

ÜBER DEN SCHNEIDVORGANG AN GRASHALMEN

Von K.H. Schulze

Betriebssicherheit und Güte der Arbeit des Schneidwerkes einer Mähmaschine hängen von vielerlei Faktoren ab. Sie sind gegeben einerseits durch Merkmale des konstruktiven Aufbaues des Schneidwerkes und andererseits durch die Zustandsbedingungen des Mähgutes. Es muss also Schneidwerkzeug und Schnittgut betrachtet werden.

Wenn man solche Untersuchungen beim Mähen auf der Wiese durchführen will, muss man sehr bald feststellen, dass das grosse Schwierigkeiten hat. Es liegen u.a. folgende Einflussfaktoren vor:

1. Form der Messerhalter (alte Form nach DIN oder neue flache Form),
2. Befestigungsart der Klingen auf dem Messerrücken (Flachkopfnietung nach DIN oder versenkte Nietung),
3. Form der Messerklingen (glatte oder gerippte Schneide),
4. Gegenschneide im Finger (glatte oder gerippte Fingerplatte),
5. Standdichte des Grases (dichter oder dünner Bestand),
6. Feuchtigkeit des Schnittgutes (feuchte oder trockene Wiese),
7. Zustand des Schnittgutes, insbesondere der Untergräser (grüne oder verrottende Halme).

Um den klaren Einfluss dieser Faktoren aus den Versuchen erhalten zu können, wären Reihenversuche notwendig, bei denen sich jeweils nur ein Faktor ändert; es ergeben sich hierbei $2^7 = 128$ Einzelversuche.

Will man nun noch den wichtigen Einfluss des Zusammenspiels der Klinge und Gegenschneide untersuchen, d.h. den Schneidvorgang im engeren Sinn, so muss man weitere Faktoren berücksichtigen:

1. die Klaffung, d.i. die Grösse des Spaltes zwischen Klinge und Gegenschneide,
2. die Schärfe des Messers,
3. die Schärfe der Gegenschneide,
4. den Anstell- bzw. Neigungswinkel der Schneide.

Jeder Faktor muss mindestens vier Messwerte haben, um eine gesetzmässige Abhängigkeit aufzeigen zu können. Das bedeutet weitere $4^4 = 256$ Versuche. Es wären also insgesamt 32 768 Versuche notwendig. Diese anzustellen, ist jedoch praktisch unmöglich, schon deshalb nicht, weil bei jedem Versuch die Bedingungen seitens des Schnittgutes unbeeinflussbar schwanken können. Man muss also Einschränkungen und Vereinfachungen vornehmen und Teilprobleme im Laboratorium untersuchen.

Von den eingangs erwähnten Faktoren sollen zunächst einige herausgestellt und durch Laboratoriumsversuche in ihrem Einfluss beleuchtet werden. Die mitgeteilten Ergebnisse erheben nicht den Anspruch, die Probleme erschöpfend behandelt zu haben, sondern sollen Methoden aufzeigen, wie grundlegende Fragen beim Schneidvorgang beantwortet werden können. Eine Betrachtung der üblichen Störungen beim Mähen gibt dabei einen Hinweis auf die Bedeutung der einzelnen Faktoren.

Störungsquellen beim Mähen

Beim Einsatz von Schneidwerken in schwierigen Grasverhältnissen sind drei Hauptquellen von Störungen (Verstopfungen) zu erkennen:

1. Halme geraten unter den Messerhalter und erzeugen dort eine erhöhte Führungsreibung des Messers (Bild 1). Dadurch entsteht am antreibenden Bodenrad bzw. Keilriemen ein Schlupf, der zur Folge hat, dass die Messergeschwindigkeit kleiner



Bild 1. „Grasbärte“ unter dem Messerhalter.

wird. Dies ist aber für den Schneiderfolg, mit anderen Worten auf den sauberen Schnitt ohne Rupfen, von schädlichem Einfluss [1, 2]. Die Gefahr war bei den Mähwerken alter Bauart mit Messerhaltern (Druckdaumen) nach der inzwischen zurückgezogenen DIN-Norm besonders gross. Durch die jetzt allgemein üblichen flachen Druckdaumen ist diese Gefahr wesentlich verringert, jedoch nicht beseitigt.

2. Grashalme geraten in den Raum zwischen Fingerhals und Messerschiene, wozu sie besonders

dann neigen, wenn die Klingen an der Messerschiene mit Flachkopfnieten befestigt sind (Bild 2).

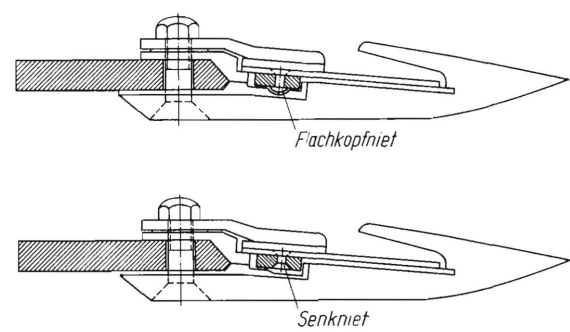


Bild 2. Mit Flachkopf- bzw. Senkkopfnieten auf der Messerschiene befestigte Klingen.

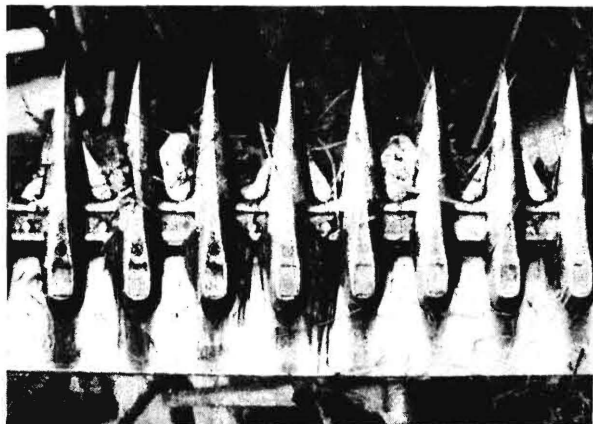


Bild 3. Einziehen von Grasresten zwischen Messerschiene und Fingerhals infolge vorstehender Nietköpfe.

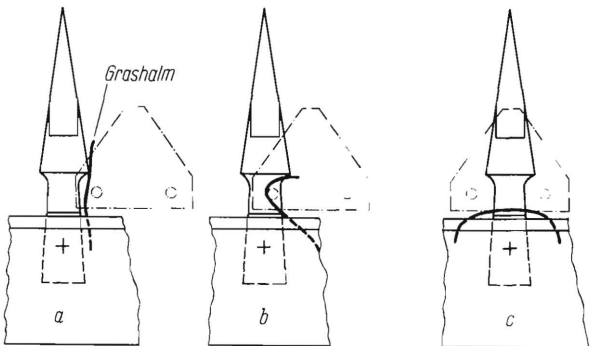


Bild 4. Vorgang beim Einziehen eines Halmes bei Flachkopfnieten. Der Abfluss der Halme ist gehemmt.

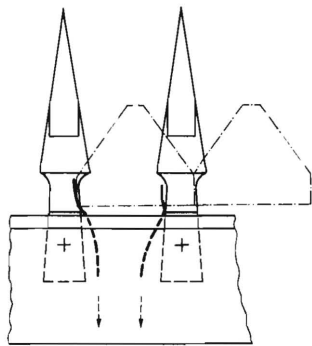


Bild 5. Freier Abfluss der Halmreste bei Befestigung der Klingen mit Senknieten.

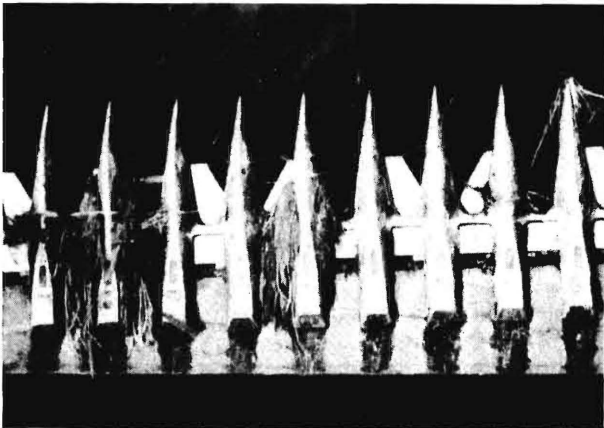


Bild 6. Zwischen Messerklinge und Gegenschneide eingezogene Grashalme.

Aus Bild 3 geht deutlich die Wirkung solcher Flachkopfnietung hervor. Die Folgen sind die gleichen wie im ersten Fall. Wie man sich den Vorgang des Einziehens zu denken hat, zeigt schematisch Bild 4, während Bild 5 andeutet, wie bei versenkter Nietung die Grashalme ungehindert abfließen können.

3. Die Grashalme können zwischen die Klinge und ihre Gegenschneide geraten (Bild 6). Hierfür sind mehrere Ursachen verantwortlich zu machen:

- a) klaffendes Messer,
- b) stumpfe Schneiden (und evtl. stumpfe Gegenschneiden),
- c) zu kleine Messergeschwindigkeit,
- d) das Verhalten der Halme vor und während des Schnittes.

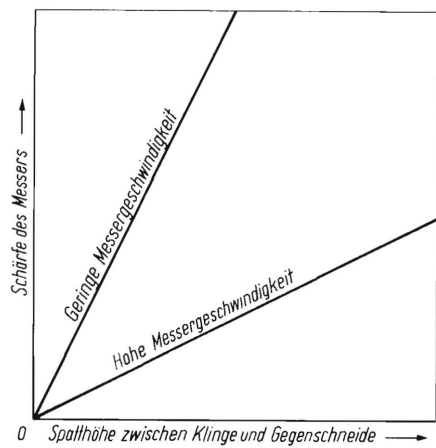


Bild 7. Grenzl意思nien für das Stopfen eines Schneidwerkes (schematisch).

Störungen an dieser Stelle haben die unangenehmsten Folgen, denn die Verstopfung nimmt sehr rasch zu und blockiert u.U. das Messer im Mähbalken. Die Wechselwirkung der Einflussfaktoren kann man sich an einer Stopfkennlinie, die im Bild 7 schematisch wiedergegeben ist, verdeutlichen. Bei grosser Spalthöhe zwischen Klinge und Gegenschneide (Klaffung) kann man bei hoher Messergeschwindigkeit

schwindigkeit noch mit geringer Schärfe des Messers arbeiten. Bei geringer Messergeschwindigkeit muss jedoch die Schärfe gross sein.

An der Klinge und an der Gegenschneide findet der eigentliche Schneidvorgang im engeren Sinne statt. Dieser sei nun näher betrachtet:

Das Schnittgut

Man spricht beim Schnittgut allgemein von Grashalmen, ohne sich zunächst um ihre Form und mechanischen Eigenschaften zu kümmern. Beim näheren Eingehen auf den Schneidvorgang muss man jedoch diese Faktoren in einer geeigneten Weise kennzeichnen.



Bild 8. Wiesenstoppel von breitblättrigen Gräsern.

Der Wiesenbestand setzt sich normalerweise aus 600–700 verschiedenen Grasarten zusammen, von denen 100–150 mit grosser Häufigkeit vorkommen.

Das Schnittgut besteht weiterhin aus Gräsern mit vegetativ unterschiedlichem Zustand, d.h. sie verbreiten sich durch Verzweigung am untersten Halmknoten mit dicht liegenden Seitentrieben, die dichte Horste bilden. Solche Horste bestehen aus dem Halm oder besser gesagt dem Stengel, welcher die Blüte oder die Frucht trägt und aus vielen Bodenblättern, welche die nicht sofort schossen-

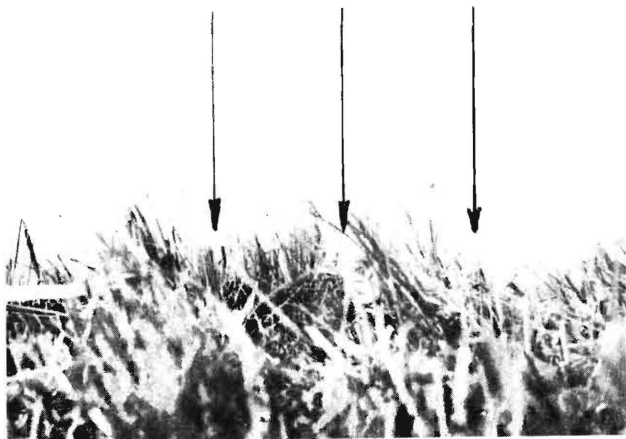


Bild 9. Wiesenstoppel von borstenförmigen Gräsern.

den Triebe sind. Die Blätter stehen entweder steil aufwärts oder hängen, sie haben eine unterschiedliche Form. Sie bilden das allgemein mit Grashalmen bezeichnete Material, das geschnitten werden muss [3].

Es interessiert deshalb vor allem die Form der Blätter, ob sie breitblättrig (Bild 8) sind oder ob sie borstenförmiges (Bild 9) Aussehen haben. Auch der Pflanzenbauer unterscheidet nach diesen Merkmalen die einzelnen Grassorten.

Z.B. werden als ausgesprochen flachblättrige Gräser die in Bild 10 genannten Grasarten bezeichnet. Die Abbildungen stellen die Querschnitte durch die Blätter in vergrössertem Massstab dar.

