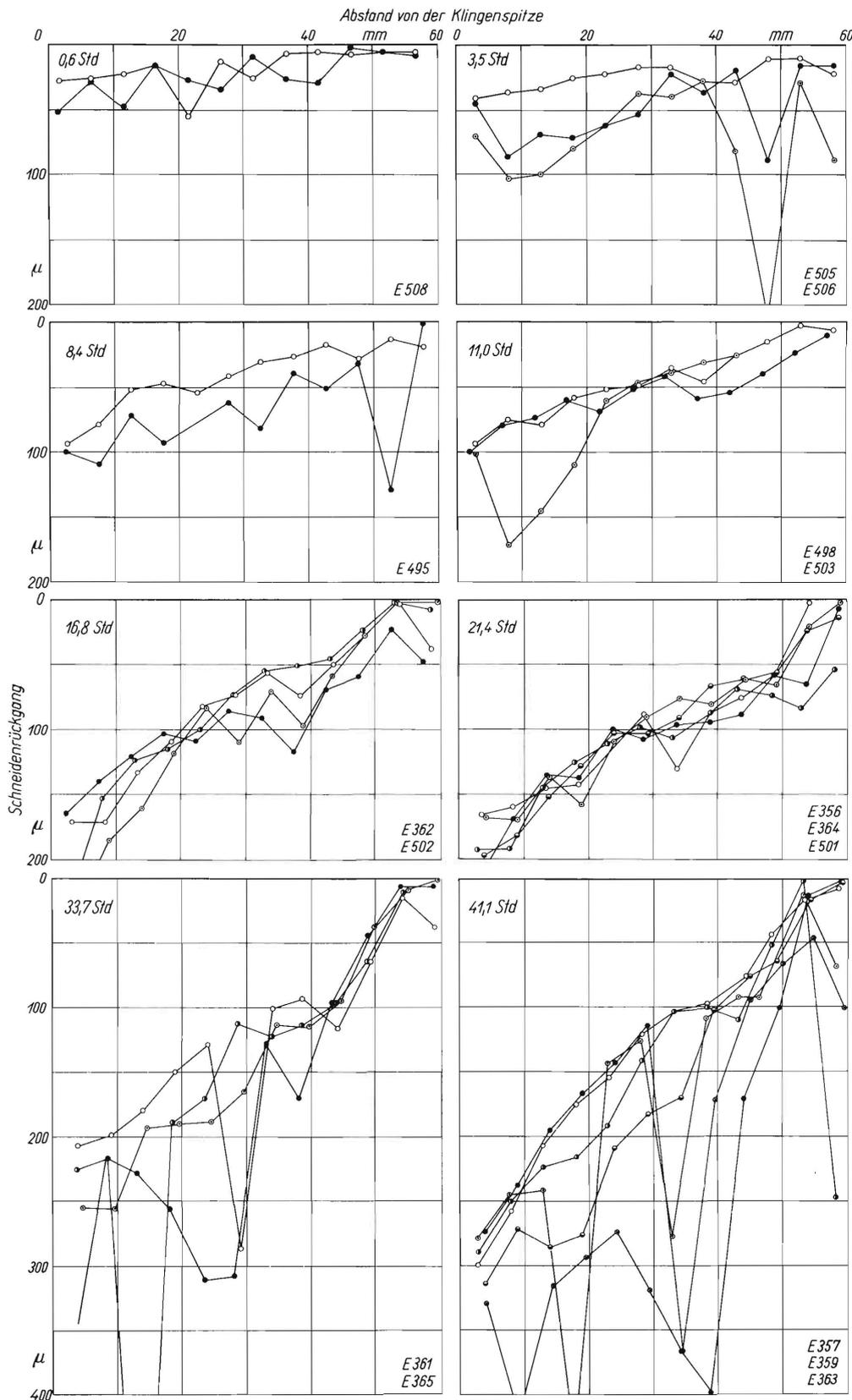


Bild 11 bis 18. Verschleiss der Mähmesserklingen (A) längs der Schneidkante nach verschiedener Mähzeit im Roggen. Der starke Spitzenverschleiss an einzelnen Messstellen rührt von mikroskopischen Ausbrechungen (Bild 19) infolge der Schleifriefen her.

Mähdescher $v = 0,95 \text{ m/s}$ Stoppelhöhe 30 bis 40 cm

Das Ergebnis der Messung des Schneidenrückganges bei verschiedenen Mähzeiten zeigt Bild 11 bis 18. Jeder einzelne Linienzug in den Bildern verbindet die 11 Messpunkte einer Klingenseite. Soweit mehrere Klingenschneiden derselben Mähdauer vorhanden waren, sind sie in dem jeweiligen Diagramm übereinander gezeichnet worden. Dargestellt sind nur solche Schneiden, die einwandfrei durch den Halmschnitt verschlissen sind. Schneiden, deren Unterseite auf der Fingerplatte gescheuert haben und dadurch zusätzlich auf Verschleiss beansprucht wurden, sind in dieser Darstellung nicht aufgenommen worden. Von 25 × 2 untersuchten Klingenschneiden konnten danach noch 28 in Bild 11 bis 18 aufgenommen werden. Infolge der hohen Stoppel sind keine Klingen durch Fremdkörper schartig geworden.

Man erkennt besonders bei den Schneiden mit langer Laufzeit, dass der Verschleiss vom Klingengrund (Messstelle 11) nach der Klingenspitze (Messstelle 1) etwa linear zunimmt. Die geringe Verschleissbeanspruchung im Klingengrund hängt, wie wir bei der Schlussbetrachtung sehen werden, mit der geringen Fahrgeschwindigkeit des Mähdreschers und dem Schwingen des Messers über zwei Fingerteilungen zusammen.

