

erster Linie von der Wirkungsweise ihrer Werkzeuge ab. Trotz der Vielfalt der Ausführungsformen kann die Werkzeugfunktion von Halmgut-Zerkleinerungsmaschinen auf wenige Grundprinzipien zurückgeführt werden, die sich nach der Hauptbeanspruchung des Gutes, nach der Abstützung der Werkzeugkraft und nach der Lage der Trennebenen im Gutstrom unterscheiden.

Der derzeitige Entwicklungsstand bei technischen Einrichtungen für die Weiterbehandlung des zerkleinerten Gutes zwingt zu einer sehr intensiven Zerkleinerung auf kleinste Teilchengröße, was einen hohen Konstruktions- und Energieaufwand bei großem Betriebsrisiko zur Folge hat. Sollte es gelingen, Entnahme-, Förder- und Dosiergeräte so weiterzuentwickeln, daß sie auch unterschiedliche Teilchengrößen verarbeiten können, dann sind auf der Basis geeigneter Grundprinzipien einfache, nahezu wartungsfreie und schlagkräftige Zerkleinerungsmaschinen für Halmgut vorstellbar, die auch den Anforderungen der Silier- und Trocknungstechnik gerecht werden.

### Schrifttum

- [1] BRUHNE, P.: Die Entnahme und Verteilung von Gärfutter. Diss., Univ. Kiel 1966
- [2] MÜLLER, M.: Untersuchungen zur Dosierung von Gär- und Grünfütter mittels Fräseinrichtungen. Archiv für Landtechnik 7 (1968) S. 61—72
- [3] SEGLER, G. u. B. WINKLER: Der Einfluß der Zerkleinerung von grünem Halmfütter auf die Silolagerung. Landtechn. Forschung 5 (1955) S. 42—47

- [4] MATTHIES, H. J.: Der Strömungswiderstand beim Belüften von landwirtschaftlichen Erntegütern. VDI-Forschungsheft 454, VDI-Verlag, Düsseldorf 1956
- [5] WIENEKE, F.: Neue Erfahrungen und Entwicklungen in der Halmfüttergewinnung. Grundl. d. Landtechnik 16 (1966) S. 9—17
- [6] ZIMMER, E.: Der Einfluß der mechanischen Aufbereitung auf die Silierfähigkeit von Halmfütter. Grundl. d. Landtechnik 17 (1967) S. 197—202
- [7] MORRISON, J.: Recent developments in the production and feeding of grass silage. Proceedings of the 8th International Grassland Congress 1960
- [8] ORTH, A. u. W. KAUFMANN: Über den Einfluß der Struktur des Futters auf die Verdauungsvorgänge im Pansen. Zeitschr. für Tierphysiologie, Tierernährung und Futtermittelkunde 19 (1964) S. 144—156
- [9] MORTASAWI, M.: Die Schnittlänge von Halmguthäckseln. Arbeiten der landw. Hochschule Hohenheim, Bd. 23, Verlag Ulmer, Stuttgart 1963
- [10] SÖHNE, W.: Reibung und Kohäsion in Ackerböden. Grundlagen d. Landtechnik, Heft 5, 1953, S. 64—80
- [11] SCHULTZE, E. u. H. MUHS: Bodenuntersuchungen für Ingenieurbauten. Springer-Verlag, Berlin 1967
- [12] SIMPSON, B.: Effect of crushing on the respiratory drift. J. Science Food and Agriculture 12 (1961) S. 706—712
- [13] PATHAK, B. S.: Die Feinzerkleinerung von Stroh. Diss. Landw. Hochschule Hohenheim 1963
- [14] GLUTH, M. u. H. VOSS: Vergleichende Betrachtungen zum Leistungsbedarf von Feldhäckseln. Landtechn. Forschung 16 (1966) S. 172—177
- [15] BURMISTROWA, M. F. et al.: Physicalmechanical Properties of Agricultural Crops (engl. Übers. aus dem Russischen). Israel Program of Scientific Translations, Jerusalem 1963
- [16] AHLGRIMM, H. J.: Der Einfluß des Feuchtigkeitsgehaltes auf das Bruchverhalten von Halmgut bei Zug-, Scher- und Biegebeanspruchung. Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 8, 1970
- [17] DERNEDE, W.: Die technologischen Eigenschaften von Gras und deren Einfluß auf den Schneidvorgang. Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 8, 1970
- [18] DERNEDE, W.: Grundlagen des Quetschens von feinstengeligen Halmgut. Grundl. d. Landtechnik 17 (1967) S. 59—69
- [19] DERNEDE, W.: Versuche zur Entwicklung eines nach dem Prinzip des Freischnitts arbeitenden Häckslers. Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 8, 1970

## Die Beschleunigung des Gutes durch das Werkzeug bei Halmgut-Zerkleinerungsmaschinen

Hans Wilhelm Orth

Institut für Landmaschinenforschung der Forschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL)

Braunschweig-Völkenrode

### 1. Einleitung

Die Zerkleinerung von Halmgut wird vorwiegend im Gegenschnittverfahren bei hohen Schnittgeschwindigkeiten durchgeführt. Große Durchsätze und ein hoher Zerkleinerungsgrad bedingen eine schnelle Messerfolge. Diese macht es erforderlich, das geschnittene Material schnell aus dem Arbeitsbereich des Schnittwerkzeuges herauszuführen. Weitere Anforderungen hinsichtlich des Materialflusses werden gestellt, wenn die Zuführung zu nachgeschalteten Arbeitsvorgängen von der Wirkung des Schnittwerkzeuges abhängig ist.

Der gesamte Verarbeitungsprozeß kann nur dann störungsfrei ablaufen, wenn der Materialfluß vom Werkzeug weg und zu weiteren Arbeitsvorgängen hin sichergestellt ist. Aus diesem Grunde ist die Bewegung des geschnittenen Gutes infolge der Einwirkung des Schnittwerkzeuges von besonderem Interesse. In der vorliegenden Arbeit soll die Geschwindigkeit des Materials nach Betrag und Richtung unmittelbar nach der Werkzeugeinwirkung ermittelt werden, da sie als Anfangsbedingung der Bewegung den Materialfluß entscheidend beeinflusst.