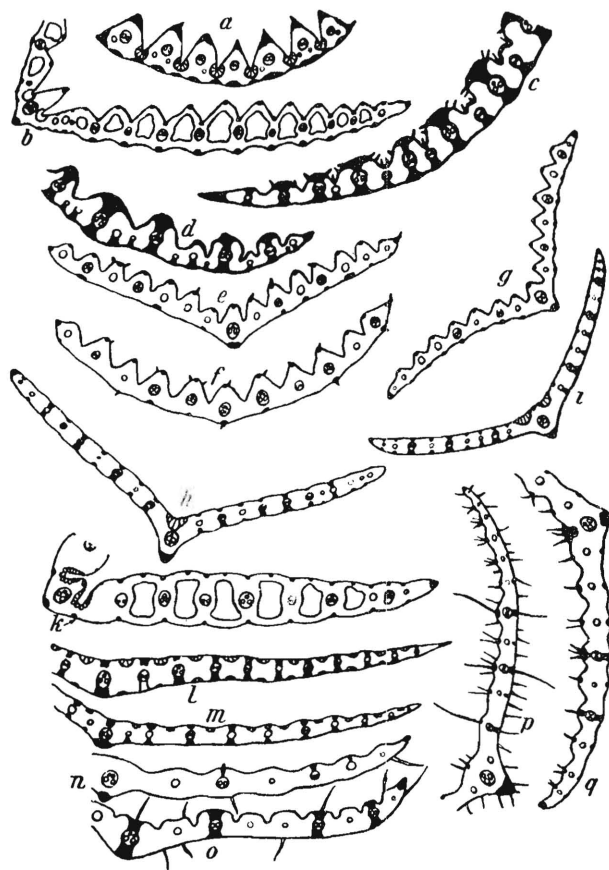


Bild 10. Blattquerschnitt mehr oder weniger flacher Grasblätter (nach Klapp [3]).

- | | |
|------------------------|---------------------------------|
| a Rasenschmiele | i Breitblättr. Wiesenrispengras |
| b Flutender Schwaden | k Wasserschwaden |
| c Strandgerste | l Rohrglanzgras |
| d Bienenquecke | m Wiesenlieschgras |
| e Deutsches Weidelgras | n Weiche Trespe |
| f Welsches Weidelgras | o Aufrechte Trespe |
| g Kammgras | p Wolliges Honiggras |
| h Knaulgras | q Goldhafer |

(bei b und k Luftgänge beachten!)

In Bild 11 dagegen sind die vergrösserten Querschnitte der borstenförmigen dargestellt, die auch als gefaltete oder gerollte Blätter bezeichnet werden. Der Stengel mit seinem runden, geschlossenen Querschnitt macht hinsichtlich des Schnittes erfahrungsgemäss selbst bei klaffenden Messern keine Schwierigkeiten. Besonders beim Schneiden

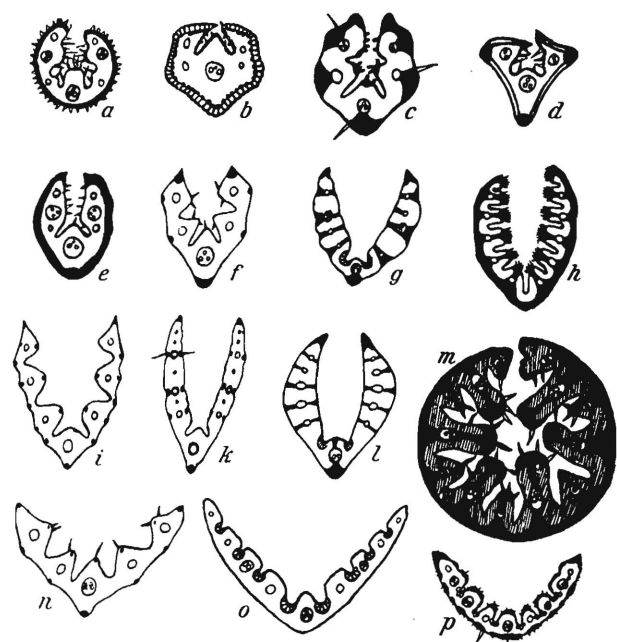


Bild 11. Blattquerschnitte stark gefalteter oder gerollter Grasblätter (nach Klapp [3]).

a Silbergras	i Hundsstraussgras
b Drahtschmiele	k Wiesenhafer
c Borstgras	l Kopfgras
d Verschiedenblättr. Schwingel	m Strandhafer
e Schafschwingel	n Mäuseschwanzschwingel
f Rotschwingel	o Salzschwaden
g Schmalblättr. Wiesenrispengras	p Kammschmiele
h Pfiemengras	

von Getreide lässt sich dies nachweisen, denn der Strohalm ist hinsichtlich des Aufbaues und des Querschnittes dem Grasstengel sehr ähnlich. Das breite Blatt lässt sich wegen der unterschiedlichen mechanischen Eigenschaften ohne grosse Schwankungen der Messergebnisse nur schwer erfassen. Das Flächenträgheitsmoment hängt zu sehr von der jeweils vorhandenen Biegeachse ab. Deshalb wird als Zwischenform zwischen dem günstigen kreisförmigen Querschnitt und dem ungünstig breitblättrigen zunächst einmal der Rotschwingel untersucht, der trotz seines offenen Querschnittes nahezu gleichsinnig beansprucht wird.

Die Biegesteifigkeit der Grashalme (dieser landläufige Begriff wird für die Blätter beibehalten)

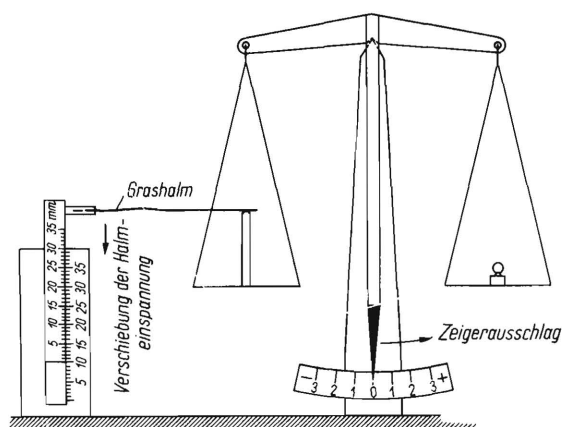


Bild 12. Ermittlung der Biegesteifigkeit von Grashalmen.

und der Querschnitt der Grashalme stehen unter bestimmten Voraussetzungen in einem engen Zusammenhang. Dieser lässt sich nachweisen, wenn man Halme möglichst homogenen Querschnittes (wie es eben bei dem Rotschwingel der Fall ist) und nahezu gleichen Feuchtigkeitsgehaltes in einer Biegevorrichtung (Bild 12) untersucht.

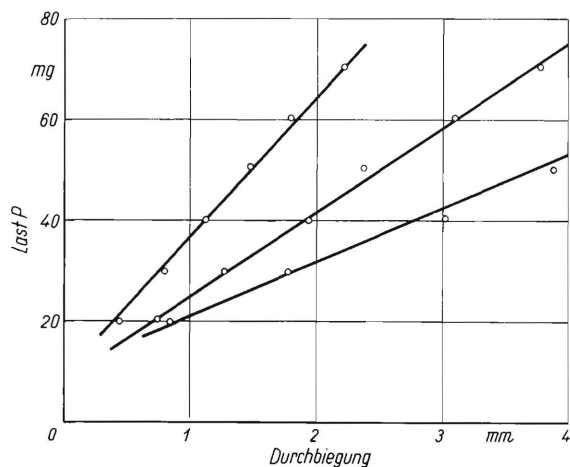


Bild 13. Biegekennlinien des Rotschwingels.
Biegemoment $M_b = P \cdot 30 \text{ mgmm}$
Halmfeuchtigkeit 200% der Trockengewichtes

Hierzu sei bemerkt, dass die Auflage des Halmes auf der Waagschale zuerst eine Schneide war. Verschoob man nun die Einspannung des Halmes nach unten, wobei sich der Halm durchbog, so ergaben sich infolge „Festhakens“ des Halmes an der Schneide bei Wiederholungsversuchen eine starke Streuung der Messwerte. Auf die dabei auftretende statische Zugbeanspruchung des Halmes soll später bei der dynamischen Betrachtung des Schneidvorganges näher eingegangen werden. Zur Vermeidung der geschilderten Streuung wurde als Auflage ein verchromter Draht mit sehr glatter Oberfläche benutzt.

Es lassen sich, wie Bild 13 zeigt, mit dieser Vorrichtung sehr schöne Biegekennlinien erzielen. Die Biegesteifigkeit hängt naturgemäss von der Grösse des Querschnittes der Halme ab. Diese direkt zu messen, bedeutet eine grosse Schwierig-

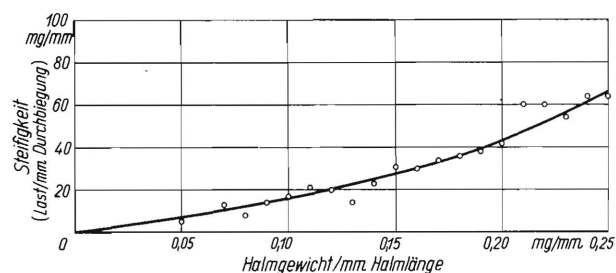


Bild 14. Biegesteifigkeit der Rotschwingelhalme in Abhängigkeit vom bezogenen Halmgewicht.

keit. Deshalb wird an seiner Stelle das Gewicht je Längeneinheit des Grashalmes als Massstab genommen. Man bekommt somit eine Kennlinie zwischen der Steifigkeit und dem auf die Längeneinheit bezogenen Halmgewicht (Bild 14).

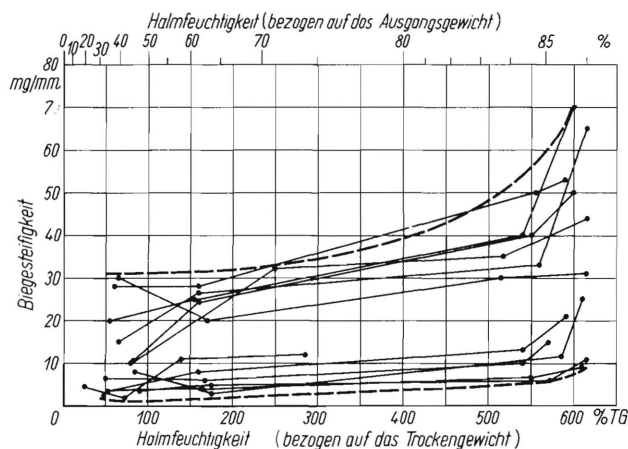


Bild 15. Biegesteifigkeit von Wiesenschwingel in Abhängigkeit von der Feuchtigkeit.
Alle zu einem Halm gehörenden Messwerte sind miteinander verbunden.

Es ist nun interessant, die Verhältnisse bei unterschiedlicher Feuchtigkeit festzustellen. Hier treten allerdings teilweise recht erhebliche Streuwerte auf (Bild 15). Man kann aber trotzdem die Tendenz erkennen, dass mit abnehmender Feuchtigkeit des Halmes auch seine Steifigkeit geringer wird. Das ist selbst noch bei dem relativ breitblättrigen Wiesenschwingel nachzuweisen.

Die Schneidbarkeit

Es sei definiert, dass eine gute Schneidbarkeit dann vorliegt, wenn eine Trennung des Halmes durch glatten Schnitt und ohne Abquetschen erfolgt. Ein Abquetschen kann z.B. eintreten, wenn Klinge und Gegenschneide auseinanderklaffen, oder die Schneiden stumpf sind. Das Abquetschen geschieht dadurch, dass der Halm von der Schneide in die klaffende Lücke eingezogen wird. Die Gefahr, dass jeder Halm auf diese „unnatürliche“ Weise getrennt wird, ist vorhanden, wenn nur wenige oder gar einzelne Halme von einem fehlerhaften Schneidwerk geschnitten werden müssen. Ist jedoch ein Halmbüschel guter Dichte zu schneiden, dann werden wahrscheinlich nur die ersten Halme, die an der Gegenschneide liegen, eingezogen, während für die folgenden kein Platz zum Ausweichen mehr ist. Sie werden dann noch recht und schlecht geschnitten werden, wenn sie an den ersten Halmen Widerstand finden.

Zur Untersuchung der Schneidbarkeit wurde eine einfache Versuchseinrichtung verwendet, bei der sich eine Messerklinge mit nahezu gleichförmiger Geschwindigkeit zu einer Gegenschneide

hinbewegt. Das gesamte Schneidwerk, das nur aus Klinge und Gegenschneide besteht, bleibt zum Standort des Halmes in Ruhe. Damit wurden folgende Versuche durchgeführt:

1) Einfluss des Abstandes einzelner Halme von der Gegenschneide

Mehrere Halme werden unter gleichen Bedingungen zum Schnitt gebracht und der Anteil der geschnittenen an der Gesamtzahl der dargereichten als Massstab für die Schneidbarkeit genommen. Unter stufenweiser Veränderung der Bedingungen bekommt man eine Funktion der Schneidbarkeit. Diese Methode ist zwar grob, reicht aber aus, um den Einfluss des Abstandes einzeln zu schneidender Halme zu ermitteln, den ein jeder Halm von der Gegenschneide hat, bevor die Messerklinge an ihm ansetzt und ihn zur Gegenschneide führt (Bild 16). Auch benutzt man diesen Massstab am besten (und zwar aus rein praktischen Gründen) bei der Bestimmung der Schneidbarkeit von Halmbüscheln.

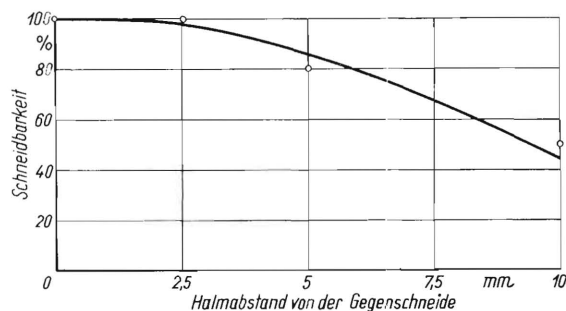


Bild 16. Schneidbarkeit einzelner Halme in Abhängigkeit vom Abstand der Halme von der Gegenschneide.

(Schneidwerk relativ zum Boden in Ruhe)

Schnittgut: Wiesenschwingel
Anstellwinkel: $\tau' = 25^\circ$ ($\approx$ Neigungswinkel λ)
Klaffung $s = 0,4$ mm
Messergeschwindigkeit $v_M = 1,7$ m/s

2) Einfluss von Klaffung, Messergeschwindigkeit und Zügigkeit des Schnittes

Unterschiedliche Abstände des einzelnen Halmes von der Gegenschneide haben eine Abbiegung des Halmes durch die zum Schnitt ansetzende Klinge zur Folge. Sie bringen unsichere Versuchsverhältnisse, wenn z.B. der Anstell- bzw. Neigungswinkel der Schneide, die Klaffung und die Schnittgeschwindigkeit untersucht werden sollen. Denn man beherrscht bei diesen Versuchen nicht das Verhalten der Halme auf ihrem Weg mit der Klinge zur Gegenschneide. Darüber wird später zu sprechen sein.