Aus Bild 11 bis 18 ersieht man ferner, dass einzelne Messstellen einer Schneide unvermittelt einen sehr hohen Verschleiss haben. Dies ist auf eine eigenartige Auswirkung des Schliffes auf der Klingenseite zurückzuführen. Die Schleifriefen laufen bei manchen Klingen in einem sehr spitzen Winkel zur Schneidkante aus (Bild 2 und 19). Die Folge ist, dass die sehr harte Schneidkante bei diesen Klingen infolge der Kerbwirkung der Schleifriefen in Richtung dieser Riefen ausbrechen. Dadurch, dass der Schliff auf der Fasenfläche senkrecht zur Schneidkante verläuft, entsteht die sägenförmige Gestalt dieser mikroskopischen Ausbrechungen (Bild 19). Die Tiefe

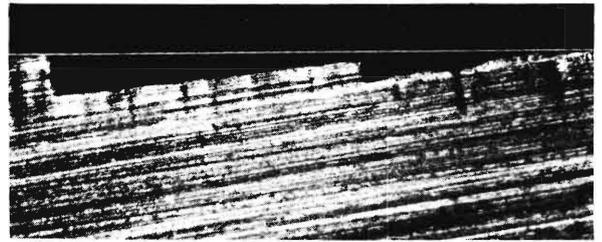


Bild 19. Mikroskopische Ausbrechungen infolge der Kerbwirkung der im spitzen Winkel zur Schneidkante auslaufenden Schleifriefen auf der Klingenseite (s.a. Bild 2). Vergrößerung 20 : 1

Die weiße Linie ist die ursprüngliche Schneidkante. Die Schleifriefen auf der Fasenfläche verlaufen senkrecht zur Schneidkante.

der Ausbrechungen beträgt etwa 100 bis 400 μ , also ebenso viel wie der natürliche Verschleiss durch das Schnittgut, der durch die oberen Hüllkurven der Kurvenscharen in Bild 11 bis 18 dargestellt wird.

Ohne hier näher auf die Folgerungen aus dieser Erkenntnis eingehen zu können, deutet sich hier die ausserordentliche Wichtigkeit des richtigen Schliffes an. Wenn man Bild 19 vor Augen hat, kann man sich vorstellen, was eintritt, wenn auf der Fasenfläche die Schleifriefen ebenfalls in ungefährer Richtung der Schneidkante verlaufen, was beim Nachschärfen der Mähmesser bei fast sämtlichen Schleifrichtungen leider der Fall ist. Dass der Schliff möglichst fein sein soll und bei der Härtung neben einer hohen Härte eine gewisse Zähigkeit des Werkstoffes angestrebt werden muss, ist eine weitere Erkenntnis, die man aus diesen mikroskopischen Ausbrechungen ziehen kann.

Wie bereits angedeutet, entsprechen die oberen Hüllkurven in den Darstellungen von Bild 11 bis 18 dem natürlichen Verschleiss der Schneiden durch die Roggenhalme. Diese Hüllkurven sind in Bild 20 übereinander gezeichnet und daraus ist Bild 21 ent-

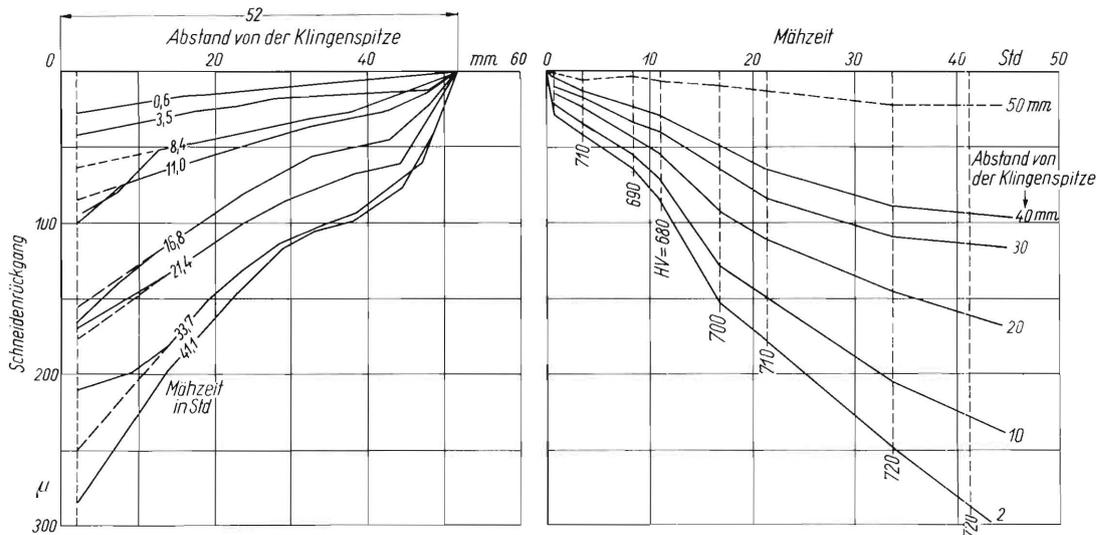


Bild 20 (links). Verschleiss der Mähmesserklängen (A) längs der Schneidkante bei verschiedener Mähzeit im Roggen. Bild 21 (rechts). Verschleiss der Mähmesserklängen (A) im Roggen in Abhängigkeit von der Mähzeit an 6 verschiedenen Stellen der Schneidkante.

Mähdrescher $v = 0,95$ m/s Stoppelhöhe 30 bis 40 cm

wickelt worden. Bild 21 stellt den Verschleiss an den einzelnen Messstellen in Abhängigkeit von der Mähzeit dar. Die eingetragenen Härtezahlen (HV = 680 bis 720) entsprechen den Klingenschneiden, deren Verschleiss der betreffenden Hüllkurve am nächsten gelegen haben.

Man erkennt auch in diesem Bild, dass der Verschleiss an der Klingenspitze (in 2 mm Abstand von der Spitze) weitaus am grössten und doppelt so gross ist wie in der Schneidenmitte (in 25 mm Abstand). Verfolgt man den Verschleiss an der Klingenspitze, so geht die Schneide in der ersten Stunde schnell zurück (um etwa 30μ), um dann etwa linear bis auf 300μ bei 41 Std. Mähzeit zuzunehmen. Man könnte vermuten, dass mit der zunehmenden Abrundung der Schneide (Bild 7 bis 10) die Schneide degressiv, d.h. allmählich langsamer, zurückgehen müsste. Da dies nicht der Fall ist, wird wahrscheinlich der Verschleiss durch ein verstärktes Gleiten der Halme an der gerundeten Schneidkante entsprechend erhöht.

Wie kommt es nun, dass mit den Versuchsklingen 41 Stunden gemäht werden konnte, wo doch im allgemeinen die Messer im Getreide etwa nach 5 Stunden Mähzeit gewechselt, d.h. nachgeschliffen werden müssen?