### 2. Theoretische Betrachtungen über den Geschwindigkeitsvektor

Die Einwirkung eines Werkzeuges auf ein Materialpaket, welches vorverdichtet der Schnittstelle zugeführt wird, kann infolge der gleichzeitigen Wirkung von Kompression, Stoß und Kerbwirkung des Messers und der nicht eindeutig be-

kannten Stoffgesetze des Haufwerkes nicht umfassend ermittelt werden.

Betrachtet man die Beschleunigung von Materialteilchen durch ein schneidendes Werkzeug, so bietet sich für erste Überlegungen eine Berechnung des Geschwindigkeitsvektors über die Stoßgesetze an. Durch einfache Rechenansätze läßt sich nachweisen, daß bei einem Stoß die Richtung der Materialgeschwindigkeit  $w_M$  nur abhängig ist vom Reibbeiwert Material-Werkzeug. Ohne Reibung ergibt sich eine Bewegung normal zur Werkzeugeinflanke, während bei Reibung maximal die Richtung der Werkzeuggeschwindigkeit erreicht werden kann (Bild 1).

Aus Fotografien des Schneidvorganges geht hervor, daß dies nur für einen geringen Teil des geschnittenen Materials zutrifft. Zeitlupen- und Stroboskopaufnahmen zeigen eine

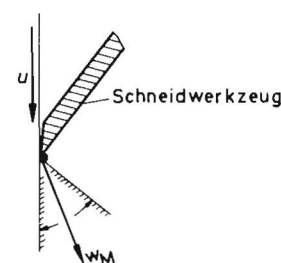


Bild 1: Möglicher Richtungsbereich der Materialgeschwindigkeit unter Stoßbedingungen

Bewegung des Materials, welche charakterisiert ist durch einen großen Streuwinkel und durch Bewegung des Hauptanteiles des Materials in eine Richtung, die zwischen Messerflanke und der Normalen zur Messerflanke an der Schneidkante liegt. Daraus muß gefolgert werden, daß infolge des Schnittes und der damit verbundenen Verformung des Halmpaketes die Stoßgesetze zur Beschreibung nicht zutreffen oder doch nicht ausreichen.

Um die Einflüsse auf Geschwindigkeit und Richtung der Häckselteilchen theoretisch zumindest qualitativ zu erfassen, ist es infolge des komplexen Systems notwendig, einige Vereinfachungen zu machen. So wird der Schnittvorgang an einem homogenen, parallel in Zuführrichtung orientierten halmartigen Gut untersucht. Außerdem erscheint es zweckmäßig, zunächst nur die Wirkungen auf die obere Halmschicht zu betrachten und die Auswirkungen auf die weiteren Schichten abzuschätzen. Von den möglichen Bewegungsbahnen des Werkzeuges wird die translatorische gewählt.

Bild 2 definiert die im folgenden verwendeten Bezeichnungen. Ausgangslage ist ein unverdichtetes Halmpaket mit der Höhe  $h_a$ , welches vor der Schnittstelle auf die Höhe  $h$  verdichtet wird. Im überstehenden Bereich stellt sich unter der Wirkung der Rückstellkräfte für die oberste Halmlage der Spreizwinkel  $\beta_0$  ein. Das Werkzeug mit einem Schnittwinkel  $\delta$  trennt mit der Schnittgeschwindigkeit  $u$  Materialteilchen der Länge  $l$  ab und beschleunigt sie auf die Materialgeschwindigkeit  $w_M$  unter einem Winkel  $\beta$  zur Zuführrichtung.

### 2.1. Materialgeschwindigkeit $w_M$

Die Materialgeschwindigkeit wird im wesentlichen durch die beim Eindringen des Werkzeuges verursachte Formänderung, durch die Geschwindigkeit des Werkzeuges und die Größe seines Schnittwinkels bestimmt.

Unter der Annahme, daß sich ein Halm beim Eindringen der Schneide wie ein teilelastischer Körper verhält, kann über die Formänderungsarbeit die Materialgeschwindigkeit bestimmt werden. Diese Annahme erscheint dadurch gerechtfertigt, daß der Querschnitt des Halmes zusammengedrückt ist und außerdem die Abstützung an den nächsten Materialschichten ein Wegbiegen des Halmes nur zum Teil zuläßt, es wird also bis zum Trennen der letzten Faser des Halmes infolge Verdrängung des Materials in Faserlängsrichtung durch die eindringende Werkzeugschneide potentielle Energie gespeichert. Nach dem Trennen des Halmes wird diese Energie durch Rückverformung unter Abstützung am Werkzeug in kinetische Energie umgewandelt. Hierdurch ist eine von der Schnittgeschwindigkeit weitgehend unabhängige Materialgeschwindigkeit zu erklären, deren quantitative Bestimmung jedoch kaum möglich erscheint, da das spezifische Stoffverhalten bezüglich der Formänderung nicht bekannt ist.

Die Geschwindigkeit des Werkzeuges und die Größe des Schnittwinkels wirken sich auf die Geschwindigkeit aus, auf die jedes Materialteilchen beim Entlanggleiten an der Werkzeugflanke mindestens beschleunigt wird. Nachdem ein Materialteilchen zur Zeit  $t_0$  geschnitten ist, bewegt es sich unter einem Bahnwinkel  $\beta$ . Die Geschwindigkeit  $u_\beta$  auf-

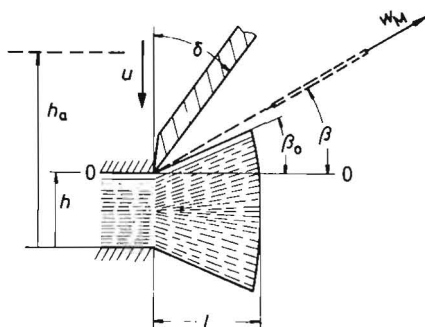


Bild 2: Definition der verwendeten Bezeichnungen

grund der Einwirkung der Messerflanke läßt sich aus den bis zur Zeit  $t_1$  zurückgelegten Strecken nach der Beziehung

$$u_\beta = u \frac{\sin \delta}{\cos (\beta + \delta)} \quad (1)$$

bestimmen (Bild 3). Hierbei wird vorausgesetzt, daß sich das Teilchen an den übrigen Halmschichten abstützt. Fällt diese Abstützung weg, so kann eine Bewegungsänderung nur noch über Reibkräfte verursacht werden. Da das Materialteilchen schon auf die entsprechende Geschwindigkeit des Werkzeuges beschleunigt worden ist, beruhen die noch wirkenden Normalkräfte und damit auch die Reibkräfte nur auf Luftwiderstand oder Abbremsung durch Stöße mit weiteren Teilchen und wirken sich daher nicht mehr wesentlich aus. Das Material kann sofort nach dem Schnitt die Schneide nur dann verlassen, wenn die Materialgeschwindigkeit größer ist als die Mindestgeschwindigkeit (nach Gl. (1)).