Schneidet man aber Halme, die unmittelbar an der Gegenschneide anliegen, dann reicht die Methode der anteilmässig geschnittenen Halme als Massstab nicht mehr aus. Aus Bild 16 ist nämlich erkenntlich, dass trotz einer Klaffung von Klinge und Gegenschneide von 0,4 mm alle Halme beim Abstand Null geschnitten werden können.

Um die Grenzen der Schneidbarkeit solcher Halme zu finden, die direkt an der Gegenschneide anliegen, muss die Stärke des Halmes als Beurteilungsmassstab herangezogen werden. Die Stärke wird, weil bei klaffenden Messern auch bei Abstand Null von der Gegenschneide die Biegesteifigkeit eine Rolle spielt, nach dem Gewicht je Längeneinheit des Halmes bei gleicher Feuchtigkeit gemessen. Hier muss man den Halm stets gleichsinnig zur Gegenschneide ansetzen, um die Versuchsbedingungen möglichst gleichartig zu lassen (Bild 17). Zum Schnitt kommen, wie bereits begründet, Halme des Rotschwingels.

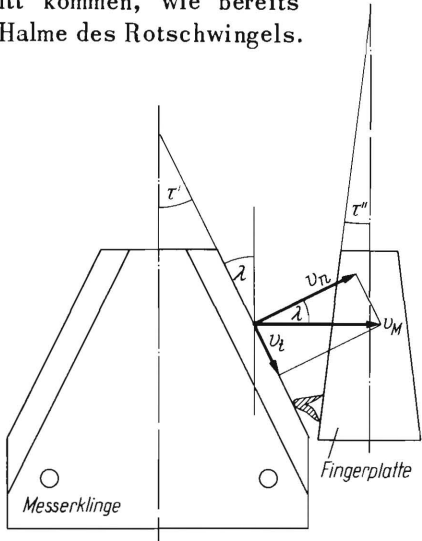


Bild 17. Komponenten der Messergeschwindigkeit relativ zum Schneidwerk.

Die Zügigkeit des Schnittes ist $\text{tg } \lambda = v_t/v_n$
 $\tau' =$ Anstellwinkel der Klingenschnede
(= Neigungswinkel λ)
 $\tau'' = \tau'$ Anstellwinkel der Gegenschneide

Bei dieser Anordnung lassen sich folgende Faktoren untersuchen:

- die Klaffung s ,
- die Messergeschwindigkeit v_M und
- die Zügigkeit des Schnittes v_t/v_n bzw. der Anstellwinkel τ' der Klingenschnede.

Die Zügigkeit des Schnittes ist das Verhältnis der in Richtung der Schnede weisenden Komponente v_t der Messergeschwindigkeit v_M zur senkrecht zur Schnede weisenden Komponente v_n [4]. Es besteht bei der gewählten Anordnung für die Zügigkeit die Funktion

$$v_t/v_n = \text{tg } \lambda (= \text{tg } \tau')$$

λ ist der Neigungswinkel, den die Klingenschnede mit der Normalen ihrer Schneidrichtung bildet. (Die Schneidrichtung ist die zum Schnittgut relative Bewegungsbahn der Klinge). Wenn, wie bei der Versuchsanordnung die Fahrgeschwindigkeit $v_F = 0$ ist, dann ist die Schneidrichtung gleich der Hubrichtung des Messers. Der Neigungswinkel λ ist hier also mit dem Anstellwinkel τ' identisch.

Die Kurven in Bild 18 und 19 geben mit dem bezogenen Halmgewicht (mg/mm Halmlänge) die schwächsten Halme wieder, die bei gegebener Schnittgeschwindigkeit und veränderlichem Neigungswinkel der Schnede eben noch einwandfrei geschnitten wurden. Man erkennt sowohl bei der Klaffung $s = 0,1 \text{ mm}$ als auch bei $s = 0,3 \text{ mm}$ die Verbesserung der Schneidbarkeit mit zunehmender Messergeschwindigkeit. Ein Vergleich von Bild 18 mit Bild 19 zeigt ausserdem eine Verbesserung der Schneidbarkeit mit kleiner werdender Klaffung.

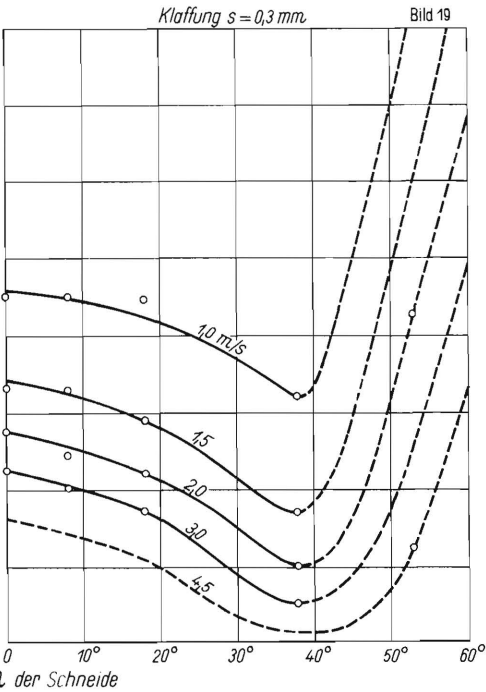
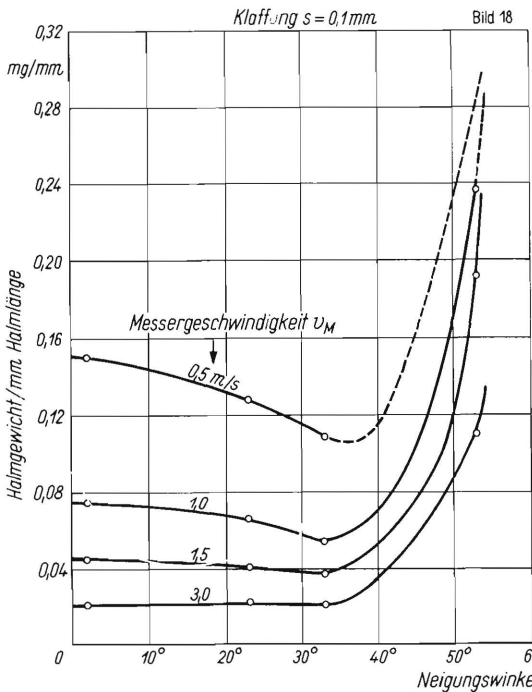


Bild 18 und 19. Die Schneidbarkeit von Einzelhalmen (dargestellt durch die Stärke der Halme, die noch einwandfrei geschnitten werden) in Abhängigkeit von dem Neigungswinkel der Klingenschnede bei verschiedenen Messergeschwindigkeiten.

Besonders kennzeichnend ist, dass in beiden Fällen ein bestimmter Neigungswinkel und somit eine bestimmte Zügigkeit ein Optimum darstellt ($\lambda = 30$ bis 40° bzw. $v_t/v_n = 0,6$ bis $0,85$).

3) Einfluss der Halmzahl

In einer weiteren Versuchsanordnung nach Bild 20 wurden bei unterschiedlicher Messergeschwindigkeit je 3 Halmbündel zu je 20 Halmen geschnitten. Jedes Halmbündel ist in gewissem Sinne vorverdichtet dadurch, dass die zu einem Bündel gehören-

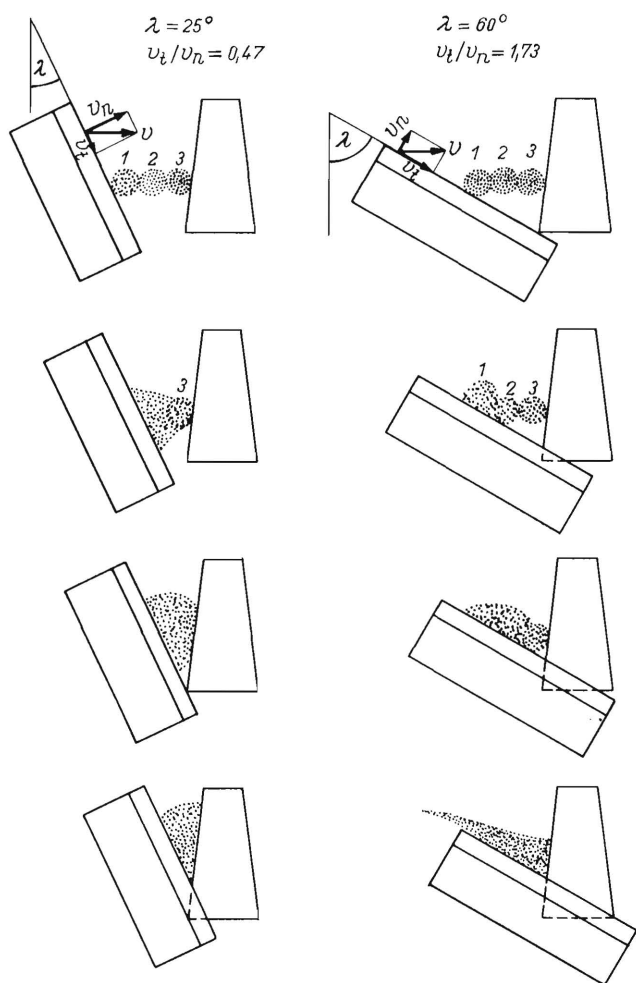


Bild 20. Verhalten einzelner Halmbündel beim Schnitt mit verschieden großem Neigungswinkel der Schneide.

den Halme an der Einspannstelle lose zusammengebunden sind. Sie stehen in verschiedenem Abstand von der Gegenschneide. Auch hier ist das Schneidwerk in Bezug auf den Standort der Halme in Ruhe. Das Bündel, das der Klingenschneide am nächsten steht, wird als das erste bezeichnet. Aus der Schneidbarkeit der Bündel lassen sich auf den Schneidvorgang für die extremen Fälle mit Neigungswinkel $\lambda = 25^\circ$ bzw. 60° Schlüsse ziehen. Die Zügigkeit ist dabei $v_t/v_n = 0,47$ bzw. $1,73$. Beim kleinen Neigungswinkel ist ein zusätzliches Verdichten aller drei Bündel bis zum Eintritt des Schnittes eines Bündels möglich. Beim grossen

Neigungswinkel dagegen wird eine weitere Verdichtung vereitelt. Die Klaffung zwischen Klinge und Gegenschneide beträgt $0,3$ mm.

4) Einfluss der Halmfeuchtigkeit

Bei der vorstehenden Versuchsanordnung werden Bündel von feuchten und trockenen Halmen untersucht (Bild 21 und 22). Als feucht werden alle Halme bezeichnet, die über 70% Wassergehalt (bezogen auf das Ausgangsgewicht) haben, als trocken diejenigen, deren Feuchtigkeit zwischen 0 und 70% liegt. Auch hier macht sich bemerkbar, dass bei $\lambda = 40^\circ$ die Schneidbarkeit offensichtlich besser ist als bei $\lambda = 25^\circ$ oder 60° . Die Schneidbarkeit wird hier ermittelt durch den Anteil der geschnittenen Halme an der Halmzahl je Bündel. Das erste Bündel, also das, welches sich am entferntesten von der Gegenschneide befindet, wird bei $\lambda = 25$ bzw. 40° am sichersten geschnitten. Die Reihenfolge der Schneidbarkeit der drei Bündel ist bei diesen beiden Neigungswinkeln gleich. Diese Tendenz ist sowohl bei feuchten als auch bei trockenen Halmen festzustellen. Es wird aber an trockenen Halmen (Bild 22) im Schneiderfolg erst bei Messergeschwindigkeiten von über 4 m/s eine gewisse Vollkommenheit erzielt, während bei den feuchten Halmen bei $\lambda = 25^\circ$ und besonders bei $\lambda = 40^\circ$ eine gute Schneidbarkeit schon bei $3,5$ m/s erreicht ist. Kennzeichnend ist ferner, dass bei $\lambda = 40^\circ$ im trockenen wie im feuchten Bereich die Schneidbarkeit der einzelnen Bündel eng beieinander liegt. Beim Neigungswinkel $\lambda = 25^\circ$ ist bei trockenen Halmen eine stark zunehmende Unsicherheit des Schneiderfolges vom 1. zum 3. Bündel hin zu erkennen. Dies ist eine Bestätigung der eingangs geäußerten Vermutung, dass Halme im dichten Büschel leichter zu schneiden sind, die Klaffung also keinen so schädlichen Einfluss hat wie beim dünnen Restbüschel Nr. 3. Beim Neigungswinkel $\lambda = 60^\circ$ kehren sich die Verhältnisse um, wenn es sich um feuchte Halme handelt. Da kein zusätzliches Verdichten, zumindest kein wirksames, eintrat, war hier das dritte an der Gegenschneide anliegende Büschel am besten zu schneiden. Da die Messergebnisse allerdings sehr stark streuen, besonders beim trockenen Schnittgut, können die eingezeichneten Kurven die Verhältnisse nur andeuten.