Erstens handelt es sich bei den Klingen A um Qualitätsklingen, wie man an der gleichmässigen Härte und gleichmässig breiten Härtezone erkennen kann. Zweitens sind es fabrikneue Klingen, deren Schliff trotz des in Bild 19 gezeigten Mangels um vieles besser ist, als bei den vom ländlichen Handwerker nachgeschliffenen Klingen, deren Schneide während des Gebrauches bis zu 7 mm zurückgeht (Bild 22). Und nicht zuletzt ist die lange Mähzeit auf die grosse Stoppelhöhe beim Mähdrusch zurückzuführen.

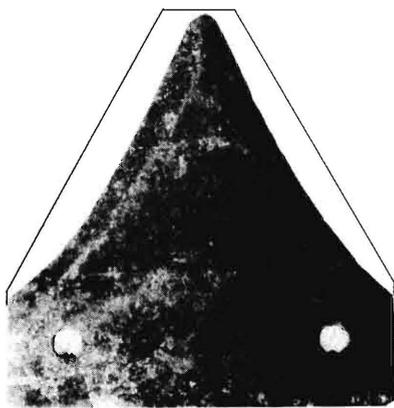


Bild 22. Durch Nachschleifen verbrauchte Mähmesser Klinge (2/3 natürl. Grösse). Die Schneidkanten sind bis zu 7 mm gegenüber der ursprünglichen Lage zurückgegangen.

Die bekannten Fehler beim Nachschleifen der Klingen bestehen in der Verwendung ungeeigneter Schleifscheiben und im Erwärmen der feinen Schneiden durch trockenes Schleifen, das in ungünstigen Fällen bis zum Blauanlaufen führen kann; ferner wer-

den die Klingen längs der Schneidkante (s.oben) geschliffen und meist die sich bildenden Grate nicht entfernt.

Wird nun die Frage aufgeworfen, wann wäre das Messer unter den vorliegenden Verhältnissen als stumpf anzusprechen, so wird man antworten müssen: wenn die Schneidkräfte so gross geworden sind, dass das Getriebe darunter notleidet. Ein gewissenhafter Maschinenführer hört dies an dem harten Gang des Mähmessers (das frischgeschliffene Messer gibt ein „zischendes“ Geräusch von sich). Er würde das neue Messer nach 15 bis höchstens 20 Stunden Mähzeit (das entspricht 50 bis 70 km Mähweg) ausgewechselt haben, d.h. wenn nach Bild 21 die Schneide an der Klingenspitze um 130 bis 170μ zurückgetreten ist, und nach Bild 7 und 8 die Schneidkante einen Abrundungshalbmesser von etwa 20 bis 30μ angenommen hat.

Da es bei dem Versuch darauf ankam, die Grenze der Schneidfähigkeit ohne Rücksicht auf die Kräfte festzustellen, wurde weitergemäht mit dem Erfolg, dass das Messer nach etwa 28 Std. morgens und abends im taufeuchten Getreide zu „rupfen“ anfang, wobei das Stoppelende einzelner Halme beim Schneiden im Boden gelockert wurde. Tagsüber im abgetrockneten Getreide wurde diese Erscheinung nicht beobachtet.

Mähmesserverschleiss im Gras

Der Verschleissversuch im Gras wurde mit einem 5' Anbaumähbalken für Normalschnitt (Zahlentafel 1) durchgeführt. Gemäht wurden zwei Wiesen von zusammen rund 20 Morgen in 6,3 Stunden reiner Mähzeit bei einem reinen Mähweg von 33 km. Davon wurden 11 km mit einer Fahrgeschwindigkeit von 1,2 m/s und 22 km mit 1,6 m/s gemäht. Der Versuch wurde mit den Messerklingen B durchgeführt, die in der Qualität bei weitem nicht denen im vorhergehenden Versuch verwendeten entsprachen.

Nach Bild 23 war die Grösse des Verschleisses über die Schneidkantenlänge gleichmässiger als bei dem Versuch im Roggen. In der Klingenspitze ist der Schneidenrückgang fast ebenso gross wie an der Klingenspitze. Vor allem fällt aber gegenüber dem Versuch im Roggen der hohe Verschleiss der Schneiden im Gras auf. Im Gras ging die Schneide nach 33 km Mähweg (= 6,3 Std.) um beinahe 250μ zurück, während im Roggen bei demselben Mähweg (= 9,2 Std.) der Schneidenrückgang nur etwa 70μ betrug. Der grosse Verschleiss beim Grasschnitt ist nicht nur in der grösseren Ständdichte des hartstengeligen Grasses begründet, sondern vor allem auch in der viel geringeren Stoppelhöhe gegenüber dem Versuch im Roggen. Beim Gras wird eine möglichst niedrige Stoppelhöhe angestrebt, um eine möglichst grosse Ausbeute zu haben. Die Schneide kommt mit Sand- und Erdeilchen (Maulwurfshügel) in Berührung, wodurch sich auch das häufige Auftreten von makroskopischen Scharten, von allerdings geringer Ausdehnung in diesem Falle, erklären lässt.

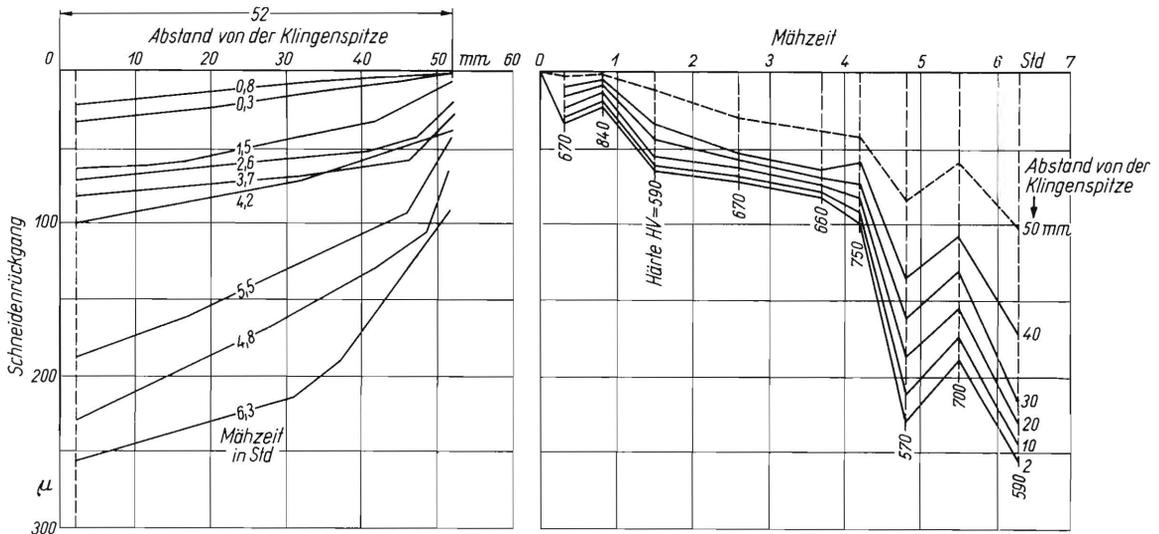


Bild 23 (links). Verschleiss der Mähmesserklingen (B) längs der Schneidkante bei verschiedener Mähzeit im Gras. Bild 24 (rechts). Verschleiss der Mähmesserklingen (B) im Gras in Abhängigkeit von der Mähzeit an 6 verschiedenen Stellen der Schneidkante.