Ein weiterer Einfluß auf die Materialgeschwindigkeit ist durch die Rückfederung nach dem Trennen der vorverdichteten Materialteilchen vorhanden.

### 2.2. Bahnwinkel $\beta$

Der Bahnwinkel  $\beta$  des Materialteilchens wird durch die Bewegungsmöglichkeit bestimmt, welche das Teilchen während seiner Beschleunigung durch das Werkzeug aufgrund der Abstützung durch die übrigen Halmschichten hat. Für Materialgeschwindigkeiten, die zum Lösen von der Schneide führen, ist dieser Bahnwinkel gleich dem Winkel, welcher sich im Augenblick des Schnittes infolge Einspannung und Werkzeugeinwirkung eingestellt hat.

Für die weiteren Betrachtungen wird angenommen, daß der Bahnwinkel gleich diesem Winkel ist. Der Winkel  $\beta$  setzt sich aus einem Anteil  $\beta_0$ , welcher durch die Einspannung und einem zweiten Anteil, welcher durch die Werkzeugeinwirkung bestimmt ist, zusammen. Während im Bereich der Einspannung das Material auf die Höhe  $h$  verdichtet wird, führen Rückstellkräfte außerhalb der Einspannung zu einem Aufspreizen des überstehenden Materialstranges um den Winkel  $\beta_0$ . In diesem Bereich stehen die Rückstellkräfte aus der Kompression im Gleichgewicht mit den Biegekräften des Halmpaketes. Der Gleichgewichtszustand kann über ein vereinfachtes Ersatzsystem in Form einer vorgespannten Feder zwischen zwei Biegebalken angenähert beschrieben werden (Bild 4). Die rückstellende Kraft läßt sich durch das Zusammenpressen einer Feder  $c$  aus einer Anfangslage  $h_a$  um eine Strecke  $(h_a - h)$  und nachfolgende Teilentlastung um  $2x$  darstellen. Die Feder greife auf halber Schnittlänge, auf die neutrale Faser bezogen, an.

Die Gleichgewichtsbedingung lautet dann

$$c (h_a - h - 2x) = 2c_1 x$$

$$\text{mit } c_B = \frac{3 EJ}{(l/2)^3}$$

und hieraus folgt

$$\text{tg } \beta_0 = \frac{x}{l/2} = \frac{c (h_a - h)}{l (c + c_B)} \quad (2)$$

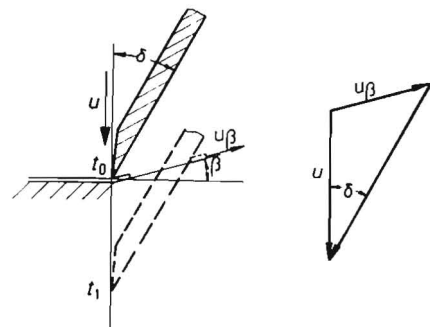


Bild 3: Bestimmung der Geschwindigkeit  $u_\beta$

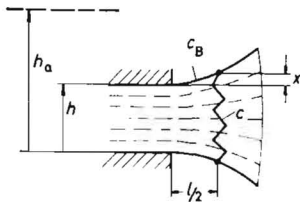


Bild 4: Modellansatz zur Bestimmung der Aufspreizung

Diese Gleichungen sagen aus, daß durch Vergrößerung der Federsteifigkeit des Haufwerkes und der Schnittlänge und durch stärkere Verdichtung der Winkel  $\beta_0$  vergrößert wird.

Durch die Einwirkung des Werkzeuges auf den Materialstrang wird die Aufspreizung verändert. Zunächst wird das Materialpaket unter dem Druck des Messers weiter verdichtet. Dieses bedingt, ähnlich der Entstehung von  $\beta_0$ , eine Vergrößerung des Winkels  $\beta$  infolge größerer Rückstellkräfte. Gleichzeitig wird jedoch bei der Verdichtung durch das Werkzeug die Lage der einzelnen Halme in Bewegungsrichtung des Werkzeuges verschoben, so daß infolge der Beschleunigung Massenträgheitskräfte zur Wirkung kommen. Die Schnittgeschwindigkeit übt hierbei zwei gegenläufige Einflüsse aus. Während die Massenträgheitskräfte bei höherer Schnittgeschwindigkeit durch die größere Beschleunigung der Halme ansteigen und dadurch den Bahnwinkel vergrößern können, wird die Zeit, welche von der ersten Berührung des Halmes bis zum Schnitt gebraucht wird, mindestens umgekehrt proportional zur Schnittgeschwindigkeit absinken. Daraus ist zu folgern, daß eine Winkelvergrößerung im unteren Geschwindigkeitsbereich aufgrund geringer Trägheitskräfte klein sein wird, während im oberen Bereich die großen Trägheitskräfte zwar vorhanden sind, aber infolge des sofort einsetzenden Schnittes auch hier eine Winkelvergrößerung nicht verursachen können, so daß nur in einem mittleren Geschwindigkeitsbereich eine Winkelvergrößerung durch Massenträgheitskräfte zu erwarten ist.

Ein dritter Einfluß der Schnittgeschwindigkeit auf den Bahnwinkel tritt nach dem Schnitt ein, wenn während der Zwangsbeschleunigung durch die Messerflanke das abgetrennte Materialteilchen Druck auf die unteren Halmschichten ausübt. Dieser Druck wird durch die Reibung des Materialteilchens an der Messerflanke verursacht und ist von der Schnittgeschwindigkeit abhängig. Hierdurch wird eine zusätzliche Biegekräft um die Einspannstelle (Schneide) hervorgerufen, welche sich mit abnehmender Pakethöhe infolge des kleineren Biege widerstandes stärker auswirkt.