Die Bewegungsvorgänge zwischen Halm und Schneidwerk

Bei der Betrachtung der Bewegungsvorgänge zwischen Halm und Schneidwerk ergeben sich zwei Fragen:

a) wie werden die Halme, wenn sie einmal von der der Klinge erfasst sind, aber noch von der Gegenschneide entfernt stehen, zur Schneide hingeführt? Man muss sich über diese Bewegungen Rechenschaft ablegen, wenn man die Untersuchung so aus-

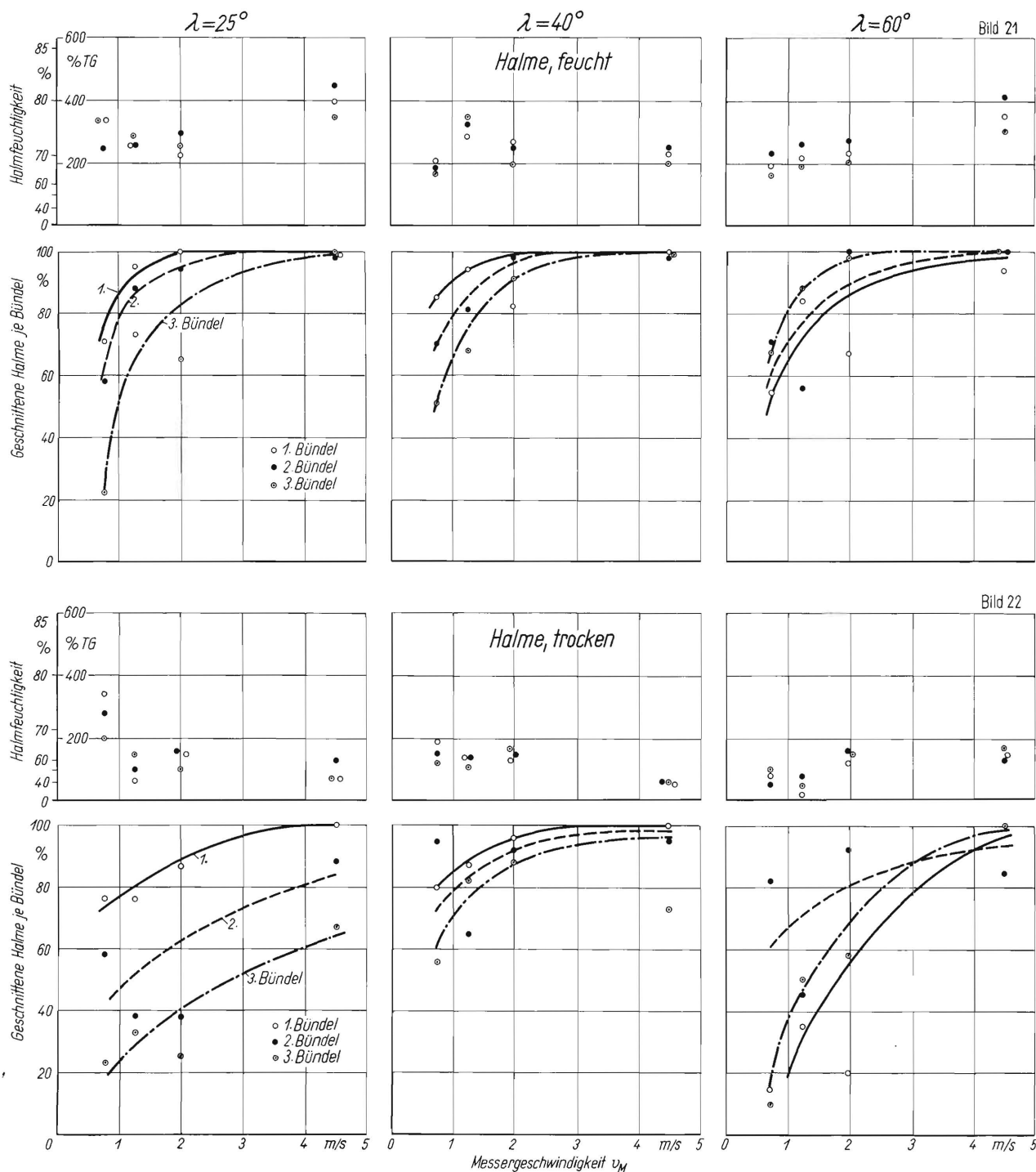


Bild 21 und 22. Schneidbarkeit einzelner Halmbündel in Abhängigkeit von der Messergeschwindigkeit bei verschiedenem Neigungswinkel der Schneide, bei feuchtem bzw. trockenem Gras.
Klaffung $s = 0,3 \text{ mm}$

führen will, dass aus der erzielten Stoppellänge bei bekanntem Standort des Halmes auf den Ort des Schnittes geschlossen werden soll. Dann kann man auch die Geschwindigkeiten der Klinge relativ zum Halm oder gegebenenfalls die des Halmes relativ zur Klinge ermitteln.

b) Gilt auch noch die Zügigkeit $v_t/v_n = 0,8$ ($\lambda = 40^\circ$) als die günstigste, wenn das Schneidwerk relativ zum Boden bzw. zum Halmstandort in Bewegung ist?

Damit wird das Problem des Schneidvorganges sehr kompliziert. Die vorstehenden Ergebnisse sind

auf Grund sehr vereinfachter Schneidbedingungen gewonnen worden. Sie liessen den Einfluss der Klaffung, der Feuchtigkeit des Schnittgutes, der Schnittgeschwindigkeit, des Neigungswinkels der Schneide und der Büscheldichte auf die Schneidbarkeit der Grashalme erkennen.

1) Die Bewegung der Halme zur Gegenschneide bei ortsfestem Schneidwerk

Ein Halm, welcher zunächst von der Gegenschneide entfernt steht, kann nach Bild 23 auf drei Arten zum Schnitt an der Gegenschneide geführt

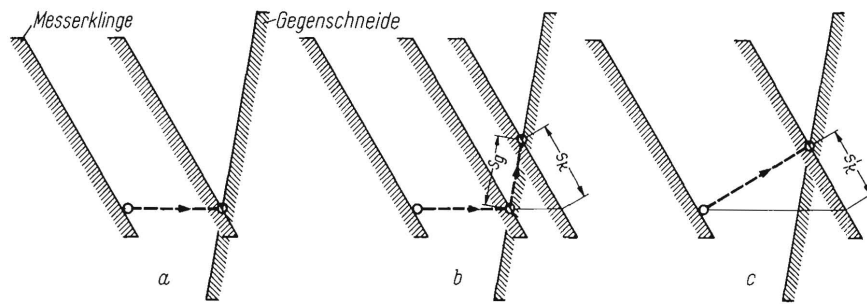


Bild 23. Bewegungsmöglichkeiten eines Halmes relativ zur Schneide und Gegenschneide (schematisch).

- a) Halm geht mit Messerklinge zur Gegenschneide und wird geschnitten.
 b) Halm geht mit Messerklinge zur Gegenschneide und gleitet längs dieser bis zum Schnitt (Gleitwege s_k und s_g).
 c) Halm gleitet vom Augenblick der Berührung an längs der Schneide der Messerklinge (Gleitweg s_k').

werden. Am Beispiel des Schneidwerkes, das zum Boden in Ruhe ist, soll dies zunächst veranschaulicht werden.

a) Der Halm wird von der Klinge direkt (also auf ihrer Bewegungsbahn) zur Gegenschneide mitgenommen und dort sofort geschnitten. Der Berührungspunkt der Klinge am Halm bewegt sich bei der Durchbiegung des Halmes auf dessen Längsachse, die Klinge schürft also an dem Halm entlang. Mit anderen Worten, der Berührungspunkt bleibt auf der Klinge in Ruhe, auf dem Halm wandert er.

b) Der Halm geht mit der Klinge zur Gegenschneide. Er wird aber erst dann geschnitten, wenn die Klinge sich um ein Stück weiter über die Gegenschneide hinweg bewegt hat. Die Klinge bzw. ihr Berührungspunkt schürft zunächst wie unter a) längs der Halmachse; der Halm führt dann aber längs der Klingenschneide um das Stück s_k und längs der Gegenschneide um das Stück s_g eine Bewegung aus, bis er geschnitten wird. Da der Halm dabei immer mehr abgebogen wird, entsteht beim Schnitt eine grössere Stoppellänge als im Falle a). Zu der schürfenden Bewegung der Messerklinge längs des Halmes kommt nach dem Anliegen an der Gegenschneide noch eine Querbewegung des Halmes zur Klingenschneide hinzu, d.h. der Berührungspunkt wandert jetzt sowohl auf der Messerklinge als auch auf dem Halm.

c) An der gleichen Stelle wie im Falle b) kann ein Schnitt eintreten, wenn der Halm vom ersten Augenblick der Berührung mit der Klinge bis zum Anliegen an der Gegenschneide um das Stück $s_k' = s_k$ längs der Schneide geglitten ist. Hier wandert der jeweilige Berührungspunkt zwischen Messerklinge und Halm vom ersten Augenblick an sowohl längs der Klingenschneide als auch längs der Halmachse. Sollte beim Anliegen an der Gegenschneide noch kein Schnitt zustandekommen, dann treten die Verhältnisse wie im zweiten Abschnitt des Falles b) ein, die erzielte Stoppel wird noch länger.

Die aufgeworfene Frage nach der Art der Führung des Halmes durch die Messerklinge kann nach den früheren Arbeiten nicht befriedigend beantwor-

tet werden. Die Arbeiten von Göttmann [5] und Veit [6] haben über den Schnittort an der Gegenschneide auseinandergehende Ansichten. Sie sind in Bild 24 gegenübergestellt. Alle Halme, die im Raum PQ00 stehen, werden nach Veit auf den Raum PQSR verdichtet und an der Gegenschneide geschnitten, wobei der Schnitt von unten nach oben einsetzend vorzustellen ist, sodass auch Halme schon geschnitten werden, die noch nicht unmittelbar an der Gegenschneide anliegen. Dieser Ansicht

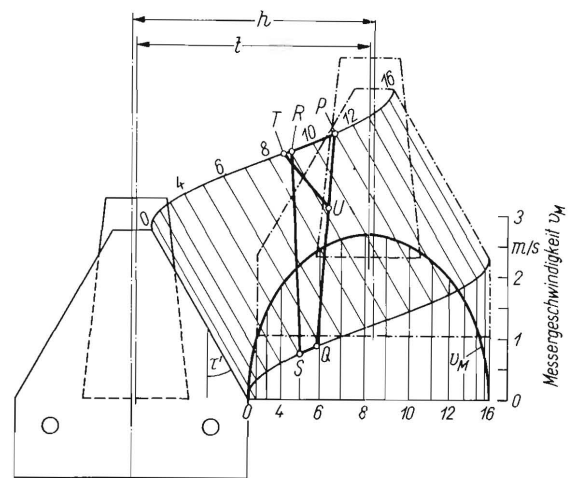


Bild 24. Messerwegschaubild eines Normalschneidwerkes. Nach Veit [6] kommt in der Fläche PQSR, nach Göttmann [5] in der Fläche PUT ein Schnitt der Grashalme zustande.

Fingerteilung $l = 76,2 \text{ mm}$
 Messerhub h
 Fahrgeschwindigkeit $v_F = 1 \text{ m/s}$
 Anstellwinkel $\tau' = 30^\circ$

kann man die Anschauung zugrundelegen, dass alle Halme von der Messerklinge erfasst auf äquidistanten Bahnen zu den Begrenzungssinoiden 0 bis 16 des Messerwegdiagrammes wandern. Die Berührungspunkte auf der Klinge sind also jeweils die gleichen. Diese Ansicht hat auch Fischer-Schlemm in seinem Stoppeldiagramm [1] zugrundegelegt und findet, dass das zu erwartende Stoppelbild hinreichend mit dem tatsächlichen auf der Wiese übereinstimmt. Die angewandte Messmethode ermöglicht jedoch nicht einen exakten Nachweis des Verhaltens der Halme hinsichtlich der Halmbeanspruchun-

gen vor und beim Schnitt sowie der Bewegungen des Halmes zwischen Klingenschneide und Gegenschneide.

Deshalb ist eine Untersuchungsmethode [7] entwickelt worden, die es ermöglicht, mit der Zeitlupenkamera¹⁾ diese Verhältnisse näher zu studieren, worüber nachstehend berichtet werden soll.

2) Die Zügigkeit des Schnittes beim sich vorwärts bewegenden Schneidwerk

Zur Frage, ob die oben festgestellte optimale Zügigkeit auch dann gilt, wenn die ausgeführten Schneidwerke in Bewegung sind, also die Bahn der Klinge relativ zum Boden durch die Messergeschwindigkeit (von 0 bis zum Maximum anschwellend und dann wieder auf 0 zurückgehend) und

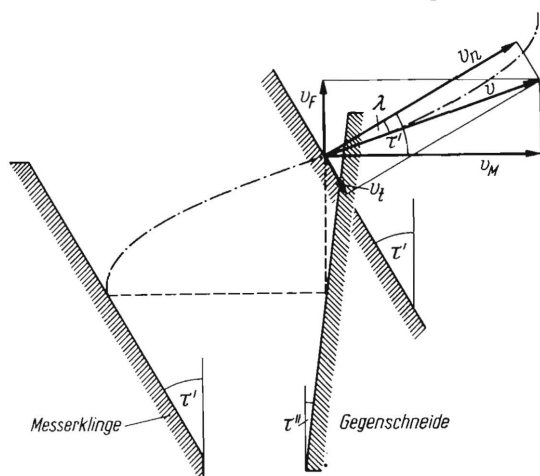


Bild 25. Resultierende Schnittgeschwindigkeit v aus der Messergeschwindigkeit v_M und der Fahrgeschwindigkeit v_F . Die Zerlegung der Resultierenden v tangential und normal zur Schneide ergibt die Komponenten v_t und v_n .

durch den Vorschub (gleichförmige Geschwindigkeit) gegeben ist, sei folgendes ausgeführt:

An der Stelle relativ zum Boden bzw. zum Halmstandort, an welcher ein Punkt der Klinge die Gegenschneide überfährt, bekommen wir nach Bild 25 aus der zu diesem Zeitpunkt herrschenden Messer- und der Fahrgeschwindigkeit die resultierende Geschwindigkeit v . Zerlegt man die Geschwindigkeit v in die Komponenten v_t und v_n (tangential und normal zur Klingenschneide in dem betreffenden Schneidenpunkt), so ist $v_t/v_n = \operatorname{tg} \lambda$ die Zügigkeit des Schnittes.