Anbaumähwerk $v = 1,2$ und $1,6$ m/s Stoppelhöhe = ~ 5 bis 8 cm

Die Abhängigkeit des Verschleisses von der Mähzeit ist in Bild 24 dargestellt. Die Unstetigkeit im Verlauf der Verschleisskurven ist durch den grossen Härteunterschied dieser Versuchsclingen bedingt. Beispielsweise zeigt die Klinge mit 4,8 Std. Mähzeit infolge ihrer relativ geringen Härte (HV = 570) einen wesentlich höheren Verschleiss als die benachbarten Kligen mit 4,2 Std. bzw. 5,5 Std. Mähzeit und einer Härte von 750 bzw. 700 Vickerseinheiten. Lässt man die Kligen mit extrem hoher Härte (HV = 840) und extrem niedriger Härte (HV = 570 bis 590) ausser Betracht, so könnte man eine progressive Zunahme des Verschleisses mit der Mähzeit aus diesem Bild herauslesen. Diese Aussage müsste aber durch eine gleichmässig gehärtete Kligenart erst noch erhärtet werden.

Den Einfluss der Härte auf den Verschleiss kann man in diesem Versuch bereits erkennen. In Bild 25 ist der Verschleiss von drei Kligen derselben Art.

die unter denselben Verhältnissen 6,3 Std. gemäht haben, gesondert dargestellt. In 10 mm Entfernung von der Klingenspitze ist der Verschleiss der Klinge mit einer Härte HV = 780 nur etwa 60% von dem der Klinge mit HV = 590. In Bild 26 erkennt man, wie der Schneidenrückgang mit zunehmender Härte an sämtlichen Messstellen abnimmt.

Die Schneidfähigkeit der Kligen des vorstehenden Versuches war noch nicht erschöpft; der Versuch musste wegen Beendigung der Schnittperiode abgebrochen werden.

Mähmesserverschleiss bei verschiedenartigem Schnittgut

In einem weiteren Versuch wurde der Verschleiss der Kligen C in dem Schneidwerk eines 7' Zapfwellenbinders (Zahlentafel 1 und 2) festgestellt. Es sollten die Kligen wieder bis zur Erschöpfung ihrer Schneidfähigkeit arbeiten. Da ein einheitliches Ge-

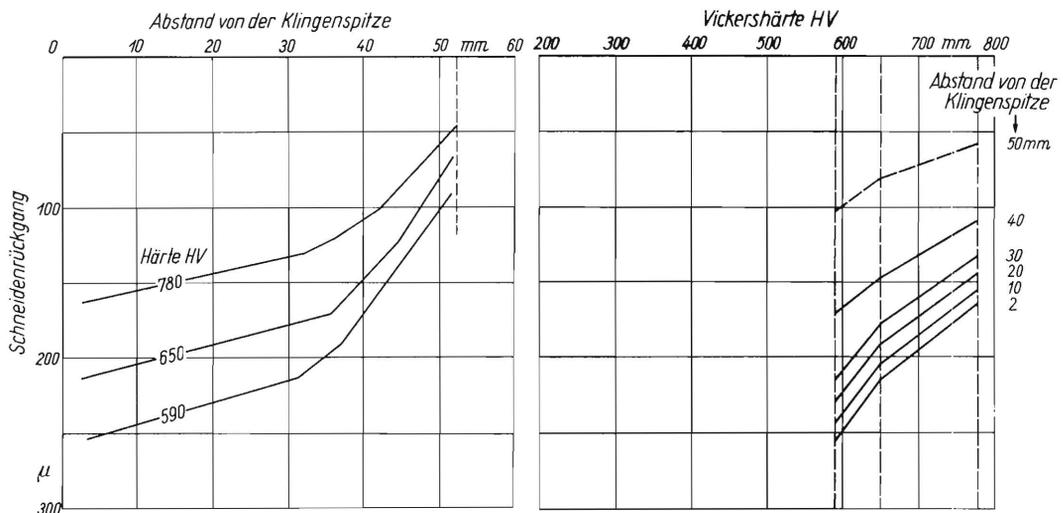


Bild 25 und 26. Abhängigkeit des Schneidenverschleisses von der Härte der Kligen (B). (Grasschnitt wie in Bild 23 und 24).

Mähdauer 6,3 Std. Anbaumähwerk $v = 1,2$ und $1,6$ m/s.

treidefeld von ca. 200 Morgen wegen der vorgerückten Jahreszeit nicht mehr aufzutreiben war, wurde mit derselben Maschine nacheinander folgendes Mähgut geschnitten:

	v m/s	Mäh- dauer h	Fläche Morgen	Mäh- weg km
Roggen	1,2	5,8	20	24
Hafer – Gerste	1,6	12,2	64	70
reifes Lieschgras	0,8	5,6	10	16
Weizen	1,6	14,6	70	84
		38,2	164	194

Der Schneidenrückgang der Klingenschneide ist nach Bild 27 noch gleichmässiger über die Schneidenlänge verteilt wie beim Gras nach Bild 23. In 40mm Abstand von der Klingenspitze ist der Schneidenrückgang fast ebenso gross wie an der Klingenspitze selbst.