Bei der Übertragung dieser Überlegungen auf das Gesamtpaket ergibt sich, daß zunächst der Winkel  $\beta_0$  wegen der Symmetrie der einwirkenden Kräfte vor dem Schnitt eine symmetrische Verteilung haben wird. Beim Schnitt wandert die Symmetrieebene mit der Messerbewegung in Richtung Gegenschneide, so daß die jeweils obere Halmschicht immer einen positiven Winkel  $\beta$  aufweisen wird. Gleichzeitig nimmt auch die Wirkung der Massenträgheitskraft ab, weil die durch das Werkzeug bedingte Verschiebung der ungeschnittenen Halme von einem Maximalwert in der oberen Halmschicht bis auf Null an der Gegenschneide absinkt.

Als Tendenz kann festgestellt werden, daß der Mittelwert des Bahnwinkels  $\beta$  bei kleinen Schnittgeschwindigkeiten infolge der überwiegenden Wirkung der Rückfederung größer als Null sein wird, während für große Geschwindigkeiten durch die großen Druckkräfte ein mittlerer Bahnwinkel von Null und geringer erreicht wird. Durch die Wirkung der Einspannung und des Messers ist für die Bewegung der geschnittenen Teilchen die Richtung vorgegeben.

### 3. Experimentelle Bestimmung des Geschwindigkeitsvektors

Infolge der beim Schnitt eines Halmpaketes auftretenden komplexen Vorgänge, die in starkem Maße durch das Stoffverhalten beeinflusst werden, war es bei den theoretischen

Betrachtungen nur möglich, die Wirkung der einzelnen Einflußgrößen qualitativ darzustellen. Genauere Aussagen über Betrag und Richtung der Materialgeschwindigkeit unmittelbar nach dem Schnitt waren nur über experimentelle Untersuchungen zu erhalten. Ziel dieser Versuche war die Bestimmung des Geschwindigkeitsvektors in Abhängigkeit vom Schnittwinkel des Messers, von der Pakethöhe und -dicke und von der Schnittgeschwindigkeit.

#### 3.1. Versuchsaufbau

Der Versuchsstand besteht im wesentlichen aus dem sich auf einer Kreisbahn bewegendem Schneidwerkzeug und der feststehenden Materialeinspannung. Das Schneidwerkzeug ist auf einem drehbar gelagerten Arm befestigt. Die Schneidkante des Werkzeuges steht parallel zur Drehachse, beschreibt also eine Zylinderfläche. Die Veränderung des Schnittwinkels  $\delta$  geschieht durch Auswechseln der Messer. Um die Kreisbahn des Messers möglichst einer geradlinigen Bewegung anzunähern, wurde ein Bahndurchmesser von  $D = 1,5$  m gewählt. Für die bisher verwendeten Pakethöhen ( $h_{\max} = 50 \cdot 10^{-3}$  m) darf somit mit hinreichender Genauigkeit eine gerade Messerbahn angenommen werden.

Bis der Messerarm auf die gewünschte Umfangsgeschwindigkeit gebracht ist, verbleibt das Messer auf einer engeren Kreisbahn, so daß es sich an dem Halmpaket vorbeibewegen kann. Dann wird das radial geführte Schneidwerkzeug freigegeben, worauf es unter dem Einfluß der Fliehkraft den Schnittkreisdurchmesser erreicht.

Das Material wird in einer feststehenden Lade (Breite  $B = 50 \cdot 10^{-3}$  m) auf die gewünschte Höhe und Dichte verdichtet und radial um den Betrag der Schnittlänge  $l$  vorgeschoben.

#### 3.2. Meßmethode

Die Messung der Materialgeschwindigkeit und die Ermittlung der Bewegungsbahn erfolgte auf fotografischem Wege. Die Kamera wurde durch eine Fotozelle ausgelöst, welche in geschwindigkeitsabhängigem Abstand vor der Schnittstelle angeordnet war. Ein Beispiel dieser Aufnahmen zeigt Bild 5.

Aufgrund der bekannten Messergeschwindigkeit kann durch Vergleich der vom Messer und von den einzelnen Materialteilchen in gleicher Zeit zurückgelegten Strecken die Materialgeschwindigkeit ermittelt werden.

Da bisher noch keine Möglichkeit bestand, die mengenmäßige Verteilung des vom Messer abfliegenden Materials in befriedigender Weise zu messen, wurden einmal die Bahnwinkel der oberen und unteren Halnteile, zum anderen die Geschwindigkeit und der zugehörige Bahnwinkel des nach der Fotoaufnahme erkenntlichen Hauptanteiles als charakteristische Werte ermittelt. Die Versuchsergebnisse stellen Mittelwerte aus jeweils vier Einzelmessungen für

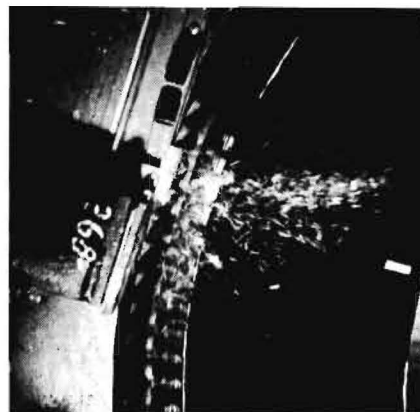


Bild 5: Gutbewegung unmittelbar nach dem Schnitt

jeden Parameter dar. Als Versuchsmaterial wurde Haferstroh mit einem Feuchtigkeitsgehalt von 12 % verwendet.

### 3.3. Fehlerbetrachtung

Infolge der Abbremsung der geschnittenen Materialteilchen bei ihrer Bewegung durch die ruhende Luft tritt ein Meßfehler in Abhängigkeit von dem bis zur Fotoaufnahme zurückgelegten Weg auf. Nach Ansätzen von VÁVRA [1] ergibt sich ein Geschwindigkeitsverhältnis

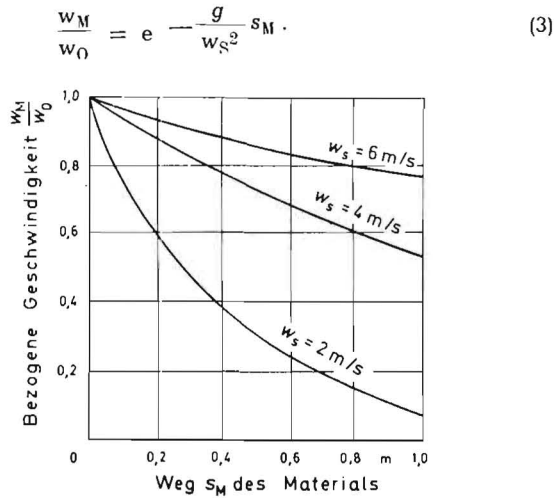


Bild 6: Abbremsung der Materialgeschwindigkeit durch ruhende Luft in Abhängigkeit vom zurückgelegten Weg