Die Zügigkeit ist keine einfache Funktion mit einer Variablen mehr, sondern sie wird beeinflusst von dem Anstellwinkel τ' , der Vorschubgeschwindigkeit v_F und der Messergeschwindigkeit v_M und errechnet sich [7] zu

$$\operatorname{tg} \lambda = \frac{v_t}{v_n} = \frac{\operatorname{tg} \tau' - v_F/v_M}{1 + v_F/v_M \cdot \operatorname{tg} \tau'}$$

Trägt man die Zügigkeit v_t/v_n über dem Anstellwinkel τ' für verschiedene Verhältnisse v_F/v_M auf, so ergibt sich Bild 26. Beispielsweise ist in Bild 24 der Anstellwinkel $\tau' = 30^\circ$ und beim Überfahren der Schnittfläche PQSR (nach Veit) das Verhältnis $v_F/v_M =$ etwa 1 : 2,5. Geht man mit diesen Werten in Bild 26, so ergibt sich für dieses Beispiel während des Schnittes die Zügigkeit $v_t/v_n =$ etwa 0,15.

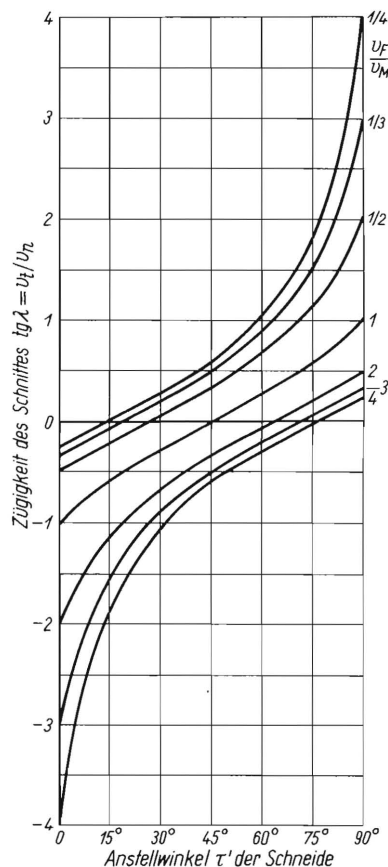


Bild 26. Abhängigkeit der Zügigkeit des Schnittes vom Anstellwinkel bei verschiedenen Verhältnissen der Fahrgeschwindigkeit zur Messergeschwindigkeit.

Sollte nun eine bestimmte Zügigkeit die günstigste sein, so müssten einer bestimmten Messergeschwindigkeit und Vorschubgeschwindigkeit bestimmte Anstellwinkel zugeordnet sein. Dabei tritt aber wieder die Frage auf, ob bei jedem Anstellwinkel die Art der Hinführung des Halmes zur Gegenschneide die gleiche ist. Es muss darauf hingewiesen werden, dass die Untersuchungen noch nicht soweit gediehen sind, um hierauf eine erschöpfende Antwort geben zu können.

3) Die räumliche Halmbewegung

Der Ermittlung der Zügigkeit der Messerklänge am Halm aus den Bewegungskomponenten relativ zum Boden liegt eine Betrachtung in der Ebene zu-

¹⁾ Die Aufnahmen wurden von Ing. Schladerbusch und Nowigk vom Institut für den Wissenschaftlichen Film, Göttingen, gemacht. Die Geldmittel hierzu wurden von der Deutschen Forschungsgemeinschaft und vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten zur Verfügung gestellt, wofür auch an dieser Stelle bestens gedankt sei.

grunde. Aus den möglichen Bewegungen der Klinge relativ zum Halm – wie bereits gezeigt wurde – ergibt sich aber die Notwendigkeit, die Bewegungsverhältnisse räumlich aufzufassen.

Dabei ergeben sich folgende Zusammenhänge:

a) Halm auf der Messerbahn relativ zur Klingenschnede in Ruhe

Ein Halm H_h (Bild 27) auf der Halmzeile h der Zeilen a bis h , die in die Schneidfläche zwischen den beiden Schneiden KK und GG kommen, werde

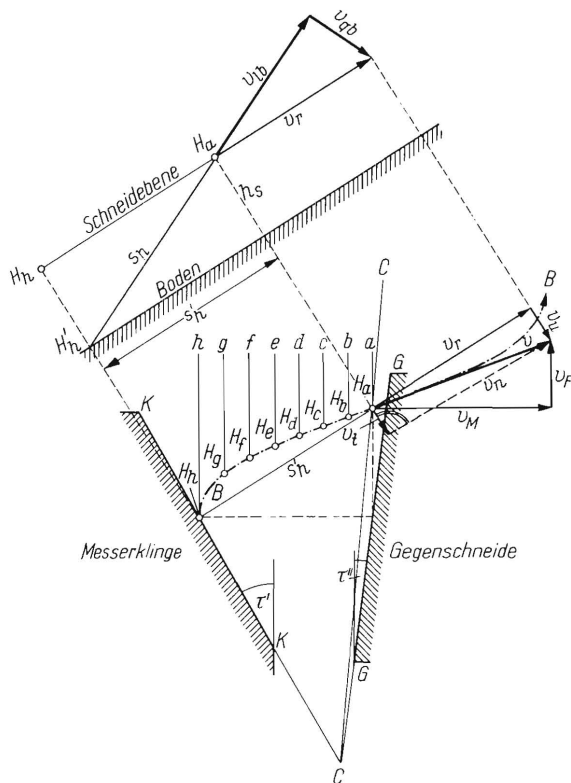


Bild 27. Relativgeschwindigkeit zwischen Klinge und Halm kurz vor dem Schnitt an der Gegenschneide im Punkte H_a für die Ausgangslage H_h des Halms.

auf der Messerbahn $B-B$ relativ zum Boden mitgenommen. An der Stelle H_a liege der Halm an der Gegenschneide an. Er hat dann eine Strecklage $H_h H_a$, die sich durch die Strecke s'_h als Projektion der wahren Entfernung des Halmfusspunktes von dem augenblicklichen Berührungspunkt an der Messerklinge abbildet. Aus der bekannten Schnitthöhe h_s der Messerebene über der Ebene der Halmfusspunkte (Boden) erhält man die wahre Entfernung des Berührungspunktes vom Fusspunkt zu s_h . Für den Fall des Schnittes an dieser Stelle ist also s_h die Stoppellänge.

Unsere Annahme ist, dass die Berührungsstelle des Halms an der Klinge auf der Messerbahn $B-B$ immer dieselbe bleibt. Die Geschwindigkeit des Messers auf dieser Bahn ist v . Diese zerlegt sich in eine Komponente v_r mit der Richtung $H_h H_a$ (d.i. die projizierende Ebene) und in eine Komponente v_u senkrecht dazu. v_r und v_u unterscheiden sich

also von der ziehenden Komponente v_t und der drückenden v_n , deren Richtung durch den Anstellwinkel der Schneide festgelegt ist. v_r und v_u sind durch die Ausgangslage des Halms bestimmt. Da v horizontal in der Schneideebene liegt, gehören auch v_r und v_u dieser Ebene an. v_u ist die Geschwindigkeit, mit welcher der Halm um seinen Fusspunkt gegen die Gegenschneide gedreht wird. Der Halm hat aber eine geneigte Lage, deshalb ergibt sich die Geschwindigkeit v_{qb} , mit der die Messerklinge längs der Halbachse schürft – und zwar ohne jede Querbewegung – aus der Zerlegung des Vektors v_r in die Richtung der Halmfusspunkt gegen den Boden gedrückt wird. Die Geschwindigkeit, mit der die Klinge entlang des Halms gleitet, ändert sich vom Augenblick der Berührung an mit der Messergeschwindigkeit. Sie interessiert erst zu dem Zeitpunkt kurz vor dem eigentlichen Schnitt. Jeder Halm der Zeilen h bis a , der auf der Bahn $B-B$ des Messerpunktes steht, wird bis zum Punkt H_a hingeführt, wenn der Berührungspunkt auf der Klinge der gleiche bleibt.

b) Geradlinige Halmbewegung in der Schnittebene senkrecht zur Klingenschnede

Wenn die Reibung zwischen Klinge und Halm gleich Null ist, dann ist die Bahn der Berührungspunkte von Halm und Klinge relativ zum Boden eine Senkrechte zur Schneide der Klinge (Bild 28).

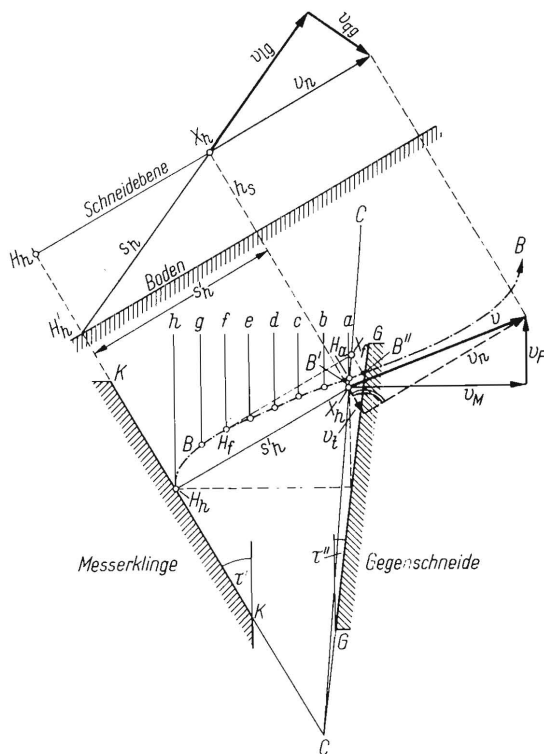


Bild 28. Geschwindigkeit der Klingenschnede bezogen auf den Halm kurz vor dem Schnitt. Die Berührungspunkte am Halm und an der Klinge wandern vom Augenblick der Berührung an.

Der Halm H_h z.B. wird bis X_h , der Halm H_f bis X_f geführt. Dabei hat sich der Halm längs der Klingenschneide von B' nach X_h bzw. B'' nach X_f bewegt.

Die Geschwindigkeit der Messerklinge längs des Halmes ist abhängig vom Standort des Halmes auf der Messerbahn. Je näher der Halm an der Gegenschneide steht, desto geringer ist die Geschwindigkeit der Klinge längs des Halmes. Liegt sein Standort so, dass er in senkrechtem Stand die Gegenschneide berührt, ist die Geschwindigkeit der Klinge längs der Halmachse an dieser Stelle Null.

c) Zusätzliche Halmbewegung in der Schneidebene längs der Gegenschneide

In einem weiteren Falle werde jedoch der Halm von der Klinge an der Gegenschneide noch entlanggeschoben (Bild 29), wobei er auch längs der Schneide der Klinge gleitet, gleichgültig ob das vom Augenblick der Berührung an oder erst, nachdem er an der Gegenschneide anlag, geschah. Der Halm H_h und ebenso die anderen sind wie vorher längs der Messerbahn an der Klinge anliegend bis zum Punkt H_a gewandert. Da der Halm H_h hier nicht geschnitten werden soll, folgt er weiter dem geometrischen Ort der Überschneidungspunkte von Klinge und Gegenschneide, der eine sehr gestreckte Sinoide [8] ist, die man als Gerade annehmen kann. Unmittelbar vor Beginn des Schnittes bei X führt der jeweilige Berührungspunkt des Halmes eine Relativbewegung entlang der Schneide KK mit dem Vektor v_s und längs der Gegenschneide GG mit dem Vektor v_g aus. Diese beiden Vektoren ergeben sich daraus, dass der Halm jetzt beide Schneiden berührt und mit dem Überschneidungspunkt der Klinge und Gegenschneide wandert. Der jeweilige Berührungspunkt des Halmes mit den Schneiden hat also in Bezug auf die Schneiden die Geschwindigkeiten v_s und v_g , d.h. die Geschwindigkeit des Überschneidungspunktes auf der Klinge und die desselben auf der Gegenschneide. Man gewinnt sie durch Zerlegen der Messergeschwindigkeit v_M in die Richtung der Schneide KK und der Gegenschneide GG . Zur Ermittlung der Geschwindigkeit v_{hl} der Klinge, mit der diese längs des Halmes schürft, muss aber noch die Vorschubgeschwindigkeit v_F des Schneidwerkes relativ zum Halmstandort berücksichtigt werden. Das geschieht durch vektorielle Addition von v_g und v_F , woraus sich der Vektor v_u als Geschwindigkeit des Überschneidungspunktes bezogen auf den Halmstandort ergibt. Der Geschwindigkeitsvektor v_u fällt etwa in die Richtung der Geraden $C-C$. (Genau genommen in die Richtung der Tangente an den geometrischen Ort $C-C$ an der Stelle X).

Durch Zerlegen des Vektors v_u in der Schneidebene in die Richtung der Projektion s'_h des abgebogenen Halmes und in die Normale dazu findet

man die Vektoren v_h und v_q . v_q ist die Bahngeschwindigkeit des auf einer Kreisbahn in der Neigungsebene des um seinen Fusspunkt H_h geschwenkten Halmes. v_h wird in der Vertikalebene in die Richtung der Neigung des Halmes, dessen wahre Länge s_h ist, und in die Richtung der Normalen dazu zerlegt. So ergibt sich die Geschwindigkeit v_{hl} der Klinge längs der Halmachse und die Geschwindigkeit v_{hg} , mit welcher der Halm in diesem Augenblick an der Stelle X zum Boden hin abgebogen wird. Die beiden von der Scherbewegung herrührenden Komponenten v_s und v_g bewirken somit mit der in die Halmrichtung fallenden Komponente v_{hl} ein räumlich ziehendes Schürfen.

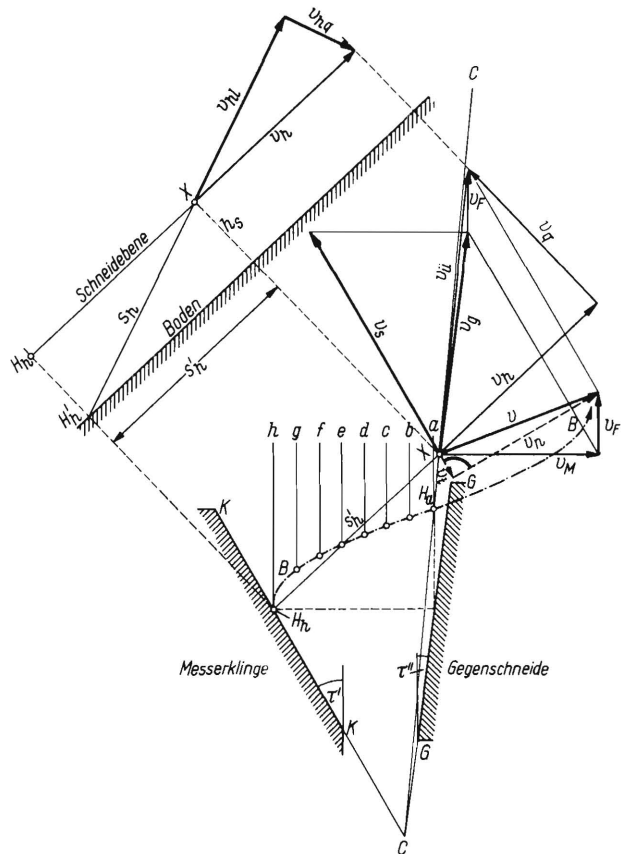


Bild 29. Geschwindigkeit der Klingenschneide, bezogen auf den Halm kurz vor dem Schnitt, nachdem der Halm längs der Gegenschneide um das Stück H_aX geglitten ist.