Nach dem Versuch waren die Schneiden, die 194 km gemäht hatten, um rund 500 μ , d.s. 0,5 mm, zurückgegangen. Die bei dieser Abstumpfung der Schneide auftretenden Schneidkräfte am Messer kann die Zapfwelle des Schleppers ohne weiteres leisten. Bei Mähmaschinen für Gespannzug, bei denen das Getriebe

samt dem Kurbeltrieb des Messers von dem Haupttrad aus angetrieben werden muss, wird man mit Rücksicht auf die Leichtzügigkeit der Maschine schätzungsweise nur ein Viertel des Verschleisses zulassen dürfen, d.h. in unserem Falle nach etwa rund 50 km Mähweg das Messer nachschleifen müssen. Da der eigentliche Trennerfolg auch nach 194 km noch genügte, so erkennt man, dass bei den Mähmessern das Kriterium für die Schneidfähigkeit die Höhe der Schneidkraft und nicht die Güte der Trennarbeit ist. Allerdings muss hinzugefügt werden, dass während des Versuches 6 Klingen, die infolge von Fremdkörpern grössere Scharten (bis zu 2 mm Tiefe und 4 mm Breite) bekommen hatten, ausgewechselt werden mussten, um den Versuch fortführen zu können. In der Praxis würde man das Messer herausgenommen und (mindestens) die Scharten nachgeschärft haben.

Nach Bild 28 nimmt der Verschleiss fast proportional dem Mähweg zu, dank auch der grossen Gleichheit in der Klingenhärte.

Gerippte Mähmesserklingen

Es ist seit langem bekannt, dass die gerippten Messerklingen im Getreide eine selbstschärfende

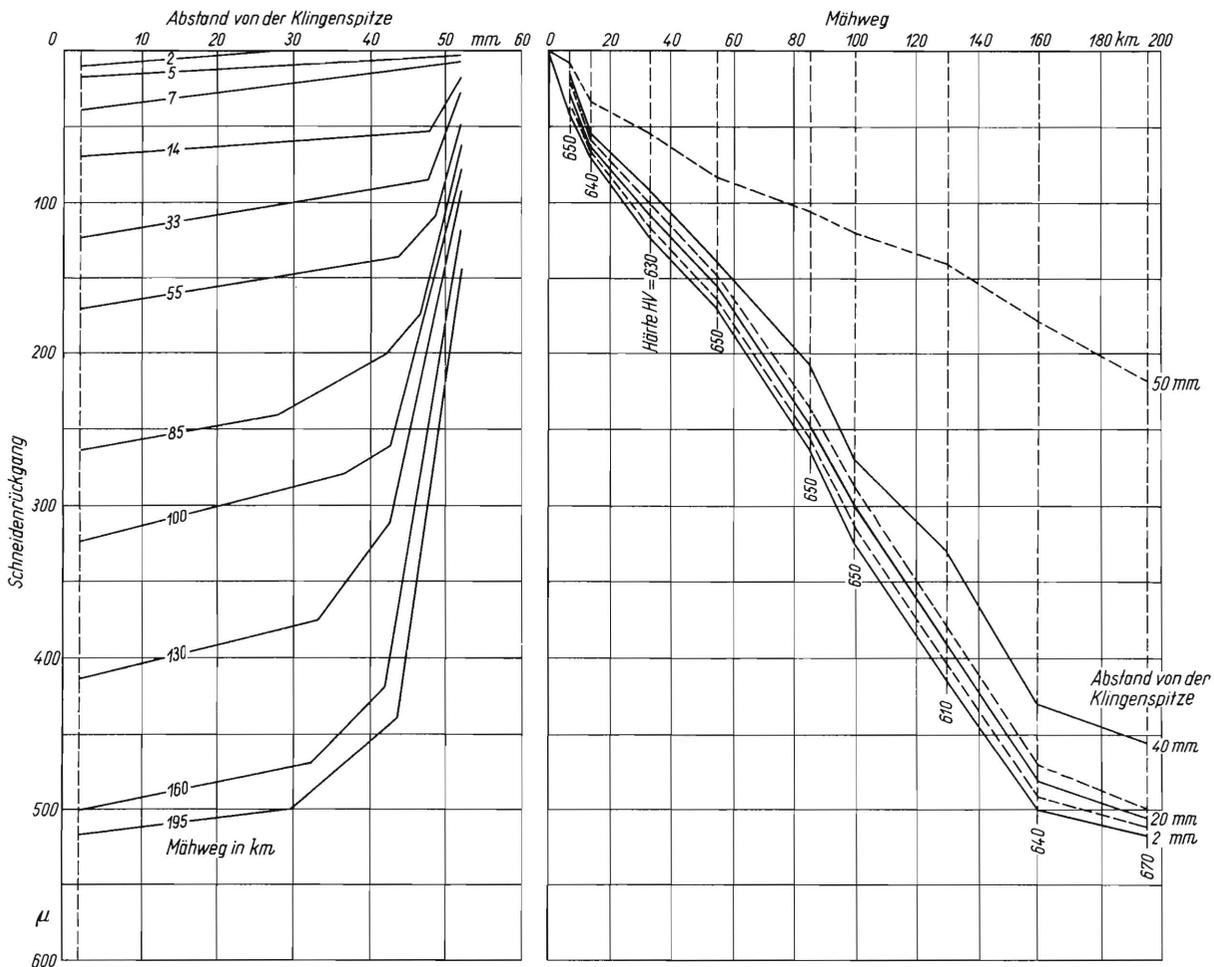


Bild 27 (links). Verschleiss der Mähmesser Klinge (C) längs der Schneidkante bei verschiedenem Mähweg in verschiedenem Schnittgut (s. Zahlentafel 1).

Bild 28 (rechts). Verschleiss der Messerklingen (C) bei verschiedenem Schnittgut in Abhängigkeit vom Mähweg an 6 verschiedenen Stellen der Schneidkante.

Zapfwellenbinder $v = 0,8$ bis $1,6$ m/s

Stoppelhöhe ca. 15 cm

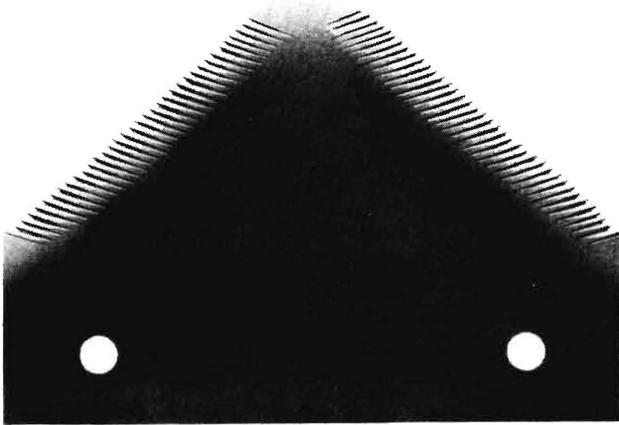


Bild 29. Gerippte Messerklinge (*E*) eines amerikanischen Mähreschers (*Case*) im neuen Zustand.
(4/5 natürl. Grösse)