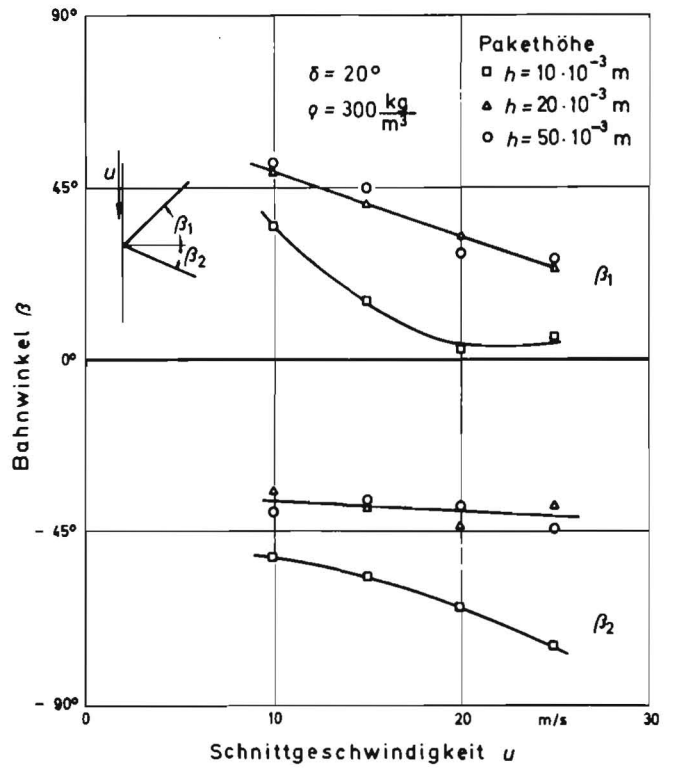


Bild 8: Bahnwinkel der oberen und der unteren Halmschicht in Abhängigkeit von der Schnittgeschwindigkeit

Daraus folgt, daß bei gegebenem Weg  $s_M$  und bekannter Schwebe-geschwindigkeit  $w_s$  der relative Geschwindigkeitsverlust unabhängig von der Anfangsgeschwindigkeit  $w_0$  des Materials ist. Aus der grafischen Darstellung von Gl. (3) (Bild 6) ist zu entnehmen, daß bei Stroh-häcksel ( $w_s \approx 4 \text{ m/s}$  [2]) und einem Meßbereich von  $s_M = 200 \cdot 10^{-3} \text{ m}$  ein Fehler von etwa 10 % entsteht. Die ausgemessenen Strecken  $s$  waren jedoch größtenteils kleiner als der genannte Höchstwert. Angesichts der durch Ungleichmäßigkeiten der Materialeigenschaften bedingten Streuung der Meßergebnisse erscheinen die somit zu erwartenden Abweichungen vertretbar.

### 3.4. Versuchsergebnisse

Die Versuchsergebnisse werden in Abhängigkeit von der Schnittgeschwindigkeit  $u$  mit den Parametern Schnittwinkel  $\delta$ , Materialdichte  $\rho$  und Pakethöhe  $h$  für den Hauptanteil des geschnittenen Materials in Diagrammen dargestellt.

#### 3.4.1. Bahnwinkel $\beta$

Die Abhängigkeit des Bahnwinkels von Pakethöhe, Dichte, Schnittwinkel und Schnittgeschwindigkeit zeigen die Diagramme auf Bild 7. Es ist zu erkennen, daß unabhängig von der Parameterkombination der Winkel  $\beta$  mit der Schnittgeschwindigkeit  $u$  geringer wird.

Der Einfluß der Pakethöhe zeigt für größere Pakethöhen gleiche Tendenzen in der Abhängigkeit von der Schnittgeschwindigkeit. Als Asymptote bei sehr großen Pakethöhen ist  $\beta = 0^\circ$  zu erwarten. Bei einer geringen Pakethöhe, wie beispielsweise  $h = 10 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ , ergeben sich große negative Winkelwerte, was durch ein Abbiegen des gesamten Materialpaketes zu erklären ist.

Eine ähnliche Tendenz zeigt die Wirkung einer Dichte-Veränderung auf den Bahnwinkel. Die Verringerung des Bahnwinkels bei kleineren Dichten wird durch die geringere Rückfederung und den geringeren Biege-widerstand der gesamten Halmschicht verursacht.

Im dritten Diagramm ist die Abhängigkeit vom Schnittwinkel dargestellt. Daß der Bahnwinkel bei Vergrößerung