Die Geschwindigkeit v_{hl} der Schere längs der Halmachse ist dann kurz vor dem Schnitt bei allen Halmen stets grösser als Null. Selbst wenn der Halm nur ein sehr kleines Stück an der Gegenschneide entlanggleitet, kommt diese Geschwindigkeit sofort zur Wirkung, d.h. der Halm erfährt eine Beschleunigung, die den Anpressdruck an die Schneide der Klinge erhöht. Die Vektoren längs der Schneide und Gegenschneide können daher als eine Artziehender Vektorenaufgefasst werden (v_s und v_g). Diese „ziehenden“ Vektoren der Schneide und der Gegenschneide sind aber nur bedingt ziehend, da durch das Gleiten, welches zusätzlich längs der Halmachse erfolgt, ein ziehendes Schürfen ein-

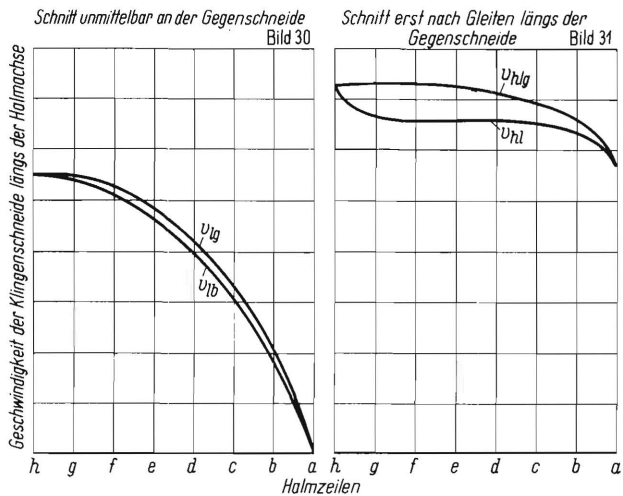


Bild 30 und 31. Geschwindigkeit der Klingenschnaide längs der Halmachse (Schürfbewegung) kurz vor dem Schnitt in Abhängigkeit vom Halmstandort auf der Klingengbahn.

Nach Beendigung des Schürfens		
sofort	nach Gleiten a.d. Gegenschnaide	
v_b	v_{hl}	Halm folgt der Klingengbahn
v_g	v_{hlg}	Halm gleitet von erster Berührung an längs der Klingenschnaide

tritt. Durch dieses ziehende Schürfen kann das Eindringen der Schneide in die Oberhaut des Halmes erleichtert werden.

Die Geschwindigkeiten der Klinge längs der Halmachsen kurz vor dem Schnitt beim Schneiden an der Gegenschnaide ohne Gleiten sind in Bild 30 und 31 denjenigen beim Schneiden nach einem bestimmten Gleitweg gegenübergestellt. Man erkennt, dass sich die Geschwindigkeiten beim Schneiden ohne Gleiten an der Gegenschnaide mit dem Halmabstand wesentlich ändern (Bild 30), während im Falle des Gleitens der Halme an der Gegenschnaide

de nur eine unwesentliche Änderung in dieser Beziehung kurz vor dem Schnitt eintritt (Bild 31). Ist die Klinge in den Halm eingedrungen, dann kann die Klinge nicht mehr längs der Halmachse auf der Oberhaut schürfen. Die im Augenblick des Eindringens gegebene Entfernung der Berührungspunkte der Klinge vom Halmfusspunkt ist unveränderlich geworden. Der Berührungspunkt ist also gegenüber dem Boden in Ruhe. Die Klinge hat ihre von Messergeschwindigkeit und Vorschub bedingte Bahn. Die Bewegung der Klinge gegenüber dem Halm zerlegt sich nunmehr in die Richtung v_n und v_t (s. Bild 27).

Wir können daraus schliessen, dass für das Zustandekommen des Schnittes nicht nur die absolute Zügigkeit v_t/v_n in der Schneidebene einen Einfluss hat, sondern auch das ziehende Schürfen längs der Halmachse.

Zeitlupenuntersuchungen

Um diese Fragen an einem Schneidwerk mit üblichen Mähmesserklingen und Gegenschnaiden nachzuprüfen, wurde der Schnitt von Grashalmen möglichst gleichartiger Struktur (Rotschwengel) mit einer eigens zu diesem Zweck hergestellten Vorrichtung untersucht. Der Aufbau dieses Gerätes (Bild 32) besteht im wesentlichen aus einem Schneidwerk mit zwei Normalschnittfingern und einem Messer mit drei Klingen, dem die Halme mit etwa 0,8 m/s Geschwindigkeit zugeführt werden. Durch Veränderung des Kurbelradius r und der Schwingenlänge l lässt sich der Hub und die Messergeschwindigkeit in einem grossen Bereich va-

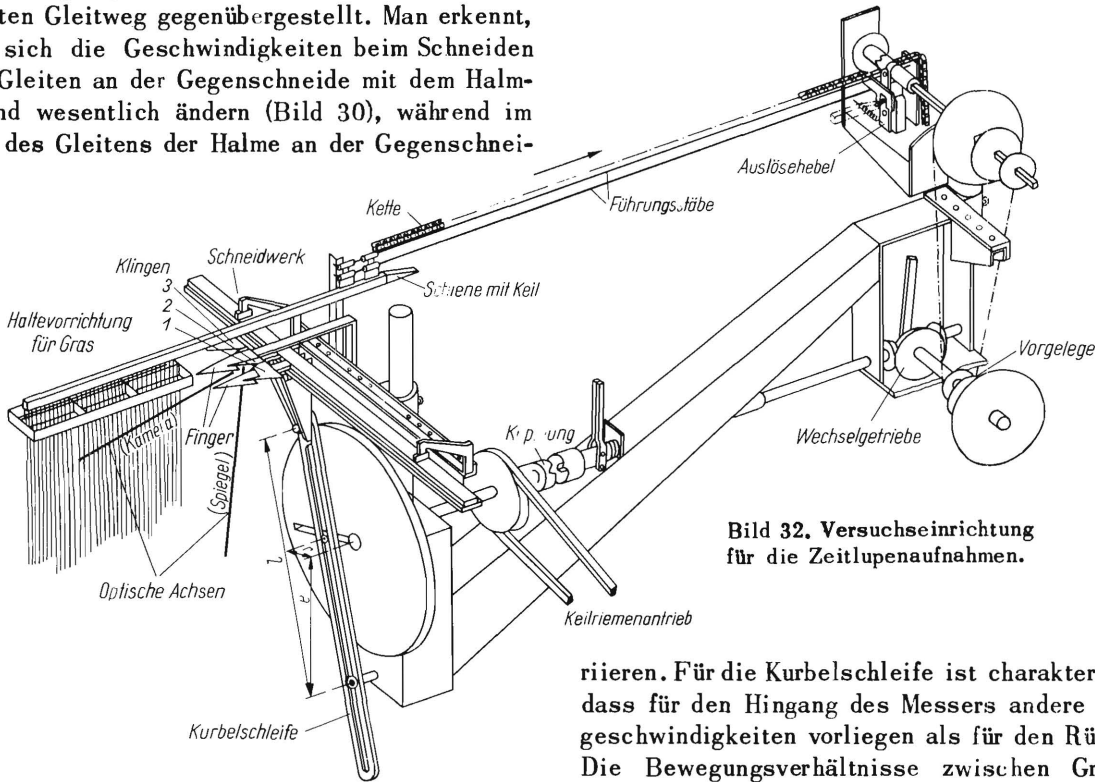


Bild 32. Versuchseinrichtung für die Zeitlupenaufnahmen.

riieren. Für die Kurbelschleife ist charakteristisch, dass für den Hingang des Messers andere Messergeschwindigkeiten vorliegen als für den Rückgang. Die Bewegungsverhältnisse zwischen Gras und

Schneidwerk sind hier umgekehrt, d.h. das Schneidwerk ist ortsgebunden und die „Wiese“ ist in Bewegung. Die Halme hängen, damit sie bei der Filmaufnahme das Blickfeld nicht verdecken. Um bei den ersten Untersuchungen Komplikationen zu vermeiden, bestand die „Wiese“ zunächst aus einer Halmzeile, dadurch wird es möglich, das Verhalten der Halme bei der Berührung mit der Klinge besser zu beobachten. Es soll geklärt werden, ob

- a) der Berührungspunkt der Klinge mit dem Halm derselbe bleibt und
- b) die Halme an der Gegenschneide gleiten oder sofort nach dem Anliegen geschnitten werden.

Damit bei der Auswertung des Filmes die Lage der Halme im Raume erfasst werden kann, wird mit Hilfe eines Spiegels eine zweite optische Achse der Kamera geschaffen, es wird also eine Seitenansicht des Schneidwerkes und eine Draufsicht gleichzeitig aufgenommen.

Die Halme sind in ein feinmaschiges Drahtnetz (Bild 33) eingefädelt und am Fussende mit Nitrolack bestrichen, der sie genügend gegen Herausfallen sichert, ohne dass sie durch Einklemmen beschädigt werden. Sie sind dadurch in ihrer Biegesteifigkeit nicht beeinträchtigt, was der Fall wäre, wenn an der Spannstelle Verletzungen aufträten.

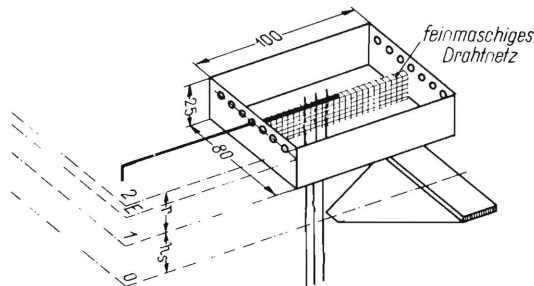


Bild 33. Haltevorrichtung für die Grashalme.

- 2 Grundebene
- E Befestigungsebene der Einspanngitter
- 1 Bodenebene
- 0 Schneidebene

(Ursprünglich war als Befestigungsmittel flüssiges Stearin vorgesehen, das nach Erstarren genügend Halt zu geben in der Lage war. Für die Filmaufnahmen aber erweichte dieses Material infolge der starken Wärmestrahlung der Scheinwerfer – etwa 35 000 Watt – zu sehr.) Diese Drahtnetze sind in Blechrähmchen gehängt und zwar so, dass sie nicht pendeln können. Die Halmzeilen dieser Drahtnetze laufen in der Mitte zwischen den beiden Fingern des Schneidwerkes. Sie werden nach dem Schnitt herausgenommen. Durch Auflegen dieser einzelnen Stoppelzeilen auf lichtempfindliches Papier werden die erzielten Stoppellängen durch ihre Schattenbilder registriert.

Die Ansicht des Schneidwerkes, wie es die Filmkamera gibt, ist in Bild 34 wiedergegeben. Im Bild oben ist die Blickrichtung schräg von vorn, die uns

gewissermassen eine Seitenansicht vermittelt, im Spiegel links unten ist das Schneidwerk in Draufsicht zu sehen. Die Kanten der Gegenschneiden und die Schneiden des Messers sind weiss markiert. Ein Finger ist durch eine Marke an der Spitze gekennzeichnet, damit die Orientierung in der Seitenansicht und in der Draufsicht erleichtert ist. Die Bewegungen des Messers und der Grashalme lassen sich im bewegten Bild verfolgen. Den genauen Stand jedoch ermittelt man von Bild zu Bild durch Ausmessen jedes einzelnen Bildes.

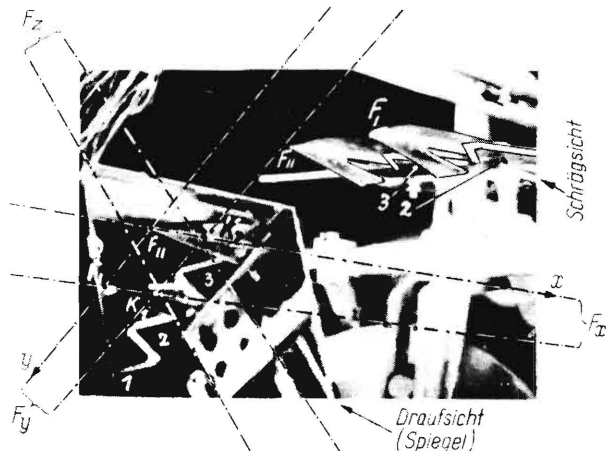


Bild 34. Ansicht des Schneidwerkes in Draufsicht (im Spiegel) und Schrägsicht.