Wirkung haben [3 bis 5]. Aus neuerer Zeit liegt ein Bericht ([2], Seite 94 und 95) über einen Versuch mit den gerippten Mähmesserklingen *E* amerikanischer Herkunft (s. Zahlentafel 1) vor. In Bild 29 ist eine solche Klinge im neuen Zustand dargestellt. In vier Ernten, in denen die Klängen *E* an einem Mährescher einen Mähweg von 1100 km bewältigt haben, sind die Klängen nie nachgeschärft worden. Bei diesen Klängen ist die erstaunliche Tatsache zu beobachten (Bild 30), dass deren Schneiden in den vier Ernten um die dreifache Zahntiefe verschlissen sind, und trotz dieses hohen Verschleisses die ursprüngliche Zahnform über die ganze Schneidenlänge erhalten geblieben ist. Wir erkennen weiter, dass sich in Fortsetzung der Zahnlücken tiefe Rillen auf der Klingenoberseite gebildet haben.

Nach *Kloth* und *Göttmann* [6], die an diesem Schneidwerk Leistungsmessungen durchgeführt haben, ist der Leistungsverbrauch je m Messerlänge eher geringer als bei einem normalen, d.h. mit glatten DIN-Klängen ausgerüsteten Schneidwerk. Vergleicht man die Zahnform der abgenutzten und der neuen Klinge miteinander, so darf man sogar annehmen, dass die Schneidkräfte während der Arbeit eher ab- als zugenommen haben.

Wie ist nun das Phänomen der Selbstschärfung dieser Klängen trotz des grossen Verschleisses zu erklären? Die Zahnschneiden, die die Schneide bilden, dringen fast ohne Widerstand in die längsfaserige Struktur der Halme ein und verhindern dabei ein Entlanggleiten der Halme an der sehr schräg gestellten Schneidkante¹¹⁾. Im Grunde der Zahnlücken werden die Halmfasern abgeschnitten, wobei das obere Halme die Form des Zahnquerschnittes annimmt. Bei diesem „Abschneiden“ wird die Zahnschneide also fast garnicht, aber umso mehr die Zahnflanken und

11) Der gelegentlich ausgesprochenen Ansicht, dass die Zähne „sägen“, steht die Verschleissform der Zähne entgegen.

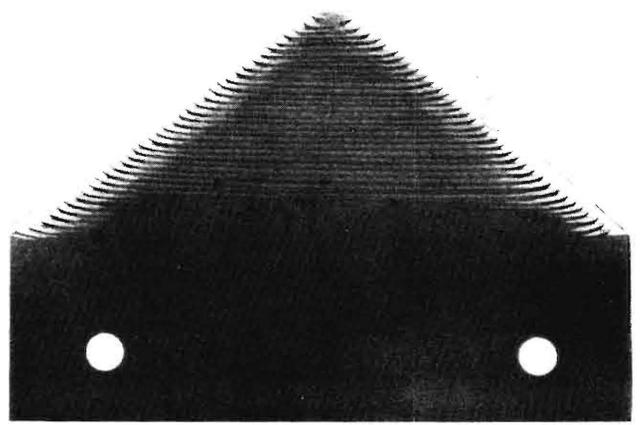


Bild 30. Gerippte Messerklinge *E* eines Mähreschers (*Case*) nach einer Mäharbeit von 1100 km im Getreide.
(4/5 natürl. Grösse)

die Zahnlücke durch Reibung auf Verschleiss beansprucht. Nach dem Trennen gleitet die Klinge unter dem Halmende, das sich der Querschnittsform der Zähne angepasst hat, hindurch, wobei unter Mitwirkung von feinen Sandteilchen die Zahnlücken mehr und mehr verschleissen und sich allmählich auf der Klingenoberseite fortsetzen. Die Führung der Halme in den Zahnflanken ist so gut, dass der rillenförmige Verschleiss über die ganze Klingenoberfläche in Richtung der Messerbewegung fortschreitet

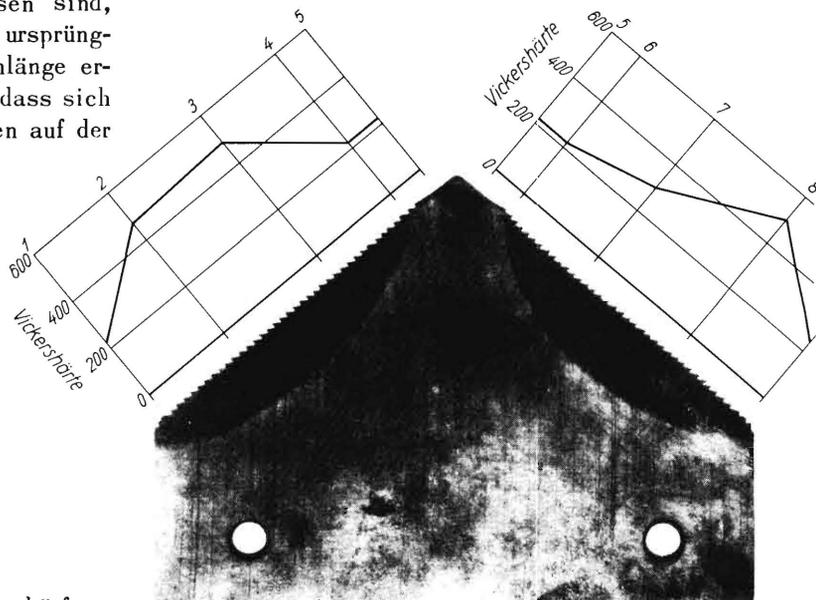


Bild 31. Härte und Härtezone der gerippten Messerklinge *E* (nach *Kloth* [7]). (4/5 natürl. Grösse)

bis er mit der Gegenrinne der anderen Klingenkante zusammenläuft. Die in Bild 30 gezeigte Verschleissform ist auf einem Mähweg von rund 1100 km entstanden. Bei den gerippten Messerklängen *D* entsprechend der deutschen Normklinge mit einem Spitzenvinkel von 60° , sind nach einer Ernteperiode, in der das betreffende Messer einen Mähweg von 164 km zurückgelegt hat, auf der Klingenoberfläche die gleichen Schleifriefen in ihrer Entstehung zu erkennen (Bild 32).