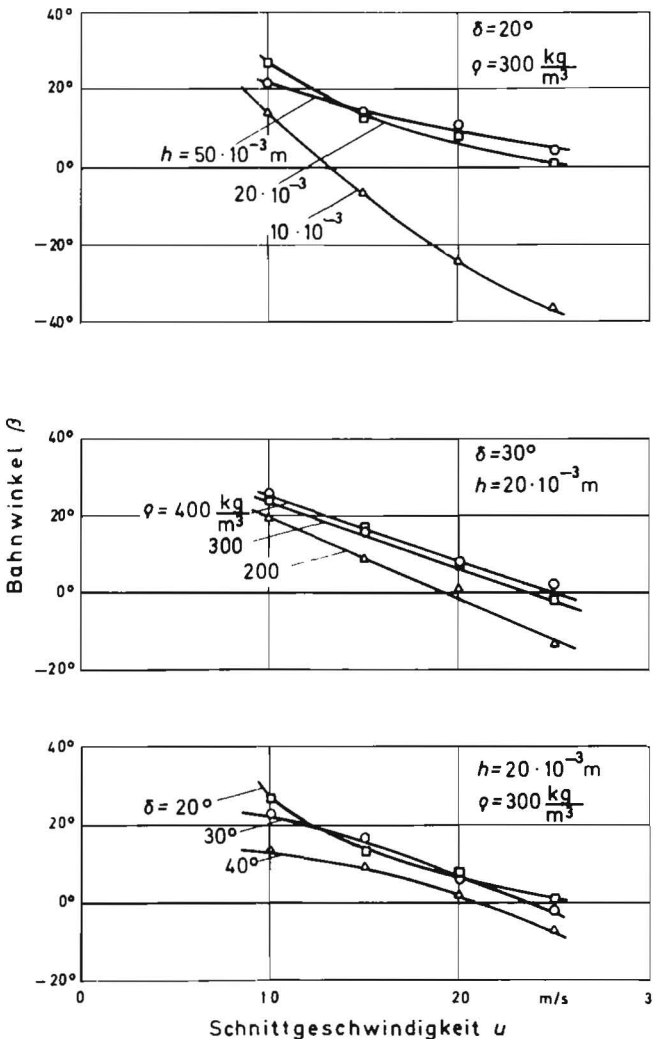


Bild 7: Abhängigkeit des Bahnwinkels von der Schnittgeschwindigkeit bei verschiedenen Pakethöhen, Dichten und Schnittwinkeln

des Schnittwinkels kleiner wird, ergibt sich aus dem stärkeren Druck, der dabei von der Werkzeugflanke auf das Gut ausgeübt wird.

Da für eine Beurteilung des Materialflusses nicht nur die Geschwindigkeit und Bewegungsrichtung des Hauptanteiles des geschnittenen Gutes, sondern auch die Verteilung des Restanteiles von Bedeutung sind, ist in einem weiteren Diagramm die Abhängigkeit des Bahnwinkels  $\beta_1$  der oberen und  $\beta_2$  der unteren Halmschicht von der Schnittgeschwindigkeit aufgetragen (Bild 8). Während  $\beta_1$ , ähnlich der Abhängigkeit des Bahnwinkels in Bild 7, mit der Schnittgeschwindigkeit abnimmt, ist  $\beta_2$  weitgehend unabhängig von  $u$ , ausgenommen bei sehr dünnen Paketschichten, bei welchen die gesamte Halmschicht vom Werkzeug stärker abgelenkt wird. Insgesamt gesehen wird also die Streuung des Bahnwinkels mit größerer Schnittgeschwindigkeit geringer.

### 3.4.2. Materialgeschwindigkeit $w_M$

Die Bilder 9 bis 11 zeigen die Abhängigkeit der Materialgeschwindigkeit von der Schnittgeschwindigkeit für den Hauptanteil der geschnittenen Materialmasse bei verschiedenen Höhen  $h$  und Dichten  $\rho$  des Materialpaketes und verschiedenen Schnittwinkeln  $\delta$ .

In die Bilder 9 und 11 ist ferner die in Abschnitt 2.1. abgeleitete Mindestmaterialgeschwindigkeit  $u_\beta$  nach Gl. (1) eingezeichnet, die den einzigen quantitativ bestimmbar Geschwindigkeitsanteil darstellt und die sich vor allem bei höheren Schnittgeschwindigkeiten besonders stark auswirkt. Da der Bahnwinkel  $\beta$  theoretisch nicht bestimmt werden kann, wurde bei der Berechnung von  $u_\beta$  auf die in Bild 7 dargestellten Meßwerte zurückgegriffen.

Alle Diagramme weisen einen Anstieg der Materialgeschwindigkeit mit der Schnittgeschwindigkeit auf.

Bild 10: Materialgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Schnittgeschwindigkeit bei verschiedenen Dichten und Schnittwinkeln

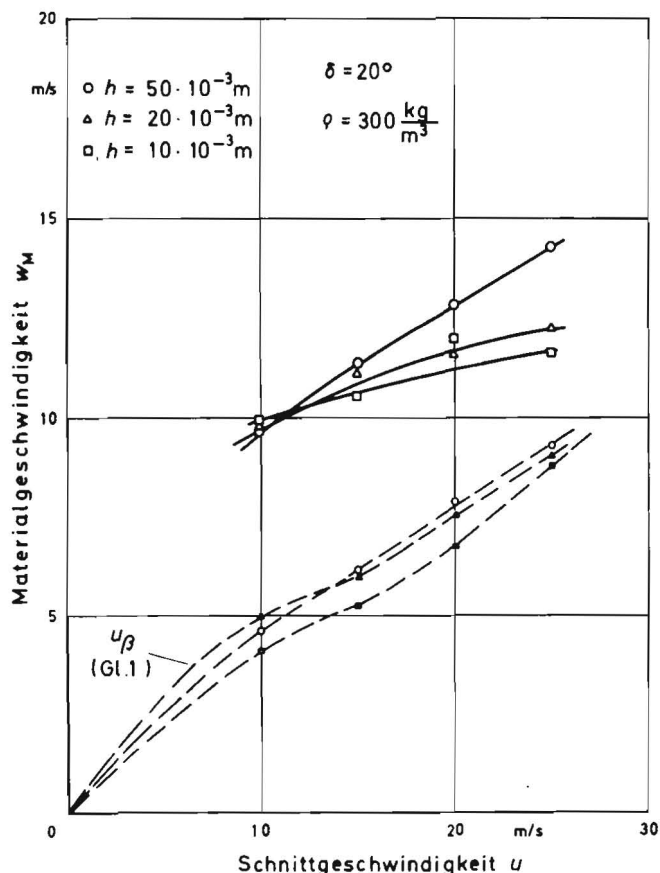
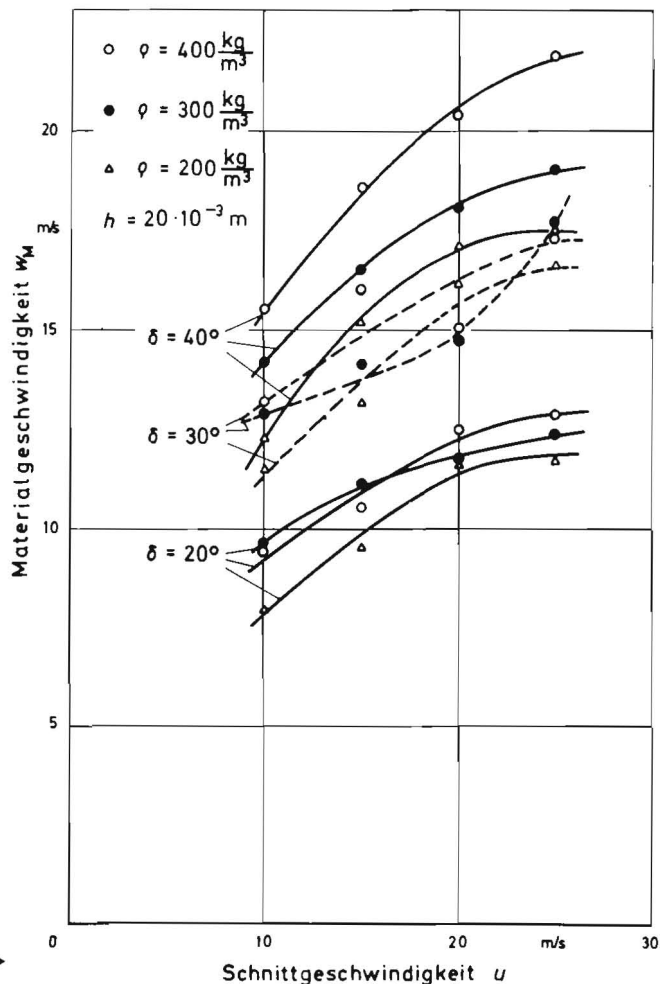