- F_I, F_{II} Finger
- 1, 2, 3 Messerklingen
- F_x, F_y, F_z Fluchtlinien

Die Bilder sind perspektivisch verzerrt. Sie müssen deshalb in eine orthogonale Abbildung übertragen werden. Das erfolgt mit Hilfe der Spurpunkt-Fluchtpunkt-Methode der Zentralperspektive. Das geschieht am Spiegelbild, welches hierfür eine günstige Perspektive aufweist. Da die optische Achse des Spiegelbildes schräg von unten auf das Schneidwerk gerichtet ist, ist die photographische Wiedergabe ein perspektivisches Bild auf eine schräge Bildebene. Es müssen zur Entzerrung somit 3 Fluchtpunkte gefunden werden, die sich aus den Schnittpunkten der perspektiven Bilder von Geraden ergeben, die in der X-Richtung, Y-Richtung und Z-Richtung eines räumlichen Koordinatensystems parallel laufen. In der Horizontalebene sind solche parallele Geraden in der X-Richtung gegeben, z.B. durch die Mittellinien der Finger F_I und F_{II} , in der Y-Richtung, die durch die Fingerspitzen bzw. durch die Vorderkanten der Messerklingen laufen, in der Z-Richtung ermöglichen uns die senkrechten Kanten des Gleitschuhes, der das Messer trägt, das Auffinden solcher paralleler Geraden. Diese Geraden sucht man im perspektivischen Bild auf und findet damit die drei notwendigen Fluchtpunkte, die ausserhalb des gezeigten Bildes liegen. Von jeder Geraden ist der Abstand ihrer Parallelen aus der Konstruktion des Modells zu entnehmen, ebenso ihre Lage in einer gemeinsamen Ebene zueinander. Mit diesen Grössen lässt sich ein orthogonaler Grund- und Aufriss des Schneidwerkes und der Augenpunkt und der Horizont ermitteln. Somit kann man das perspektivische Bild aus dem orthogonalen Grundriss rekonstruieren. Es genügt, nur das perspektivische Bild des Spiegels zu entzerren, um die Bewegungsverhältnisse zu ermitteln, auch dann, wenn z.B. einzelne Punkte, welche wichtig sind, beobachtet zu werden, nicht zu sehen

sind. Das kann dann der Fall sein, wenn Halme gerade die Sicht verhindern oder die Klinge von der Fingerlippe zugedeckt wird. Der Spiegel zeigt die dem Beschauer abgekehrte Seite des Bildes. Nach dem Spiegelgesetz steht die Verbindungsgerade des wirklichen und des virtuellen Bildes auf der Spiegelebene senkrecht. Es stellen also die Verbindungsgeraden der Fingerbilder F_1 und F_2 die perspektiven Bilder solcher auf der Spiegelebene senkrecht stehender Geraden dar, die im Raum parallel sind. Sie haben deshalb alle einen gemeinsamen Fluchtpunkt. Sucht man diesen auf, erhält man z.B. die Lage eines Punktes an der Klinge in der Seitenansicht im Spiegelbild dadurch, dass man von dem Punkt nach dem Fluchtpunkt der Senkrechten zur Spiegelebene die Verbindungslinie zieht. Ihr Schnittpunkt mit der Klingenkante im Spiegelbild ist dann die gesuchte Stelle.

Bei der Rekonstruktion der perspektivischen Verzerrung wird gleichzeitig ein in die Schneidebene gelegtes Liniennetz (Bild 36) in das perspektivische Bild (Bild 35) übertragen. Dieses lässt sich zu einem räumlichen Gitter erweitern, indem z.B. für die Ebene, in der die Halme eingespannt sind, das entsprechende Netz konstruiert wird. Diese Netze sind für jedes einzelne Filmbild gültig und ermöglichen so die Kontrolle, wie der zu betrachtende Halm im Raume steht oder an welcher Stelle die Messerklinge sich gerade befindet. Man kann so auch im Spiegelbild nicht sichtbare Konturen ohne wiederholte Anwendung der Spurpunkt-Fluchtpunkt-Methode aus dem orthogonalen Grundriss hinreichend genau übertragen.

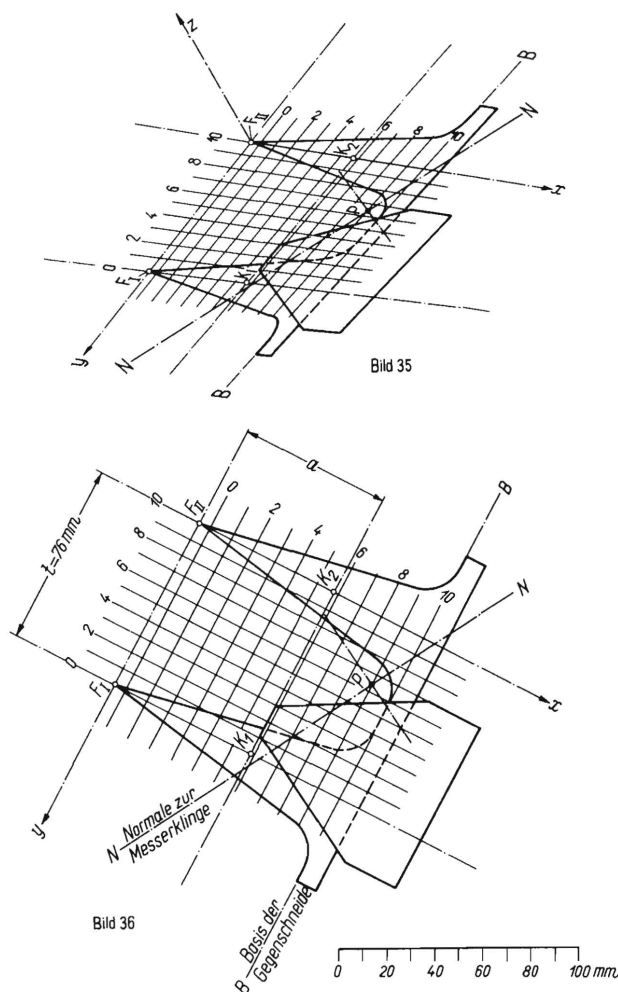


Bild 35 und 36. Koordinatensystem in der Schneidebene im orthogonalen Grundriss und in der Perspektive der Filmbilder.

Die Filmbilder sollen Auskunft geben über das Verhalten der Halme, wenn sie von der Klinge zur Gegenschneide hingeführt werden; d.h. ob sie auf der Messer-



Bild 37 bis 40. Aus der Bildfolge einer Zeitlupenaufnahme während eines Schnittes.

Bildfrequenz 1210 Hz

Zeitdauer von Bild 37 bis 40 0,0115 s

(In diesem Zeitraum wurden insgesamt 14 Bilder aufgenommen).

bahn wandern, was gleichbedeutend ist mit der unveränderlichen Lage der berührenden Stelle der Klinge. Die Messerbahn ist bezogen auf den Boden bzw. den Standort der Halme eine Sinoide. Da der Boden bewegt wird und das Schneidwerk ruht, bildet sich die Messerbahn als eine Gerade in der Hubrichtung ab. Bleibt die den Halm berührende Stelle der Klinge unverändert, muss dieser Punkt in der Hubrichtung wandern. Ist jedoch die den Halm berührende Stelle der Klinge veränderlich, und zwar in ihrem grössten Ausmass, so ist die Bahn des Berührungspunktes eine Normale zur Messerklinge. Diese beiden Richtungen trägt man ebenfalls in das perspektivische Bild ein.

Schon die Betrachtung von Bild 37 bis 40 lässt erkennen, dass der einmal berührte Halm an derselben Stelle der Klinge bleibt.

Die Messauswertung bestätigt diesen Eindruck (Bild 41 und 42). Die Halme Q_1 und P_1 werden auf der Messerbahn nach Q_2 und P_2 geführt. Dieses Verhalten zeigt sich bei der gewählten Anordnung immer wieder. (Der Film hat bei diesem Bild eine Aufnahme­frequenz von 1210 Hz. Diese Bilder sind eine Auswahl aus 14 Bildern, von denen Bild 37 das erste und Bild 40 das letzte ist. Von Bild 37 bis 40 sind 0,0115 s verstrichen). Trotz der hohen Bildfrequenz sind Bewegungsunschärfen und auch teilweise Bildunschärfen, die von Schwingungen des Filmbandes herrühren, vorhanden.

Die andere Frage, was die Halme tun, wenn sie auf diese Weise zur Gegenschneide gebracht an der Gegenschneide anliegen, lässt sich nicht allein aus dem Film ablesen, weil trotz der räumlichen Betrachtung durch Verdeckungen und den Bewe-

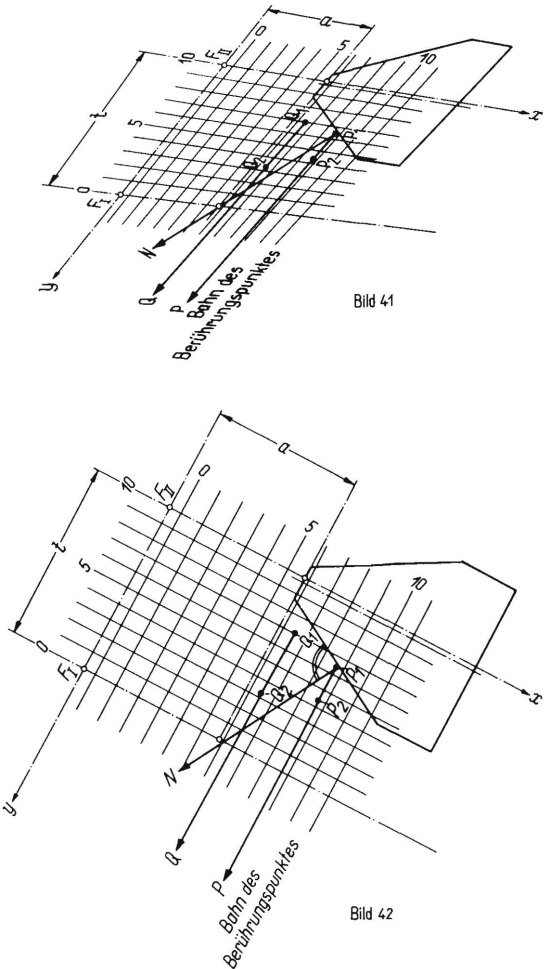


Bild 41 und 42. Nachweis der Bahn eines Berührungspunktes zwischen Halm und Klingenschneide.

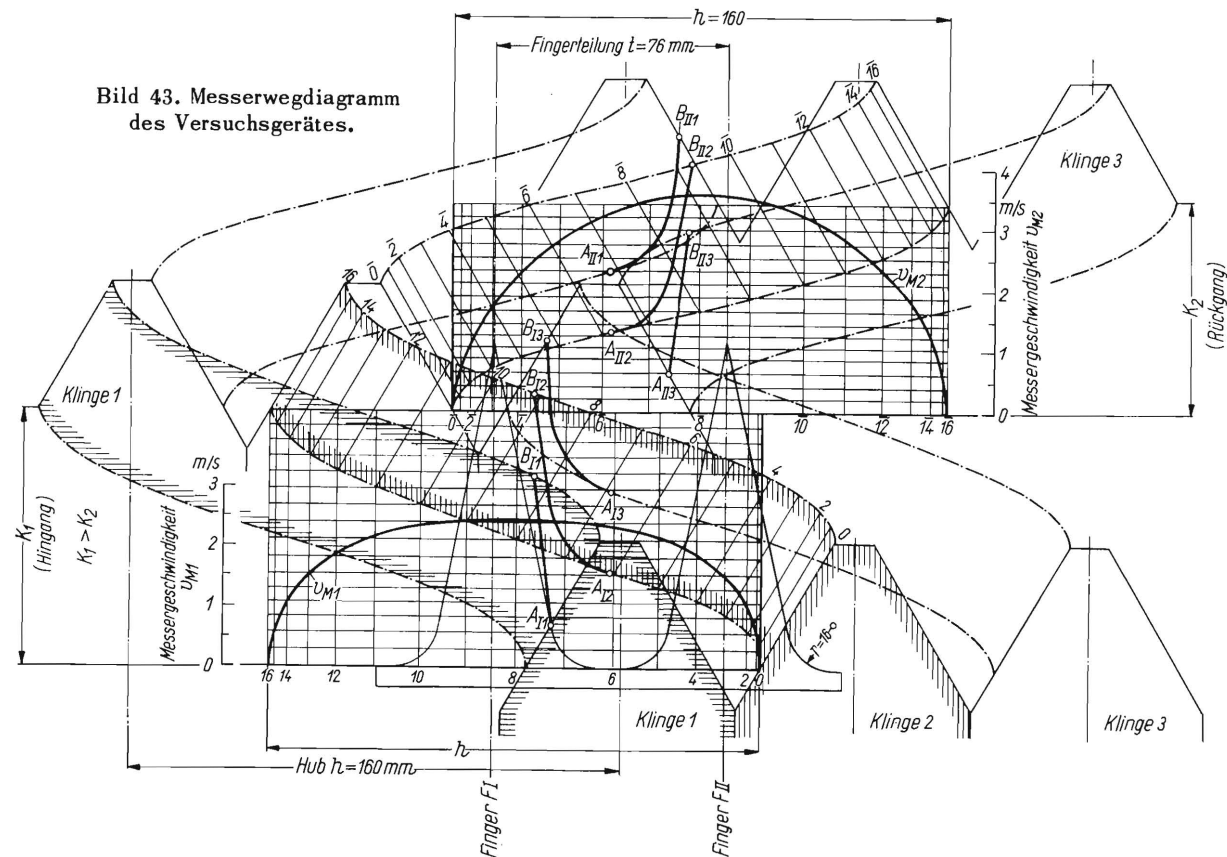


Bild 43. Messerwegdiagramm des Versuchsgerätes.