Warum haben sich nun trotz dieses günstigen Verhaltens beim Getreideschnitt die gerippten Messerklingen bei uns in Deutschland nicht durchgesetzt? Dies hängt vor allem mit der bei den Bindemähern üblichen niedrigen Stoppelhöhe von 10 bis 15 cm zusammen. Die Gefahr, dass durch kleine Steinchen und sonstige Fremdkörper die Schneiden schartig werden bzw. bei den gerippten Klingen die Zähne abbrechen, wird umso grösser, je geringer die Stoppelhöhe ist. Die glatten Klingen werden, wenn sie schartig geworden sind, entsprechend nachgeschliffen, während die auf der Fase gerippten Klingen nicht nachgeschliffen werden können und durch solche Ausbrechungen unbrauchbar werden. Je mehr man aber mit der Einführung des Mähdreschers und auch aus sonstigen Gründen zu grösseren Stoppellängen übergeht, umso mehr kann man die grossen Vorteile der oben gerippten Klingen im Getreideschnitt wahrnehmen.

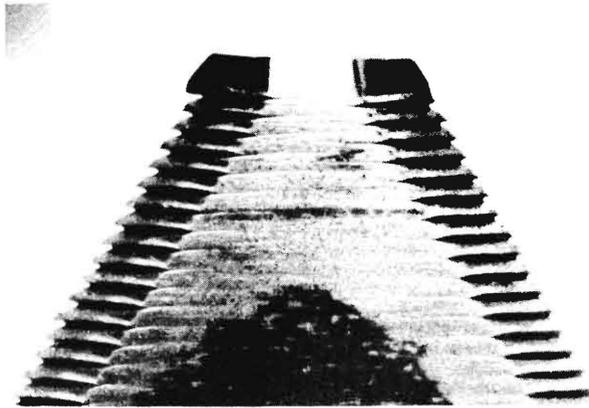


Bild 32. Gerippte deutsche Mähmesserlinge *D* mit den typischen von den Zahnlücken ausgehenden Verschleissriefen auf der Klingenoberfläche.
Vergrösserung 2 : 1

Ein anderer Grund des Versagens der gerippten Klingen im Getreideschnitt liegt in der unzuweckmässigen Form der Zahnung. Die Zähne müssen spitz sein und dürfen durch einen nicht richtig geführten Meisselhieb keine trapezförmige oder sonst unvollkommene Form annehmen. Je näher die Zähne in Form und Richtung an die Verschleissform der Zähne in Bild 30 herankommen, umso eher wird die Selbstschärfung durch den eigenartigen Verschleiss eintreten. So gesehen ist in Bild 32 die Zahnform der linken Schneide viel besser als die der rechten Schneide.

Wahrscheinlich dürfen die gerippten Klingen nicht zu hoch gehärtet werden (Bild 31), damit die Selbstschärfung durch den Verschleiss in der geschilderten Weise eintritt. Auch die Gefahr des Abbrechens der Zahnspitzen wird durch eine niedrige Härte (höhere Anlassstemperatur) beseitigt. Jedenfalls liegt die Härte der Klingen mit 300 bis 500 Vickersheiten im ganzen tiefer als die der deutschen Klingen *A* bis *D* (s. Zahlentafel 2).

Trotz der niedrigen Härte ist die Lebensdauer der gerippten Klingen grösser als die der glatten Klingen; das kommt im wesentlichen daher, dass bei den gerippten Klingen der Werkstoffverlust durch das Schleifen in Wegfall kommt. Dazu kommt, dass bei der heutigen Ausführung des Nachschliffes der glatten Klingen die ursprüngliche Härte ($HV \geq 600$) in der äussersten Schneidkante durch Erwärmen beim Schleifen oft nicht mehr vorhanden sein wird.

Einfluss von Schnittgut und Schneidwerk

In Bild 33 ist aus den vorstehenden Versuchen der Verschleiss für je 140 km Mähweg im Getreide entnommen worden und der Schneidenrückgang längs der Schneidkante dargestellt. Bei Gras wurden nur 33 km gemäht; die eingezeichnete Verschleisskurve gilt also nur für diese Leistung.

Vergleicht man zuerst einmal die Verschleisskurven I Roggen, II Weizen und III Weizen, Hafergerste, Lieschgras für die glatten Klingen und 140 km Mähweg, so fällt der grosse Unterschied in der Grösse des Verschleisses auf. Bei Versuch I und II sind die gleichen Klingen *A* mit praktisch derselben Härte verwendet worden, auch wurden die beiden Versuche mit demselben Mähdrescher gefahren. Ein wesentlicher Unterschied zwischen beiden Versuchen bestand in der Fahrgeschwindigkeit, indem der Roggen mit weniger als 1 m/s gemäht wurde, während der grösste Teil des Weizens mit 1,6 m/s geerntet wurde. Die 140 km Roggen wurden in rund 41 Std. gemäht, während der gleiche Mähweg im Weizen bereits in 28 Std. zurückgelegt war. Ein weiterer Unterschied war, dass der Roggen mit einer Stoppelhöhe von 30 bis 40 cm und der Weizen mit nur 20 bis 30 cm geschritten wurde. Über die Standdichte der beiden Getreidearten wurden keine Feststellungen gemacht. Es ist also schwer zu sagen, ob der höhere Verschleiss beim Weizen gegenüber dem Roggen dem Unterschied in der Schneidbarkeit, der Standdichte, der Fahrgeschwindigkeit oder auch der Stoppelhöhe – oder mehreren dieser Einflussfaktoren – zuzuschreiben ist.