Bild 9: Materialgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Schnittgeschwindigkeit bei verschiedenen Pakethöhen

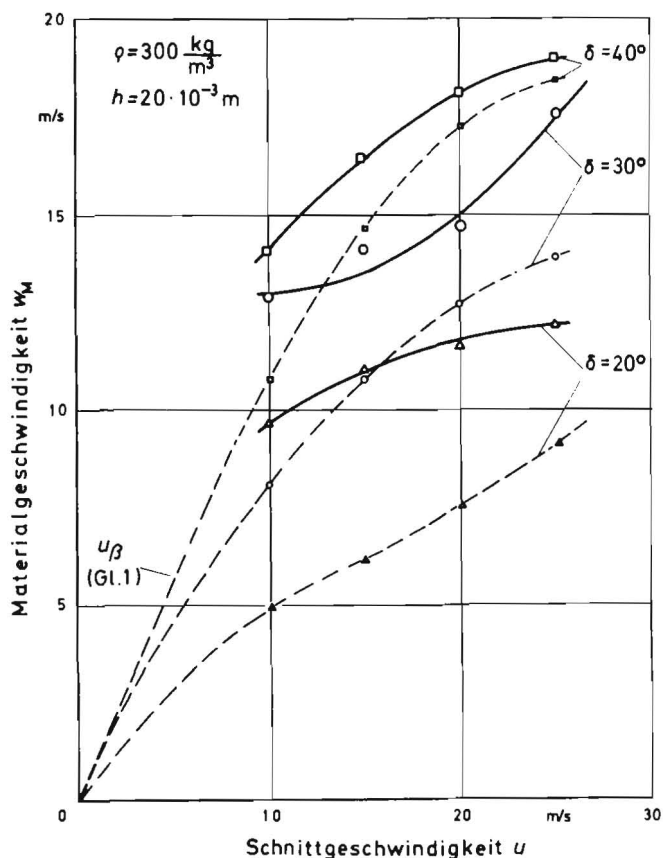


Bild 11: Materialgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Schnittgeschwindigkeit bei verschiedenen Schnittwinkeln

Mit zunehmender Pakethöhe steigt die Materialgeschwindigkeit mit der Schnittgeschwindigkeit stärker an (Bild 9). Für große Pakethöhen zeigt die theoretisch ermittelte Kurve die gleiche Tendenz in der Abhängigkeit von der Schnittgeschwindigkeit. Alle berechneten Kurven weisen eine ähnliche Abhängigkeit von der Schnittgeschwindigkeit auf. Die starke Abweichung der gemessenen Materialgeschwindigkeit von den berechneten Werten im unteren Geschwindigkeitsbereich und bei kleinen Schnittwinkeln ergibt sich aus der unter diesen Bedingungen stärkeren Auswirkung der Rückstellkräfte in Längs- und Querrichtung der Halme.

Ein Einfluß der Dichte konnte nicht festgestellt werden. Es wäre zu erwarten, daß eine höhere Dichte zu höheren Materialgeschwindigkeiten führt, da sich infolge der größeren Steife eine geringere Abwinkelung des Halmpaketes einstellt. Diese Tendenz ist bei einem Schnittwinkel von  $\delta = 40^\circ$  zu erkennen, während jedoch insbesondere bei  $\delta = 30^\circ$  starke Abweichungen auftreten.

In Bild 11 wird der Einfluß des Schnittwinkels gezeigt. Man erkennt mit zunehmendem Schnittwinkel eine Vergrößerung der Materialgeschwindigkeit. Mit zunehmendem Schnittwinkel wird der Bereich zwischen Messerflanke und Halmpaket kleiner, so daß das Gut unter dem Einfluß der Rückstellkräfte weniger ausweichen kann und somit stärker unmittelbar von der Messerflanke beschleunigt wird, wie es auch ein Vergleich der theoretischen und gemessenen Kurven für  $\delta = 40^\circ$  zeigt.

#### 4. Zusammenfassung und Folgerungen

Aufgrund theoretischer und experimenteller Untersuchungen ist es möglich, Aussagen über Geschwindigkeit und Bewegungsrichtung des unmittelbar nach dem Schnitt von einem Werkzeug abströmenden Gutes zu machen. Diese Aussagen beziehen sich im wesentlichen auf ein homogenes, parallel zur Zuführung orientiertes Halmgut. Durch die zufällige Orientierung des Gutes in der praktischen Anwendung ist eine Verminderung der Materialgeschwindigkeit bei kleinen Schnittgeschwindigkeiten zu erwarten, während bei großen Schnittgeschwindigkeiten durch den überwiegenden Einfluß der Messerflanke die dargelegten Meßwerte erreicht werden dürften.

Es konnte festgestellt werden, daß die Materialgeschwindigkeit im wesentlichen von der Geschwindigkeit und dem Schnittwinkel des Werkzeuges abhängt. Die Dichte des ungeschnittenen Gutes und die Pakethöhe üben einen geringeren Einfluß aus.