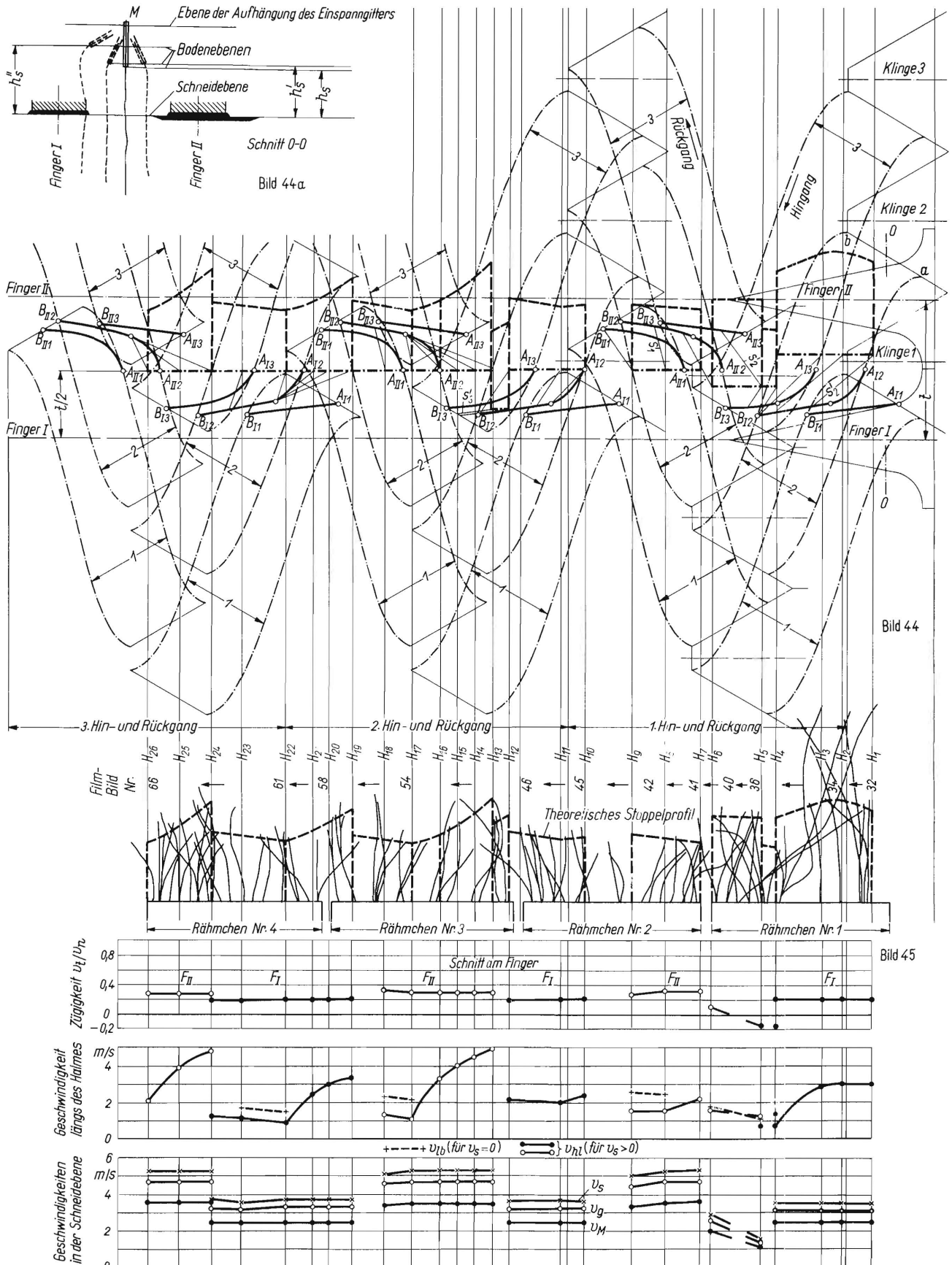


Bild 44. Theoretisches (gestrichelte Umriss) und tatsächliches Stoppelbild aus Messerwegdiagramm, Schattenbilder der Stoppel und Zeitlupenaufnahmen. (Der strichpunktiierte Linienzug ist die Spur der Stoppel in der Schnittebene.)
Bild 44a. Drei aus den Filmaufnahmen festgestellte Lagen der Halmhaltevorrichtung (Drahtnetz des Bildes 33), die die Schnitthöhen h_s , h_s' und h_s'' ergeben.
Bild 45. Die während des Schnittes oder unmittelbar davor herrschenden Geschwindigkeiten längs der Klingen- bzw. Gegenschneide sowie längs der Halmachse.
 v_s Geschwindigkeit längs der Klingenschnaide, v_g Geschwindigkeit längs der Gegenschnaide, v_M Messergeschwindigkeit

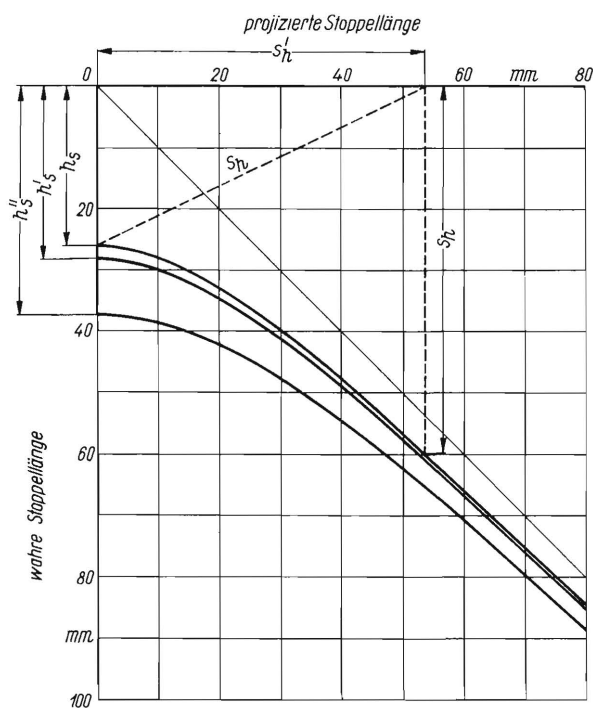


Bild 44b. Projizierte Stoppellänge (aus Bild 44) und theoretisch bestimmte wahre Stoppellänge für die Schnitthöhen h_s , h'_s und h''_s .

gungsunschärfen des Filmbildes hier keine völlig klare Antwort möglich ist. Hier sind in Verbindung mit den Filmbildern und aus dem entstandenen Stoppeldiagramm durch das Messerwegdiagramm Möglichkeiten gegeben, den Schnittort zu finden.

Die Schneidvorrichtung hatte bei den geschilderten Versuchen einen etwa doppelt so grossen Hub wie normal. Dadurch können an dem Normalfinger auch Messergeschwindigkeiten, die denen der Mittelschnittapparate entsprechen, untersucht werden. Es wurden ausserdem Finger gewählt, deren Gegenschneiden die Form gemäss Bild 43 hatten. Die Schneide ist von der Aussenkante des Distanzsteges in einem Bogen geführt, der dann in eine Gerade von etwa 10° Neigung gegen die Vorschubrichtung übergeht. Das bedeutet, dass vom Anfang des Überfahrens der Messerschneide sich stetig ändernde Scherenwinkel einstellen. Unter Scherenwinkel ist zu verstehen die Summe der Anstellwinkel von Schneide und Gegenschneide. Jede der drei Messerklingen 1, 2 und 3 hat einen anderen geometrischen Ort der Überschneidung der beiden Schneiden. Beim Hub nach links z.B. sind sie gekennzeichnet durch den der Geraden A_1B_1 gleichkommenden geometrischen Ort und die zunächst bogenförmige Gestalt, die dann in eine gerade Linie übergeht, wie z.B. $A_{12}B_{12}$ bzw. $A_{13}B_{13}$. Beim folgenden Hub nach rechts hat sich der geometrische Ort in der Form etwas, aber unwesentlich, geändert, weil durch den Antrieb der Messer (Kurbelschleife) eine höhere Messergeschwindigkeit herrscht.

Die Stoppellänge wird festgestellt durch Vermessen des nach dem Schnitt genommenen Schattenbil-

des. Die Schattenbilder, die z.T. aus Schlag- und Kernschatten der Halme entstanden sind (weil sie nicht direkt auf dem lichtempfindlichen Papier auflagen), sind in der Zeichnung des Bildes 44 nachgezogen.

Aus der Stellung der Halmzeilen während der ersten Berührung des Messers mit den Halmen und entsprechender Kontrollstellungen lässt sich das natürliche Stoppelbild in das Diagramm einordnen. Aus der somit gegebenen Lage des Halmfusspunktes und der Tatsache, dass bis zum Anliegen an der Gegenschneide der Halm mit der Klinge gegangen ist, lässt sich schliessen, dass dann, wenn die Projektion der entstandenen Stoppellänge keine Tangente zur Bahn des Messers relativ zum Halmstandort ist, ein Gleiten an der Gegenschneide und damit auch an der Schneide stattgefunden hat. Ergibt sich die Projektion der Stoppellänge als Tangente an die Messerbahn, ist der Halm direkt an der Gegenschneide geschnitten worden, dort, wo er von der Messerklinge angelegt wurde.

Es muss hierzu bemerkt werden: Diese Untersuchungsmethode ist gegenüber einer Messung der Stoppellänge auf der Wiese zwar wesentlich genauer, aber nicht so genau, dass noch ein kleines Verschieben des Halmes beim Anliegen an der Gegenschneide nachzuweisen wäre.

Wir stellen fest, dass dort, wo die Gegenschneide bogenförmig ausgebildet ist, mindestens solange ein Gleiten der Halme stattfindet, bis der Bogen in die Gerade übergeht, während am geraden Stück der Gegenschneiden der unmittelbare Schnitt eintritt. Unter Berücksichtigung der eben erwähnten Einschränkung, dass auch beim unmittelbaren Schnitt kleine Verschiebungen an der Gegenschneide entstehen können, sind im Bild 45 sämtliche möglichen Messergeschwindigkeiten eingetragen, die veranschaulichen, welche Bewegung auf den Halm kurz vor dem Schnitt und im Schnitt übertragen wird und von welcher Grössenordnung die betreffende Bewegung ist.

Eingetragen sind:

1. die Messergeschwindigkeit v_M , die eine Funktion des Kurbelwinkels und der Kurbeldrehzahl ist. Sie ist im vorliegenden Fall nahezu konstant während des ganzen Vorganges, da ein grosser Hub vorliegt.
2. die bedingt ziehenden Geschwindigkeitskomponenten des Halmes längs der Schneide (v_s) und längs der Gegenschneide (v_g).
3. die schürfende Bewegung der Klinge längs der Halmachse kurz vor dem Schnitt mit den Geschwindigkeiten v_{hl} , wenn Gleiten an der Gegenschneide vorliegt ($v_s > 0$), oder die schürfende Bewegung längs der Klinge mit der Geschwindigkeit v_{lb} , wenn unmittelbarer Schnitt ($v_s = 0$) stattfindet.
4. die Zügigkeit während des Schnittes v_t/v_n .

Interessant ist hier besonders die Tatsache, dass, obwohl bei den Geschwindigkeiten v_s des Halmes längs der Schneiden die Werte zwischen 3,5 und 5 m/s pendeln, bei beiden ein gleich guter Schnitt erzielt wurde. Ferner, dass die Geschwindigkeit v_{hl} längs der Halmachse (je nach Stellung des Halmes kurz vor dem Schnitt) sehr unterschiedlich sein kann. Man muss daraus folgern, dass die schürfende Geschwindigkeit in Verbindung mit den bedingt ziehenden Komponenten in Abhängigkeit von der Stellung des Halmes, besonders bei einer Schräglage, eine Mindestgeschwindigkeit aufweisen wird, bei der die Oberfläche des Halmes soweit verletzt worden ist, dass die Schneide einzudringen vermag. Die Frage des Einflusses der Komponenten dieser Art soll durch zur Zeit noch laufende Versuche geklärt werden.

Zusammenfassung

Es konnte festgestellt werden, dass unter den gegebenen Bedingungen der Halm, nachdem er von der Klinge berührt worden ist, auf seinem Weg zur Gegenschneide keine Querbewegung zur Klinge ausführt, bis er an der Gegenschneide anliegt. Die

Klinge gleitet von dem Augenblick der Berührung an nur längs der Halmachse. Liegt der Halm an der Gegenschneide an, besteht die Möglichkeit des Gleitens längs der Schneide und der Gegenschneide. Die Ursache hierzu kann im Vorschub des Schneidwerkes gesucht werden. Die dadurch eintretenden Geschwindigkeitskomponenten des Halmes zur Klinge und der Klinge zum Halm lassen Zusammenhänge vermuten, die schliesslich zum Schnitt des Halmes führen. Es liegt bis jetzt fest, dass der Halm umso eher längs der Gegenschneide gleitet, je grösser ihr Anstellwinkel ist. Es sind Versuche vorgesehen mit Anstellwinkeln der Schneide, die grösser oder kleiner als 30° sind. Das gleiche ist notwendig für den Einfluss des Anstellwinkels der Gegenschneide.

Bei den vereinfachten Schneidbedingungen (ohne Vorschub des Halmes) liess sich sowohl beim Schnitt am einzelnen Halm als auch beim Halmbüschel deutlich das Grenzgebiet eines optimalen Schneidwinkels (etwa $30-40^\circ$) nachweisen. Die Zügigkeit hierbei ist eindeutig bestimmt. Die hier gefundenen Zusammenhänge galten für den einzelnen Halm und für das vorverdichtete Halmbüschel.

Schrifttum

- [1] *Fischer-Schlemm, W.E.*: Ermittlung der Arbeitsgüte von Mähwerken – das „Stoppeldiagramm“. Techn.i.d.Landw. 22 (1941) S. 195/197.
- [2] *Fischer-Schlemm, W.E.*: Das Schleppermähwerk. Techn.i.d.Landw. 23 (1942) S. 212/217.
- [3] *Klapp, Ernst*: Taschenbuch der Gräser. Berlin 1937.
- [4] *Stoppel, Th.*: Was weiss man heute vom Schneiden? – Der Schneidvorgang. RKTl-Schriften Heft 91 (5. Konstrukteurheft). Berlin 1939. S. 78/97.
- [5] *Göttmann, A.*: Untersuchungen über den Schneidvorgang beim Gras- und Getreidemähen. Diss. TH. Berlin-Charlottenburg 1933.
- [6] *Veit, Th.*: Messungen über den Kraftverlauf beim Grasschneiden. Diss. TH. Stuttgart 1933.
- [7] *Schulze, K.H.*: Kinematographische Untersuchung über das Verhalten der Grashalme beim Schnitt mittels einer Schneide, die gegen eine feststehende Gegenschneide geführt wird. Diss. TH. München 1953.
- [8] *Gronarz, H.*: Untersuchungen über den Schneidvorgang bei Mähmaschinen. Diss. TH. Hannover 1925.

Institut für Landmaschinen der Justus-Liebig-Hochschule Giessen

Direktor: Prof. Dr.-Ing. R. Königer

Anschrift des Verfassers: Dr.-Ing. Karl-Heinz Schulze, Giessen, Ring-Allee 22