Dagegen kann der Unterschied in der Verteilung des Verschleisses über die Schneidenlänge (Bild 33) erklärt werden. Die Klingen wurden bei dem Versuch im Roggen (Kurve I) nach der Klingenspitze zu wesentlich mehr beansprucht als in der Schneidenmitte (25 mm von der Klingenspitze), während bei dem Versuch im Weizen (Kurve II) der Verschleiss in der Schneidenmitte fast ebenso gross war wie an der Klingenspitze. Dies rührt eindeutig von dem Unterschied in der Fahrgeschwindigkeit her. Das Messer des Mähdreschers schwingt über zwei Fingerlücken. Bei der grossen Fahrgeschwindigkeit von 1,6 m/s im Weizen schneidet die Klingenschneide beim Durchgang durch beide Fingerlücken voll, während bei der kleinen Geschwindigkeit von 0,95 m/s im Roggen die Klingenschneide nur in der ersten Fingerlücke voll

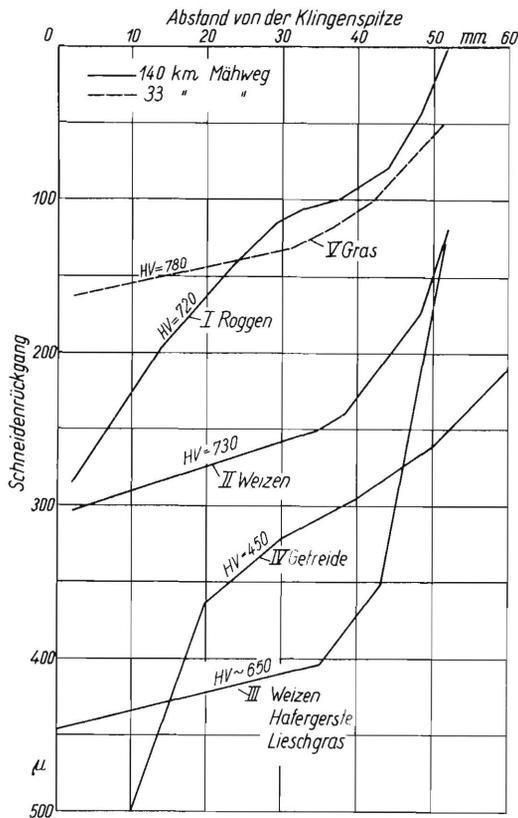


Bild 33. Verteilung des Verschleisses über die Schneidenlänge bei verschiedenen Klingen und verschiedenem Schnittgut.

- I glatte Klinge A, HV = 720, 140 km Roggen
 II „ Klinge A, HV = 730, 140 km Weizen
 III „ Klinge C, HV = 630, 140 km Weizen, Hafergerste, reifes Lieschgras
 IV gerippte Klinge E, HV ~ 450, 140 km Getreide
 V glatte Klinge B, HV = 780, 33 km Gras
 (I und II deutscher Mährescher, III Zapfwellenbinder, IV amerikanischer Mährescher, V Anbau-Mähwerk)

schneidet, in der zweiten Fingerlücke aber nur in der ersten Hälfte Halme zum Schneiden stehen¹²⁾).

Bei dem dritten Versuch (Kurve III) mit dem Zapfwellenbinder, ist der Verschleiss über der Schneidenlänge ebenso gleichmässig verteilt wie bei dem Versuch im Weizen (Kurve II), da bei der meist gefahrenen grossen Geschwindigkeit (Zahlentafel 1) wieder in beiden Fingerlücken voll geschnitten wurde. Der gegenüber den beiden ersten Versuchen (Kurve I und II) etwa doppelt so grosse Verschleiss dürfte im wesentlichen auf die noch geringere Stoppelhöhe von etwa 15 cm und die etwas geringere Härte der Klinge C zurückzuführen sein.

¹²⁾ Diese Feststellungen wurden in theoretischen Schnittdiagrammen graphisch ermittelt.

Interessant ist es nun, den Verschleiss der glatten Klingen A und C in Kurve I, II und III dem Verschleiss der gerippten Klinge E in Kurve IV gegenüberzustellen. Aus Bild 30 kann der Rückgang der Spitzen in seiner Verteilung über die Schneidenlänge einigermaßen genau entnommen werden. Der so ermittelte Schneiderrückgang ist auf einem Mähweg von 1100 km im Getreide entstanden und wurde zum Vergleich in Bild 33 auf einen Mähweg von 140 km reduziert (Kurve IV). Es ist erstaunlich, wie der Schneiderrückgang der gerippten Klingen der Gröszenordnung nach mit dem reinen Verschleiss (ohne Schleifen) der glatten Klingen übereinstimmt. Der grössere Verschleiss an der Spitze der gerippten Klingen (Kurve IV) hat denselben Grund wie bei der glatten Klinge in Kurve I, nur dass bei diesem Schneidwerk in der ersten Fingerlücke die Klingenspitze belastet ist und in der zweiten Fingerlücke voll geschnitten wird (die Klingebreite ist hier gleich zwei Fingerteilungen). Bei dem Vergleich der Grösse des Schneiderrückganges der gerippten Klingen muss beachtet werden, dass deren Härte mit HV = 450 erheblich niedriger liegt wie bei den glatten Klingen.

Bei dem letzten Versuch (Kurve V) im Gras wurden nur 33 km gemäht, d.h. das Anbaumähwerk hat nur den vierten Teil des Mähweges wie z.B. der Mährescher im Roggen (Kurve I) zurückgelegt. Trotzdem ist der Schneiderrückgang der Klingen B mit einer etwas höheren Härte (HV = 780) fast ebenso gross wie bei den Klingen des Mähreschers bei 140 km Mähweg. Dies kann fürs erste nur mit der niedrigen Stoppelhöhe und den dort vorhandenen Sandteilchen, sowie dem gelegentlichen Durchfahren von Maulwurfshügeln erklärt werden. Ob das z.Tl. hartstengelige Gras mit an dem hohen Verschleiss beteiligt ist, kann bei dem derzeitigen Stand der Ergebnisse noch nicht ausgesagt werden.

Schrifttum

- [1] Stoppel, Th.: Zur Systematik der Technologie des Schneidens. (In diesem Heft)
- [2] Stoppel, Th.: Was weiss man heute vom Schneiden? RKTL-Schrift Heft 91. Berlin 1939. S. 78/97.
- [3] Schneitler und Andree: Die landwirtschaftlichen Maschinen und Geräte. Leipzig 1861.
- [4] Wüst, Albert: Die Mähmaschine der Neuzeit. Leipzig 1875.
- [5] Weisbach, J.: Ingenieur u. Maschinen-Mechanik, III. Teil. Braunschweig 1896.
- [6] Kloth, W. und A. Göttmann: Untersuchungen am Schneidwerk eines Mähreschers. Techn. i. d. Landw. 14 (1933) S. 247/250.
- [7] Kloth, W.: Erfahrungswerte über die bei Landmaschinen verwendeten Werkstoffe und ihre praktische Bewährung (Unveröffentl. Manuskript). Berlin 1928.

Institut für Landtechnische Grundlagenforschung
 der Forschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode
 Direktor: Prof. Dr.-Ing. W. Kloth

Anschrift des Verfassers: Obering. Theodor Stoppel, (20b) Braunschweig, Bundesallee 50