Sollen die Bewegungsbahnen der geschnittenen Materialteilchen möglichst wenig voneinander abweichen und die Materialgeschwindigkeiten möglichst groß sein, um eine Zuführung zu einem nachgeschalteten Arbeitsvorgang sicherzustellen, so erscheint es sinnvoll, die Schnittgeschwindigkeit wie auch den Schnittwinkel groß zu wählen. Diese Maßnahmen können jedoch den Trennprozeß hinsichtlich Energiebedarf und Werkzeugbeanspruchung ungünstig beeinflussen.

Die möglichen Auswirkungen unterschiedlicher Materialgeschwindigkeiten und Bahnwinkel auf die Gutbewegung in einer Zerkleinerungsvorrichtung mit umlaufenden Werkzeugen seien in Bild 12 am Beispiel eines Trommelhäckslers gezeigt. Die Bewegungsbahnen sind nach Ansätzen von ALICHASKIN und CHOMENKO [3] für eine Punktmasse berechnet worden. Man kann erkennen, daß bei verschiedenen Anfangsbedingungen der Bewegung unterschiedliche Abwurfpunkte und -geschwindigkeiten erreicht werden. Gleichzeitig ist es bei Kenntnis der Bahnwinkel aller Materialteilchen möglich, die günstigste Lage des Auslasses zu berechnen, um ein schnelles Herausführen des geschnittenen Gutes aus dem Werkzeugbereich zu erreichen. Wenn man beispielsweise annimmt, daß der Vektor (3) den oberen Streubereich begrenzt, so ist der Auslaß zur Erfassung des gesamten Materials der Gegenschneide gegenüberliegend anzuordnen. Gelingt es jedoch, den oberen Streubereich durch Veränderung der Schnittbedingungen einzuengen, dar-

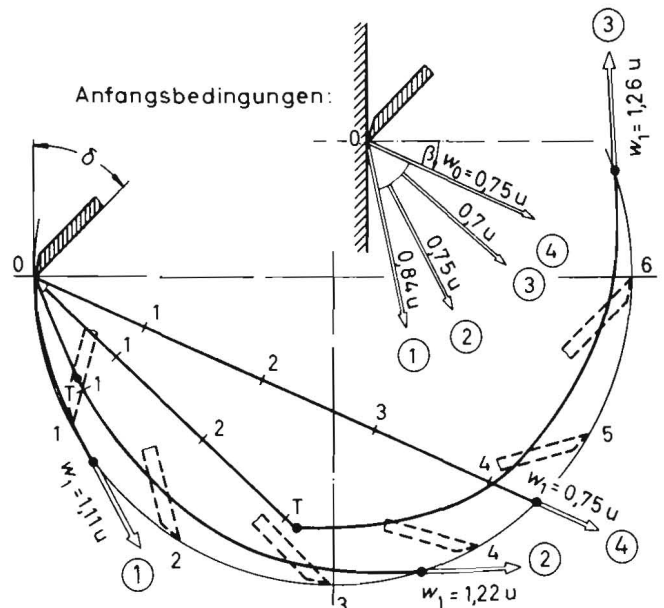


Bild 12: Bewegungsbahnen eines Materialteilchens in einer Häckslertrommel bei verschiedenen Anfangsgeschwindigkeitsvektoren (Daten der Berechnung:  $u = 27$  m/s,  $\delta = 45^\circ$ , Reibbeiwert  $\mu = 0,3$ ; T Auftreffpunkt Material-Messer,  $w_1$  Endgeschwindigkeit; die Zahlen 1—6 bezeichnen die zeitliche und örtliche Zuordnung von Messer und Material)

gestellt durch den Vektor (2), so müßte der Auslaß etwa  $90^\circ$  zur Gegenschneide versetzt angeordnet werden.

Die vorliegende Arbeit berichtet über Versuche mit einem trockenen Material, welches damit sehr biegesteif ist und einen für landwirtschaftliche Produkte großen Elastizitätsmodul aufweist.

Die Abhängigkeit der Biegesteifigkeit von der Feuchtigkeit zeigt ein Minimum bei einem Feuchtigkeitsgehalt von etwa 45 % [4]. Desgleichen sinkt der E-Modul mit der Feuchte stark ab. Daraus ist bei der Übertragung der Ergebnisse auf Materialien größerer Feuchte zu schließen, daß der Bahnwinkel infolge geringerer Biegefestigkeit des Halmpaketes kleiner und die Materialgeschwindigkeit wegen kleinerer Rückfederkräfte hauptsächlich durch die Messerflanke bestimmt wird.

#### Schrifttum

- [1] VÁVRA, A.: Príspevek k teorii metacú — Kinematika dopravního procesu (Beitrag zur Theorie der Wurfgebläse-Kinematik des Transportprozesses). Zemedelska Technika 14 (1968) S. 259—278
- [2] KROMBHOLOZ, K.: Bestimmung der Sinkgeschwindigkeiten von Getreidestroh-Häckselteilchen durch Fallzeitmessung. Arch. d. Landt. 5. Bd. (1965) H. 1, S. 51
- [3] ALICHASKIN, Ja. I. und Ju V. CHOMENKO: Koprédeleniju formy noza barabannogo apparata silosuborocnyh kombajnov (Bestimmung der Form der Häckselmesser an Trommelschneidwerken von Feldhäckslern). Traktory i sel'chozmasiny 35 (1965) Nr. 5, S. 23/26
- [4] WIENEKE, F.: Wickel- und Reibungsuntersuchungen an Wellen und anderen umlaufenden Maschinenteilen. VDI-Forschungsheft 463, 1957

\*

#### Die DFG fördert junge Wissenschaftler

Um die Mobilität junger Wissenschaftler zu stimulieren, vergibt die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) für einen Zeitraum bis zu zwei Jahren Forschungs- und Ausbildungsstipendien für das In- und Ausland. Die Höhe der steuerfreien Stipendien liegt zwischen 1200 und 1400 DM monatlich. Dazu kommen eine Pauschale von 200 DM für Sach- und Reisekosten sowie gegebenenfalls Familienzuschläge. Diese Stipendien sollen junge Wissenschaftler in erheblich stärkerem Ausmaß, als das bisher der Fall war, dazu anregen, nach ihrer Promotion für eine gewisse Zeit auf eigene Initiative an einer anderen Hochschule oder wissenschaftlichen Institution zu arbeiten, um sich gezielt fortzubilden oder neue Arbeitsmethoden kennenzulernen.